

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)

2
—
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
Артамонова М.Н. — секретарь

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

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

СОДЕРЖАНИЕ

АВТОМАТИЗАЦИЯ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Калюжный А.А., Бирюков В.П. Синтез робастного регулятора композитным коэффициентом потерь вибродемпфирующего материала	3
Шемелин В.К., Чирков А.В. Исследование режимов лазерного управляемого термораскалывания оксидных стекол на основе применения ИК-лазера на парах стронция	8

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Неусыпин К.А., Пролетарский А.В., Власов С.В. Методы повышения точности автономных навигационных систем	14
Клячкин В.Н., Сафин В.А. Контрольная карта Хотеллинга с учётом погрешностей измерений	19
Воробьёв К.А. Системы управления зенитных управляемых ракет с применением нечёткого супervизорного регулирования	24
Шипилов В.В. Формирование пространства характеристик оптимально расположенных элементов	29

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ НАУЧНОЙ И ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Бетсис П.М. Сетевая экономика становится нормой	34
Файзрахманов Р.А., Рубцов Ю.Ф. Методологические особенности автоматизированного управления энергоресурсосбережением	36
Фортинский Ю.К. Моделирование задач управления предприятиями электронной промышленности	41

ОБЗОР ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ПЕЧАТИ

По страницам журналов	45
-----------------------------	----

CONTENTS

AUTOMATION OF SCIENTIFIC-RESEARCH AND PRODUCTION

Kalyuzhniy A.A., Biryukov V.P. Robust regulator synthesis by composite loss coefficient of the vibrodamping material	3
Shemelin V.K., Chirkov A.V. Regime research for controlled laser thermosplitting of the oxide glasses based on the application of the infrared laser with strontium vapor	8

MODERN TECHNOLOGIES

Neusypin K.A., Proletarskiy A.V., Vlasov S.V. Accuracy increase methods of the autonomous navigation systems	14
Klyachkin V.N., Safin V.A. Khotelling's control card with measurement errors accounting	19
Vorobev K.A. Control system of the anti-aircraft controlled rockets with indistinct supervision adjustment application	24
Shipilov V.V. Space characteristic forming for optimally oriented components	29

ECONOMICS AND ORGANIZATION OF SCIENTIFIC AND ECONOMIC AKTIVIES

Betsis P.M. Network economics becomes the norm	34
Fayzrakhmanov R.A., Rubtsov Yu.F. Automatic control methodological features for energoresource-saving	36
Fortinskiy Yu.K. Control modeling tasks for electronic industry enterprises	41

SURVEY OF PERIODICALS

Periodicals review	45
--------------------------	----

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 30.11.10. Подписано в печать 27.01.11.
Формат 60×88 1/8. Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 5,88. Уч. изд. л. 6,9. Заказ 49. 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 681.587.344.7

А.А. Калюжный, канд. техн. наук, доц., **В.П. Бирюков**, д-р техн. наук, проф.
 (Балаковский институт техники, технологии и управления – филиал Государственного
 образовательного учреждения высшего профессионального образования
 «Саратовский государственный технический университет»)

bittiuzdes@yandex.ru

СИНТЕЗ РОБАСТНОГО РЕГУЛЯТОРА КОМПОЗИТНЫМ КОЭФФИЦИЕНТОМ ПОТЕРЬ ВИБРОДЕМПФИРУЮЩЕГО МАТЕРИАЛА

Предложена робастная система управления композитным коэффициентом потерь вибродемпфирующих материалов, обеспечивающая устойчивую и эффективную работу при нестабильности параметров объекта управления.

Ключевые слова: технологический процесс, композитный коэффициент потерь, вибродемпфирующий материал, система управления, робастный регулятор, грубая система.

Process research for controlled laser thermosplitting of the brittle materials is introduced as an example of oxide glasses based on the application of the infrared laser with strontium vapor.

Key words: research, regimes, brittle nonmetallic materials, controlled laser thermosplitting, oxide glasses, infrared laser with strontium vapor.

В работах [1–5] проведён анализ технологического процесса (ТП) получения битумных вибродемпфирующих материалов как объекта управления композитным коэффициентом потерь, предложен метод динамического механического анализа его определения, синтезирован линейный оптимальный стохастический регулятор композитного коэффициента потерь (ККП) и решена задача повышения его эффективности. В данной статье для обеспечения устойчивости и эффективности работы системы при имеющейся нестабильности гидродинамического режима и коэффициентов передачи объекта управления по управляющим воздействиям производится синтез робастного регулятора.

Структурная схема системы управления композитным коэффициентом потерь технологической линии производства битумных вибродемпфирующих материалов, представленная на рис. 1, включает в себя [1–4]:

передаточную функцию дискретного смесителя, выражющую связь между расходом битума u_1 на приготовление партии битумной смеси в дискретном смесителе и композитным коэффициентом потерь на его выходе,

$$W_1(z) = \frac{x_1(z)}{u_1(z)} = k_1 = -0,0005 \text{ ККП}/\%;$$

передаточную функцию дискретного смесителя, выражющую связь между расходом мела u_2 на приготовление партии битумной смеси в дискретном смесителе и композитным коэффициентом потерь x_2 на его выходе,

$$W_2(z) = \frac{x_2(z)}{u_2(z)} = k_2 = 0,0003 \text{ ККП}/\%;$$

передаточную функцию по ККП непрерывного смесителя

$$W_3(z) = \frac{x_4(z)}{x_3(z)} = \frac{0,094z + 0,067}{z^2 - 1,197z + 0,358};$$

передаточную функцию по ККП технологических переходов после непрерывного смесителя до получения результатов лабораторного анализа

$$W_4(z) = \frac{x_5}{x_4} = \frac{1}{z};$$

математические модели формирующих фильтров возмущающих воздействий W_{f1} и W_{f2} , полученных аппроксимацией спектральных плотностей возмущающих воздействий f_1 и f_2 дробно-рациональными функциями частоты, расщепления, факторизации и дискретизации.

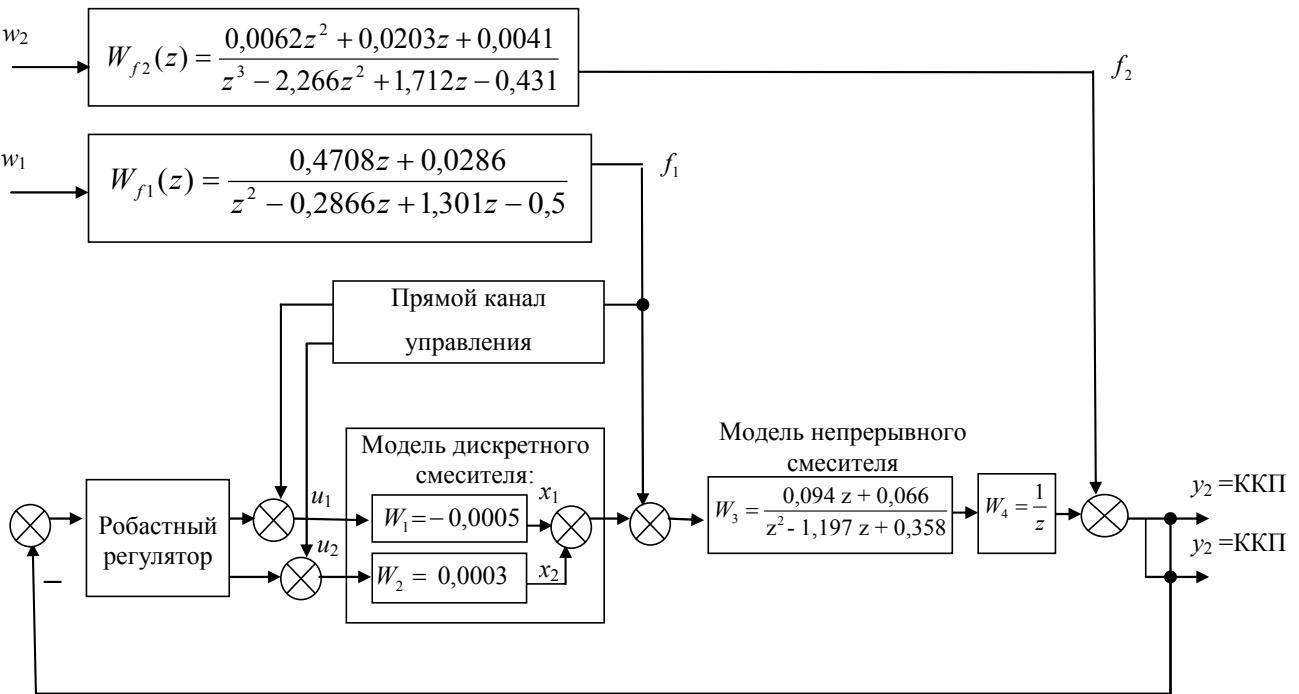


Рис. 1. Структурная схема системы управления композитным коэффициентом потерь вибродемпфирующего материала

Технологический процесс содержит последовательно включённые дискретный смеситель, непрерывный смеситель, технологические переходы поверхности обработки полотна битумного вибродемпфирующего материала. В дискретном смесителе первой стадии поочерёдно производится приготовление партий битумной смеси. Параметры следующих друг за другом партий являются значениями временного ряда. Объект управления является дискретным с периодом дискретизации $\Delta T = 30$ мин. Тогда частота измеряется в количестве колебаний на период дискретизации (кол./ ΔT), а максимальная исследуемая по частоте гармоника, согласно теореме Котельникова, имеет период 2 партии (частота 0,5 кол./ ΔT).

Система управления является комбинированной. Прямой канал управления отрабатывает часть возмущающего воздействия f_1 путём его косвенной оценки и корректировки управляющих воздействий. Возмущение f_3 , оставшееся от возмущения f_1 , и возмущение второй стадии f_2 , приведённое к выходу объекта управления, отрабатываются по обратной связи:

$$S_{f\Sigma} = |W_3 W_4|^2 S_{f3} + S_{f2}.$$

Дискретная расширенная модель объекта управления с учётом математической модели формирующего фильтра возмущения f_Σ в представлении A , B , C , D имеет вид

$$\begin{cases} x[n+1] = Ax[n] + Bu[n]; \\ y[n] = Cx[n] + Du[n], \end{cases} \quad (1)$$

где x – вектор-столбец параметров состояния размерностью $n = 8$; u – вектор входных воздействий, включающий управляющее воздействие u_1 , u_2 , размерностью $r = 2$, случайный процесс типа белый шум w_Σ размерностью $f = 1$ для формирования возмущающего воздействия f_Σ ; y – вектор управляемых переменных размерностью $m = 2$;

$$A = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0,263 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,291 & -0,039 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2,394 & 0,905 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,361 & -0,161 & -0,014 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,649 & 0,907 & -0,008 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,377 & 0,967 & 0,997 \end{vmatrix};$$

$$B = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 \\ -7,47E-05 & 4,48E-05 & 0 \\ -0,00017 & 0,0001 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,162 \\ 0 & 0 & 0,094 \\ 0 & 0 & 0,033 \end{vmatrix};$$

$$C = | \begin{array}{cc} 1 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{array} | ; \quad 0,185 | ;$$

$$D = | \begin{array}{c} 0 \\ 0 \\ 0 \end{array} | .$$

Постановка задачи синтеза робастной системы.

Технологический процесс получения вибродемпифицирующих материалов вследствие изменения производительности, а также реакционной способности исходных ингредиентов и возвратных отходов является объектом управления с нестабильными параметрами. Анализ экспериментальных данных в процессе построения математических моделей позволил выявить диапазоны изменения коэффициентов передачи по каналам дозировки битума и мела на композитный коэффициент потерь $-0,00083 \leq k_1 \leq -0,00059$; $0,00021 \leq k_2 \leq 0,00045$ [1, 2].

Изменения объёма смеси в непрерывном смесителе и расхода битумной смеси на входе и выходе приводят к изменению функции распределения смесителя по времени пребывания. При этом постоянная времени T непрерывного смесителя может изменяться в пределах $1 < T < 4$ ч.

С целью обеспечения работы системы управления в данных условиях ставится задача произвести синтез робастного регулятора, обеспечивающего устойчивую и эффективную работу при изменении параметров объекта управления в указанных пределах.

Для синтеза использовался метод весовых функций [6, 7]. При такой постановке задачи общая структурная схема системы имеет вид, показанный на рис. 2.

Для выражения требования к ошибке e , управляющему воздействию u и выходной переменной y в аналитической форме используется обобщённый критерий, в котором данные переменные представлены с весовыми функциями W_1^*, W_2^*, W_3^* .

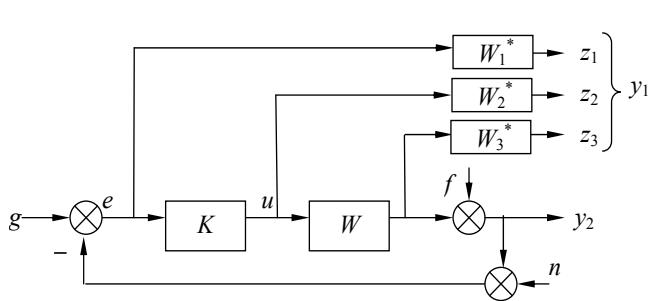


Рис. 2. Структурная схема системы для синтеза робастного регулятора:

W – объект; K – регулятор; g – задание; f – возмущение, приведённое к выходу объекта; n – ошибка измерения; e – ошибка регулирования; u – управляющее воздействие; W_1^*, W_2^*, W_3^* – весовые функции, зависящие от частоты

При синтезе находят регулятор, минимизирующий бесконечную норму H :

$$\|T_{y1u}\| = \|z_1; z_2; z_3\|_\infty \leq 1,$$

$$\text{где } T_{y1u} = [W_1^* S, W_2^* R, W_3^* T].$$

Синтез робастного регулятора. Функция веса W_1^* должна обеспечивать малый вес ошибки в области действия возмущающего воздействия f_Σ (спектральная плотность S_Σ) и большой вес в области средних и высоких частот. Выбранная в процессе синтеза функция W_1 для двумерной системы имеет вид

$$W_1^* = \left| \begin{array}{cc} \frac{0,5155s^2 + 1,146s + 0,9022}{3,47s^2 + 1,304s + 0,25} & \times \\ & 0 \\ \times & 0 \\ & \frac{0,5155s^2 + 1,146s + 0,9022}{3,47s^2 + 1,304s + 0,25} \end{array} \right|. \quad (2)$$

Значение частотной функции веса W_2^* вначале задавалось в виде малой величины и подбиралось в процессе синтеза регулятора для вывода управляющих сигналов u_1, u_2 на допустимый уровень $\pm 40\%$ от номинального значения:

$$W_2^* = \begin{vmatrix} 0,00001 & 0 \\ 0 & 0,000007 \end{vmatrix}. \quad (3)$$

Функция W_3^* выбиралась из условия $W_3^* \geq 1 - W_1^*$:

$$W_3^*(s) = \begin{vmatrix} \frac{0,49s^2 + 1,4s + 1}{3,5} & 0 \\ 0 & \frac{0,49s^2 + 1,4s + 1}{3,5} \end{vmatrix}. \quad (4)$$

Графики амплитудно-частотных характеристик весовых функций W_1^{*-1}, W_3^{*-1} и спектральной плотности возмущающего воздействия на объект управления представлены на рис. 3.

Решение задачи синтеза робастного регулятора проводилось с помощью функций, входящих в пакет анализа Robust Control System системы MatLab. Синтез регулятора функциями Robust Control System выполняется только для квадратных систем, поэтому выходная координата объекта управления искусственно расширена до двумерной (см. рис. 1).

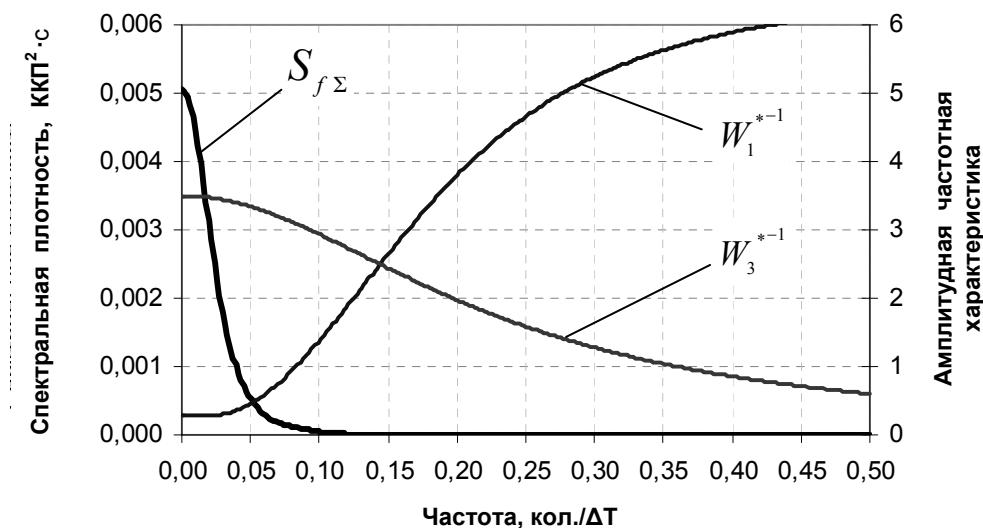


Рис. 3. Весовые частотные функции и спектральная плотность

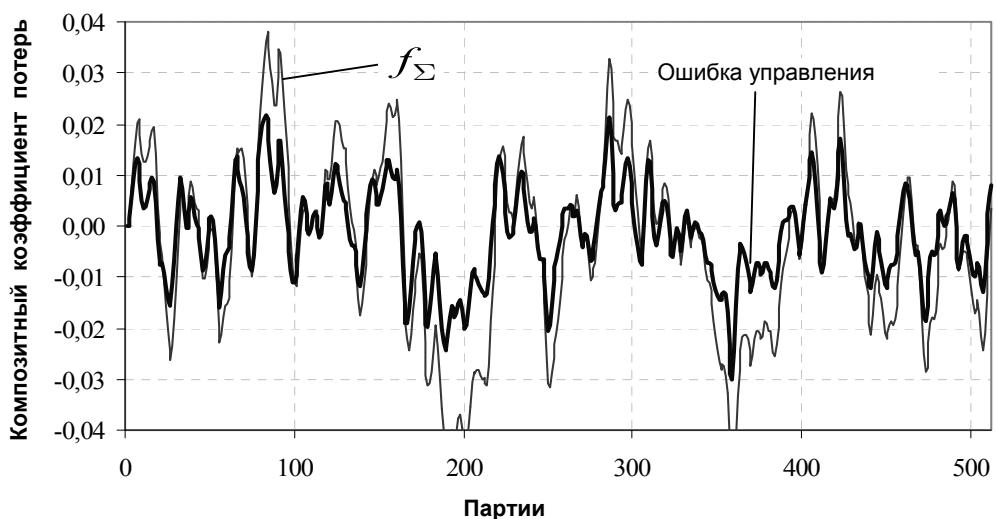


Рис. 4. Выходные переменные для разомкнутой и замкнутой систем

Анализ эффективности робастной системы управления. На рис. 4 приведены временные ряды регулируемой переменной для разомкнутой системы и замкнутой робастной системы, полученные путём математического моделирования. Данные показывают, что робастный регулятор является более эффективным, чем линейно-квадратичный гауссовый (ЛКГ) регулятор (см. таблицу), и уменьшает дисперсию КПП в 3,2 раза.

Полученная функция смешанной чувствительности T_{y1u} робастного регулятора во всём частотном диапазоне работы синтезированной системы управления меньше 1 (рис. 5). Следовательно, все требования к системе по ослаблению возмущений и обеспечению запаса устойчивости, сведён-

ные при постановке задачи к требованию по норме $\|T_{y1u}\| = \|z_1; z_2; z_3\|_\infty \leq 1$, выполнены.

Анализ влияния нестабильности гидродинамического режима непрерывного смесителя. Для анализа грубости полученной робастной системы управления проводилось сравнение робастного регулятора с ЛКГ [5]. При этом коэффициенты передачи и постоянная времени модели непрерывного смесителя изменялись, происходила потеря устойчивости систем.

Результаты показали, что в отличие от ЛКГ робастный регулятор обеспечивает устойчивую работу системы при изменении параметров объекта управления в указанных диапазонах. На рис. 6 представлены результаты анализа влияния не-

Сравнения показателей линейно квадратичного и робастного регуляторов

Наименование показателя		Робастный регулятор	ЛКГ регулятор [5]
Диапазон изменения дозировок	битума $u_1, \%$	39,7	39,7
	мела $u_2, \%$	38,5	39,7
Частотный диапазон эффективной работы системы управления, Гц [5]		0 – 0,085	0 – 0,078
Статический коэффициент передачи		0,508	0,518
Коэффициент эффективности $k_{\text{эфф}} = s_f^2 / s_y^2$		3,2	2,65
Дисперсия возмущения s_f^2		2,56E-04	2,56E-04
Дисперсия выхода s_y^2		7,97E-05	9,65E-05

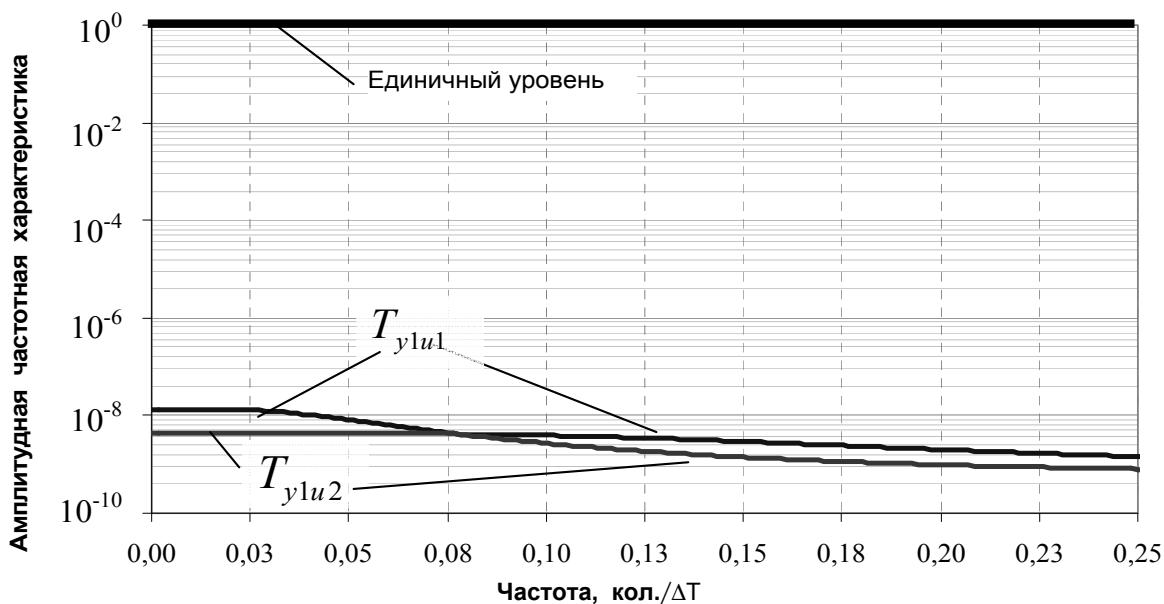


Рис. 5. Частотная характеристика системы

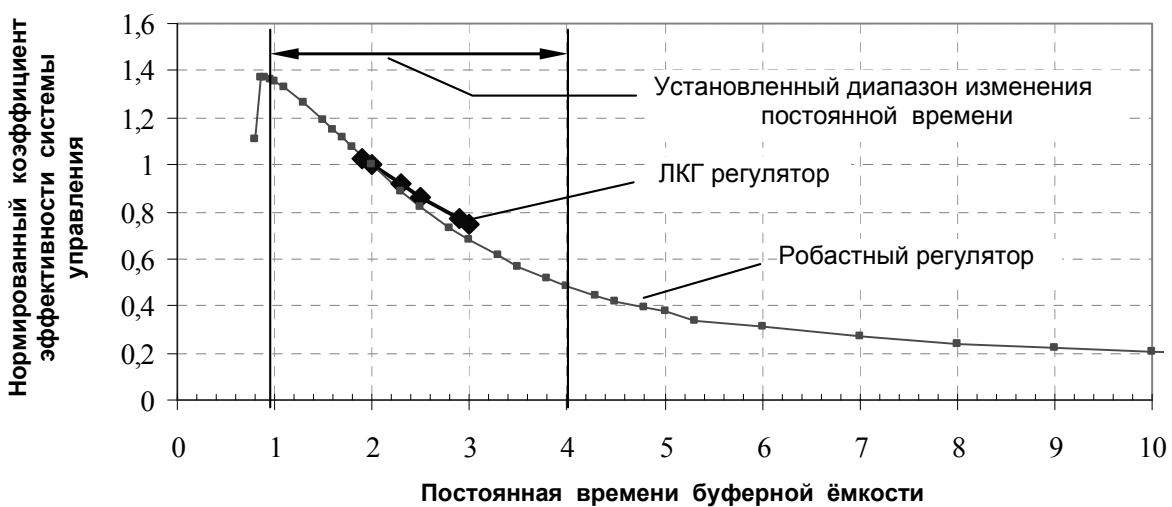


Рис. 6. Анализ грубости системы с линейно-квадратичным гауссовым и робастным регуляторами при изменении параметра T

стабильности постоянной времени непрерывного смесителя.

Выводы. Проведён синтез робастного регулятора композитного коэффициента потерь. Анализ функции смешанной чувствительности показал, что условия робастности системы управления выполняются.

Робастный регулятор обеспечивает устойчивую и эффективную работу системы управления при заданных диапазонах изменения параметров объекта управления.

Библиографические ссылки

1. Калюжный А.А., Бирюков В.П. Построение математической модели непрерывного смесителя битумных вибродемптирующих материалов // Автоматизация и управление в машино- и приборостроении: сб. науч. тр. Саратов: СГТУ, 2008. С. 92–95.
2. Калюжный А.А., Бирюков В.П. Построение математической модели зависимости коэффициента потерь битумного вибродемптирующего материала от его состава // Автоматизация и управление в машино-

и приборостроении: сб. науч. тр. Саратов: СГТУ, 2008. С. 8–12.

3. Калюжный А.А., Бирюков В.П. Рассмотрение технологического процесса производства битумного вибродемптирующего материала как объекта управления // Автоматизация и управление в машино- и приборостроении: сб. науч. тр. Саратов: СГТУ, 2008. С. 13–18.

4. Калюжный А.А., Бирюков В.П. Выбор параметров для управления качественными показателями вибродемптирующих материалов // Автоматизация и управление в машино- и приборостроении: сб. науч. тр. Саратов: СГТУ, 2008. С. 86–91.

5. Калюжный А.А., Бирюков В.П. Синтез ЛКГ регулятора композитного коэффициента потерь битумного вибродемптирующего материала // Вестник саратовского государственного технического университета. 2009. №2 (32). С. 78–86.

6. Перемульев В.М. Пакеты расширения Matlab. Control System Toolbox и Robust Control Toolbox. М.: САЛОН-ПРЕСС, 2008. 224 с.

7. Методы робастного, нейронечёткого и адаптивного управления: Учеб. / Под ред. Н.Д. Егупова. Изд. 2-е, стереотипное. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. 744 с.

УДК 621.791.78

В.К. Шемелин, канд. техн. наук, проф., **А.В. Чирков** (Московский государственный технологический университет «Станкин»), **В.К. Сысоев**, д-р техн. наук (ФГУП «НПО им. С.А. Лавочкина», Московская обл., г. Химки)

supreme@nln.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ ЛАЗЕРНОГО УПРАВЛЯЕМОГО ТЕРМОРАСКАЛЫВАНИЯ ОКСИДНЫХ СТЕКОЛ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ ИК-ЛАЗЕРА НА ПАРАХ СТРОНЦИЯ

Представлены результаты исследования процесса лазерного управляемого термораскальвания хрупких материалов на примере оксидных стекол с применением ИК-лазера на парах стронция.

Ключевые слова: исследование, режим, хрупкие неметаллические материалы, лазерное управляемое термораскальвание, оксидные стёкла, ИК-лазер на парах стронция.

Process research for controlled laser thermosplitting of the brittle materials is introduced as an example of oxide glasses based on the application of the infrared laser with strontium vapor.

Key words: research, regimes, brittle nonmetallic materials, controlled laser thermosplitting, oxide glasses, infrared laser with strontium vapor.

Статья посвящена исследованию процессов при обработке стекла и других хрупких неметаллических материалов на основе применения нового метода лазерной резки, так называемого метода лазерного управляемого термораскальвания.

Поскольку существующие традиционные технологии обработки деталей и изделий оптического приборостроения (в частности стёкол) в ряде случаев достигли пределов своих возможностей с точки зрения как повышения качества и

точности обработки, так и себестоимости выпускаемой продукции, то актуальной является задача разработки и применения новых методов обработки. Существующие способы обработки прецизионных изделий основываются на устаревших традиционных операциях: резки твёрдо-сплавным или алмазным инструментом, шлифовки и доводки кромок алмазно-абразивным инструментом, а в ряде случаев механической или огневой полировки.

На этом фоне лазерное управляемое термораскальвание сегодня – это наиболее эффективный метод высокоточного разделения хрупких неметаллических материалов, отличительная особенность которого заключается в том, что разделение материала происходит не за счёт испарения материала вдоль линии реза, а за счёт образования разделяющей трещины под действием напряжений растяжения, возникающих при поверхностном нагреве материала лазерным излучением и последующем охлаждении зоны нагрева с помощью хладагента.

К преимуществам этого метода следует отнести высокую чистоту процесса, основанную на безотходности процесса разделения материалов методом лазерного управляемого термораскальвания, высокую скорость резки различных типов стекла, достигающую 1000 мм/с и более, высокую точность резки, составляющую 5–10 мкм на длине 500 мм, и значительную экономичность.

Сущность метода лазерного управляемого термораскальвания. При облучении поверхности хрупкого материала лазерным излучением с длиной волны, для которого материал является непрозрачным, часть энергии отражается от границы «воздух–материал», а остальная часть поглощается и выделяется в виде тепловой энергии в приповерхностном слое материала [1].

При облучении поверхности непрозрачного хрупкого материала лазерным излучением во внешних его слоях возникают значительные напряжения сжатия, которые, однако, к разрушению не приводят. При выходе нагретого участка из зоны воздействия лазерного излучения начинается охлаждение поверхностных слоёв материала. При подаче хладагента вслед за лазерным пучком происходит резкое локальное охлаждение поверхности материала по линии

реза. Создаваемый градиент температур обуславливает возникновение в поверхностных слоях материала напряжений растяжения, превышающих предел прочности материала, которые приводят к образованию микротрещины, проникающей в глубь материала до внутренних прогретых слоёв, испытывающих напряжения сжатия. Таким образом, в материале на границе зон нагрева и охлаждения, т. е. в месте максимального градиента температур «нагрев–охлаждение», образуется микротрещина, глубина которой определяется распределением термоупругих напряжений, зависящим от ряда факторов. Схема образования микротрещины при лазерном управляемом термораскальвании приведена на рис. 1 и 2.

Основные факторы, влияющие на режимы лазерного управляемого термораскальвания листового стекла. К числу факторов, имеющих первостепенное значение для процесса лазерного управляемого термораскальвания, следует отнести:

параметры лазерного пучка (плотность мощности лазерного излучения, размеры и форму лазерного пучка на поверхности разделяемого материала);

скорость относительного перемещения лазерного пучка и материала;

теплофизические свойства, количество и условия подачи хладагента в зону нагрева;

теплофизические и механические свойства разделяемого материала, его толщину и состояние поверхности.

Исследования режимов термораскальвания. На рис. 3 показана диаграмма по результатам исследования и определения спектров поглощения оксидных стекол и излучения лазеров для термораскальвания.

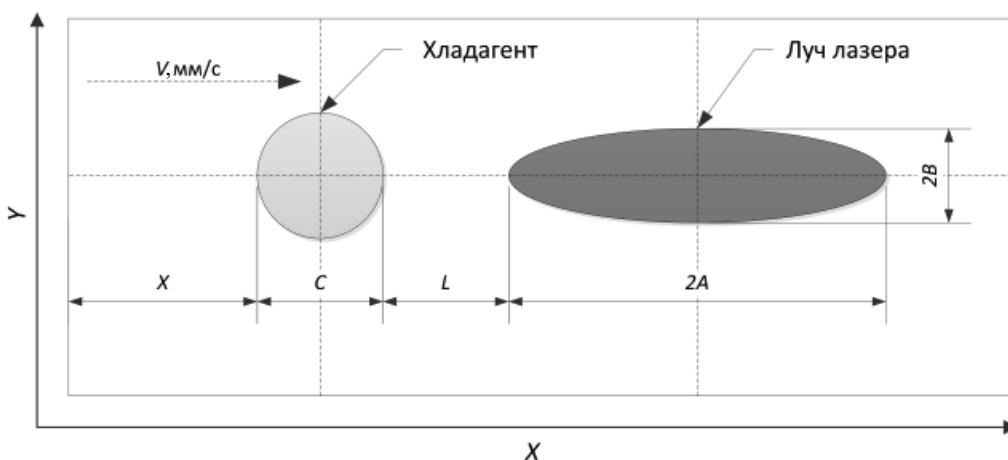


Рис. 1. Схема нагрева поверхности материала лазерным эллиптическим пучком и охлаждения зоны нагрева с помощью хладагента

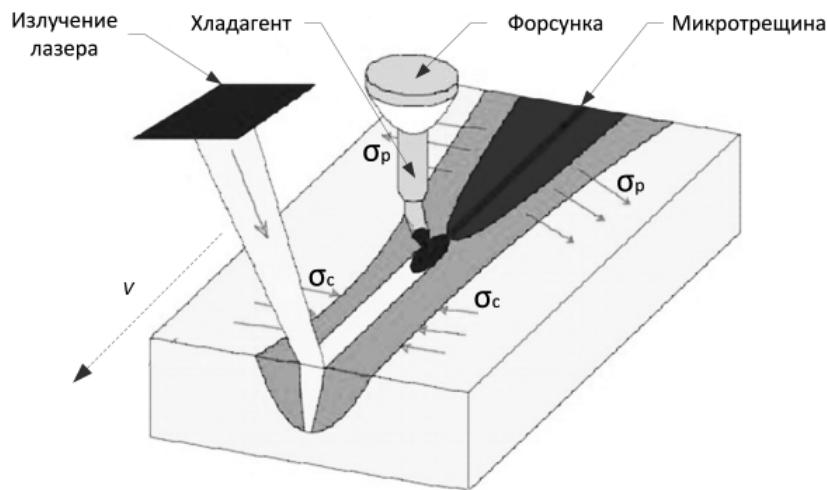


Рис. 2. Распределение напряжений сжатия σ_c и растяжения σ_p и образование микротрещины при лазерном управляемом термораскалывании

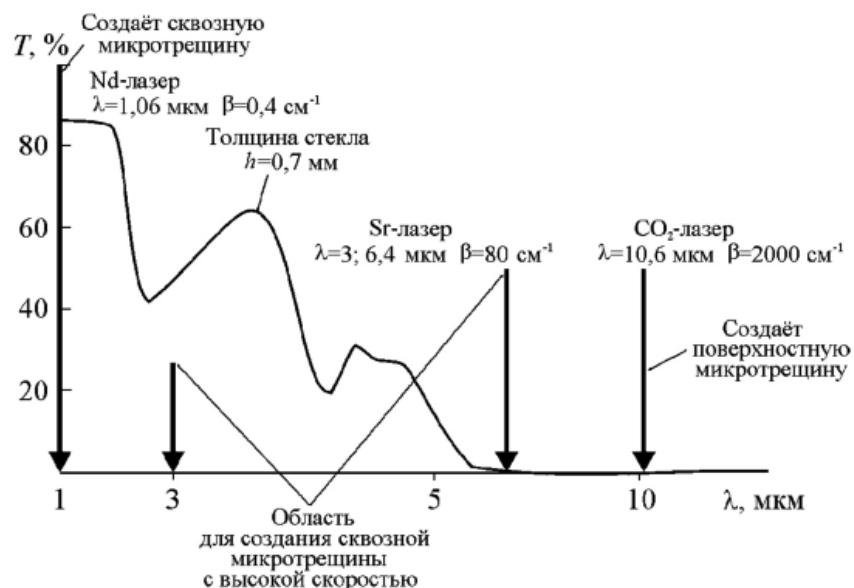


Рис. 3. Спектры поглощения оксидных стекол β и излучение лазеров λ для термораскалывания

При данном методе обработки обычно используют излучение CO_2 - или Nd-лазеров. В первом случае излучение с длиной волны 10,6 мкм поглощается в оксидных стёклах на глубину не более 50–100 мкм, что создаёт поверхностную микротрещину, длина которой обычно не превышает 5–100 мкм [2]. Скорость развития микротрещины может достигать 1000 мм/с. Для сквозного разделения стеклянных изделий применяется дополнительная операция, чаще всего механический излом.

Максимальная толщина разделяемого с помощью CO_2 -лазера материала, как правило, не превышает 5 мм (сквозное термораскалывание стекла возможно и при повторном воздействии на созданную микротрещину расфокусированного

излучения CO_2 -лазера, но скорость такого процесса будет мала).

В случае использования Nd-лазера с длиной волны 1,06 мкм поверхностный нагрев под действием лазерного излучения сочетается с охлаждением зоны нагрева хладагентом, что обеспечивает высокую скорость термораскалывания за счёт создания объёмной (сквозной) микротрещины.

Оксидные стёкла в области излучения Nd-лазера имеют низкое поглощение, однако при высокой мощности лазера ($>>100$ Вт, до 800 Вт) этого достаточно для создания термонапряжений, приводящих к образованию сквозной микротрещины, разделяющей стеклянные изделия [3].

Особенностью данного способа управляемого лазерного термораскалывания является возможность сквозного разделения стёкол большой (до ~30 мм) толщины, хотя скорость обработки при этом невелика и не превышает 100 мм/с. В то же время высокочистые стёкла, в которых поглощение излучения Nd-лазера составляет менее 0,1–1 %, не поддаются термораскалыванию с помощью Nd-лазера.

Основной областью применения технологии управляемого лазерного термораскалывания является размерная обработка стекла для дисплеев, в которых требуется сквозное разделение стёкол толщиной ~0,6–0,8 мм с точностью 5–20 мкм, со скоростью до 500 мм/с [4].

Получить такие параметры процесса с помощью CO₂- или Nd-лазеров невозможно, что делает актуальным поиск новых лазерных источников излучения для термораскалывания стёкол. Предварительный анализ показал, что оптимальным источником является лазер со спектром излучения в области полупрозрачности стекол (2–7 мкм), мощность излучения которого должна быть не менее 20–100 Вт (см. рис. 3).

Существует несколько лазеров, работающих в этой области спектра: твёрдотельный излучатель ϵ_r ($\lambda=2,94$ мкм), импульсно-периодический излучатель на парах Sr ($\lambda=1; 3; 6,4$ мкм) и непрерывный газовый излучатель CO ($\lambda=5,1–6,2$ мкм) [5].

Твёрдотельный импульсно-периодический лазер ϵ_r имеет малую мощность (<5 Вт) и поэтому малопригоден для данной технологии. Непрерывный газовый CO-лазер мощностью 10–15 Вт выпускается отечественной промышленностью (ФГУП НПО «Исток»), однако такой уровень мощности также недостаточен для успешного термораскалывания.

Лазер на парах стронция является уникальным источником излучения, одновременно генерирующим излучение с длинами волн 1, 3 и 6,4 мкм, при этом большая часть мощности выделяется в области 6,4 мкм [6].

Предварительные эксперименты, проведённые в Томском университете на установке с лазером на парах стронция мощностью более 20 Вт, показали перспективность использования излучателей, работающих в области 4–7 мкм, для термораскалывания стёкол [7].

Целью данной работы являлось сравнительное изучение параметров процесса термораскалывания стёкол при использовании излучения CO₂-, Nd- и Sr-лазеров.

Как отмечалось ранее, при лазерном управляемом термораскалывании монокристаллов, у которых ярко выражена анизотропия теплофизических и механических свойств, необходимо учитывать изменение технологических параметров в зависимости от направления резки.

Кроме того, принципиальным отличием в процессе резки указанных анизотропных материалов методом лазерного управляемого термораскалывания по сравнению со стеклом является существенное отличие их теплофизических свойств и, в первую очередь, коэффициентов теплопроводности, что накладывает совершенно иные жёсткие ограничения на параметры лазерного пучка и технологические режимы процесса.

Методика эксперимента по исследованию режимов лазерного управляемого термораскалывания (ЛУТ). Исследования режимов термораскалывания проводились на нескольких установках с различным типом лазерного излучателя (рис. 4).

Основными элементами установки являются CO₂-, Nd- и Sr-лазеры, двухкоординатные двигатели на воздушной подвеске и сервисные системы. Эксперименты проводились на стёклах одной марки толщиной $t \approx 0,7$ мм. После раскалывания анализировалось качество поверхности скола стекла, наличие микронеоднородностей и прочность.

Результаты эксперимента. Термораскалывание стекла происходит в результате распространения микротрешины, образующейся под действием локальных термонапряжений.

Величина термонапряжений зависит в первую очередь от глубины поглощения лазерного излучения. Для CO₂-лазера ($\lambda = 10,6$ мкм) поглощение носит поверхностный характер и происходит на глубине ~100 мкм; для Nd-лазера ($\lambda = 1,06$ мкм) поглощение происходит, как правило, по всей толщине стекла, т.е. является объёмным; для CO-лазера ($\lambda = 5,1–6,2$ мкм) поглощение излучения происходит на глубине ~300–400 мкм, и область, в которой создаются термонапряжения, имеет форму клина, что позволяет раскалывать стёкла, толщина которых больше глубины слоя поглощения лазерного излучения.

В случае Sr-лазера область поглощения лазерного излучения имеет наиболее оптимальную форму глубокого клина, что позволяет раскалывать стёкла большой толщины с высоким качеством края и обеспечивает высокую скорость процесса.

Термомеханические расчёты распределения полей растягивающих напряжений, перпендикулярных плоскости разделения образцов, проведённые для CO₂- и Sr-лазеров, показали, что глубина δ распространения трещины определяется пространственным распределением в объёме материала максимальных сжимающих напряжений, препятствующих развитию микротрешины. Для случая нагрева Sr-лазером $\delta = 600$ мкм, а для CO₂-лазера – 200 мкм, т.е. поля термоупругих напряжений сжатия при нагреве Sr-лазером способствуют более глубокому распространению микротрешины, чем при использовании CO₂-лазера.

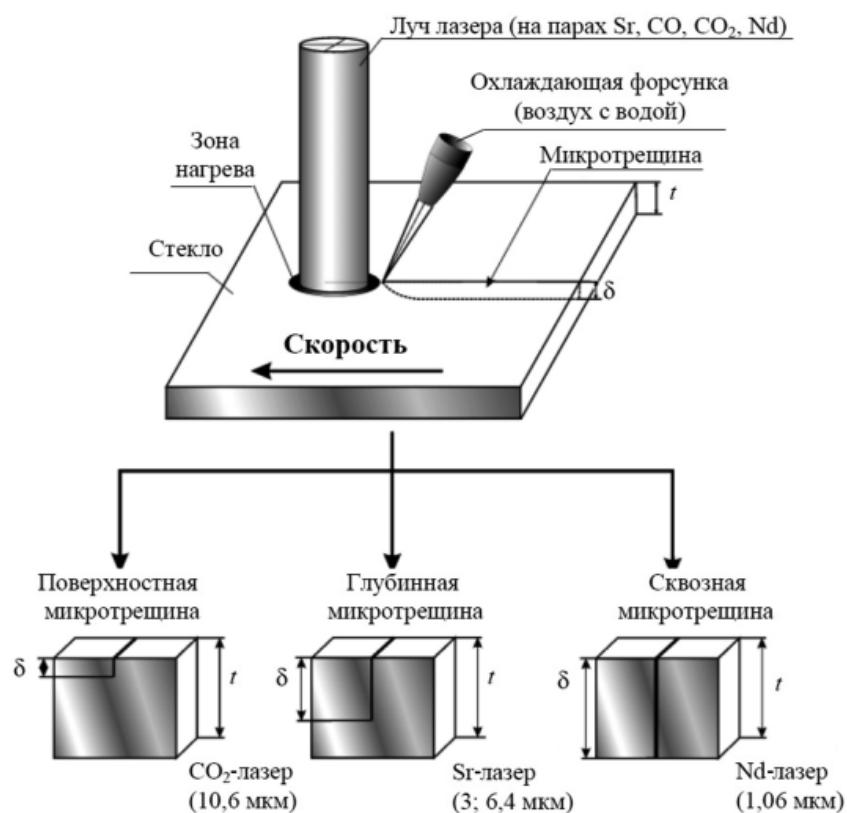


Рис. 4. Режимы лазерного управляемого термораскалывания

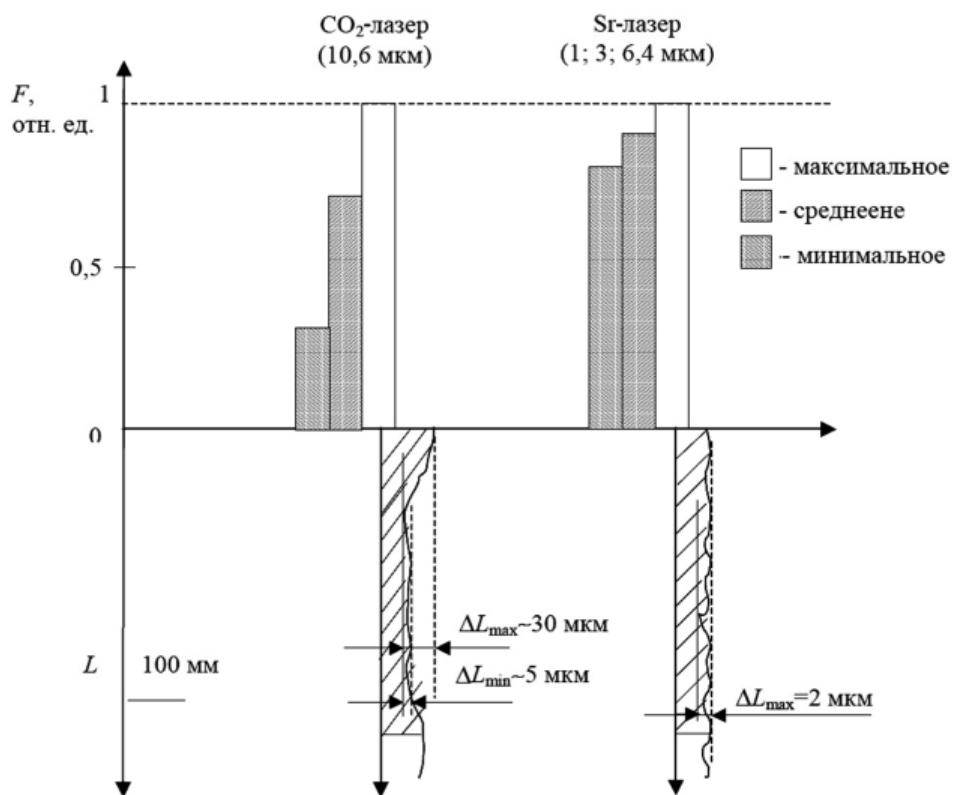


Рис. 5. Гистограммы прочности и геометрической однородности поверхности сколов стёкол, полученных термораскалыванием стекла толщиной 1 мм излучением CO₂- и Sr-лазерами

Также было установлено, что при одинаковой мощности лазерного излучения и конфигурации пучка максимальная температура в случае Sr-лазера будет на ~30 % меньше, чем при облучении CO₂-лазером, при этом величина растягивающих напряжений в обоих случаях практически одинакова.

Отсюда следует, что для увеличения растягивающих напряжений, формируемых в зоне подачи охладителя, достаточно повысить мощность излучения Sr-лазера. Это в свою очередь повысит вероятность возникновения микротрешины и обеспечит более высокую устойчивость процесса. Расчёты показали, что в режиме сквозного термораскалывания или лазерного докалывания использование объёмного нагрева может уменьшить влияние краевых эффектов, так как величина растягивающих напряжений перед лазерным пучком для Sr-лазера меньше, чем для CO₂-лазера.

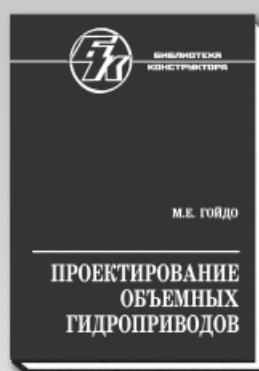
В результате неконтролируемое движение трещины при подходе к границе изделия начинается позже, что снижает образование краевых дефектов. Экспериментальные работы, проведённые на лазерной установке с применением CO₂- и Sr-лазеров, подтвердили результаты оценочных расчётов поведения микротрешины при управляемом термораскалывании. Гистограмма прочности и геометрической однородности поверхности сколов стёкол, полученных термораскалыванием стекла толщиной 1 мм излучением CO₂- и Sr-лазеров показывает, что качество сколов стекла повышается при использовании Sr-лазера (рис. 5).

Из данных сравнительных механических испытаний стеклянных образцов видно, что более высокую механическую прочность имеют изделия, полученные с помощью излучения Sr-лазера.

Выводы. Показано, что использование Sr-лазера при управляемом термораскалывании стекла, при весьма малой мощности лазера (20 Вт) обеспечивает гораздо более высокую скорость сквозного термораскалывания стекла толщиной ~0,7–1 мм, чем при применении CO₂- и Nd-лазеров. Сколы стекла имеют минимальное количество микронеоднородностей и более высокую прочность, чем при использовании CO₂-лазера.

Библиографические ссылки

1. Мачулка Г.А. Лазерная обработка стекла. М.: Советское радио, 1979, 136 с.
2. Оптические материалы для ИК-техники. Е.М. Воронкова, Б.Н. Гречушникова, Г.И. Дистлер, И.П. Петров. М.: Наука, 1965, 335 с.
3. Управляемое светолазерное термораскалывание стёкол / В.К. Сысоев, Ю.Н. Булкин, В.С. Чадин, А.В. Захарченко, П.А. Вятлев, К.Л. Лезвинский // Письма в ЖТФ. 2007. Т.33. № 1. С. 54–59.
4. Разработка технологии лазерного управляемого термораскалывания плоских дисплейных панелей / В.С. Кондратенко, В.Е. Борисовский, П.Д. Гиндин, А.С. Наумов, Джун Ли Сек // Приборы и автоматизация. 2005. № 4. С. 41–49.
5. Солдатов А.Н., Соломонов В.И. Газоразрядные лазеры на самоограниченных переходах в парах металлов. Новосибирск: Наука, 1985, 150 с.
6. Увеличение эффективности управляемого лазерного термораскалывания диэлектрических материалов / В.К. Сысоев, Б.П. Папченко, А.В. Захарченко, П.А. Вятлев // Оптический журнал. 2004. Т. 71. № 2. С. 41–45.
7. Солинов В., Сирота А., Чадин В. Лазерная резка стекла // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2004. № 5. С. 50–52.



ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОБЪЕМНЫХ ГИДРОПРИВОДОВ

(Библиотека конструктора).

М.Е. Гайдо

300 с. ISBN: 978-5-94275-427-3

Цена 440 р.

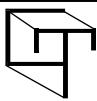
Приведены классификация объемных гидроприводов; правила выполнения их схем; математическое описание процессов, происходящих при работе гидроприводов; типовые схемные решения, используемые при проектировании объемных гидроприводов; выбор параметров и исследование характеристики работы объемных гидроприводов различного назначения и исполнения при разных условиях нагружения; применение САПР при проектировании гидроприводов.

Для инженеров-конструкторов, изготовителей, а также обслуживающего персонала гидрооборудования, может быть полезна преподавателям и студентам вузов.

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 681.513

К.А. Неусыпин, д-р техн. наук, проф., А.В. Пролетарский, канд. техн. наук, доц., С.В. Власов
 (Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана)

neysipin@mail.ru

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ АВТОНОМНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Рассмотрены алгоритмические методы повышения точности инерциальных навигационных систем, функционирующих в автономном режиме. Разработан метод коррекции автономных навигационных систем на основе оригинального способа формирования измерительного сигнала с использованием информации с датчиков углов прецессии, нелинейного фильтра Калмана и метода самоорганизации.

Ключевые слова: автономная инерциальная навигационная система, коррекция, прецессия, фильтр Калмана, самоорганизация.

Accuracy increase algorithmic methods of the inertial navigation system functioning in the autonomous regime are considered. Correction method for autonomous navigation systems is devised based on the original formation method of the measuring signal with information application from angles precession sensors, Calman's non-linear filter and self-organization method.

Key words: autonomous inertial navigation system, correction, precession inertial, Calman's filter self-organization.

Методы компенсации погрешностей автономных инерциальных навигационных систем. В эксплуатационных условиях летательный аппарат (ЛА), на котором установлена инерциальная навигационная система (ИНС), совершает движения вокруг центра масс, что приводит к возмущающим моментам вокруг осей подвеса гиростабилизированной платформы (ГСП) ИНС.

Наиболее опасными являются периодические или знакопеременные возмущающие моменты. Это связано с тем, что в условиях знакопеременных возмущений ГСП вокруг осей прецессии «детектируются» систематические составляющие возмущающих гироскопических моментов, приводящие к систематическому дрейфу ГСП.

Возмущающий гироскопический момент вокруг оси прецессии гироскопа возникает при возмущениях ГСП и описывается нелинейной функцией, содержащей произведения угловой скорости колебаний ГСП вокруг оси стабилизации и угла прецессии соответствующего гироскопа.

Известен метод компенсации, основанный на приближённом формировании угловых скоростей ГСП вокруг осей стабилизации как функции соответствующих углов прецессии [1].

Метод компенсации нелинейных гироскопических моментов позволяет увеличить точность работы ИНС и инерциальных систем управления.

Движение ГСП, построенной на базе трёх двухстепенных гироскопов с интегральной коррекцией и настроенной на период Шулера, может быть представлено следующей системой динамических уравнений [1, 2]:

$$J_x \ddot{\alpha} + D_x \dot{\alpha} - H(\dot{\delta} + \dot{\mu}) - L^{-1}[k_1 W_1(s) \delta(s)] = M_x;$$

$$J_y \ddot{\beta} + D_y \dot{\beta} - H(\dot{\lambda} + \dot{\mu}) - L^{-1}[k_1 W_1(s) \lambda(s)] = M_y;$$

$$J_z \ddot{\mu} + D_z \dot{\mu} - H(\dot{\vartheta} + \dot{\mu}) - L^{-1}[k_1 W_1(s) \vartheta(s)] = M_z;$$

$$J_\Gamma \ddot{\delta} + h\dot{\delta} - H\dot{\alpha} + k \int (\dot{v}_y + g\alpha) = H \frac{v_y}{R} - H\dot{\beta}\delta; \quad (1)$$

$$\begin{aligned} J_\Gamma \ddot{\lambda} + h\dot{\lambda} - H\dot{\beta} + k \int (\dot{v}_x + g\beta) &= -H \frac{v_x}{R} - \\ &- H\dot{\alpha}\lambda + M_\lambda; \end{aligned}$$

$$J_\Gamma \ddot{\vartheta} + h\dot{\vartheta} + H\dot{\mu} = H\dot{\beta}_\vartheta + M_\vartheta,$$

где xuz – ортогональная система координат, жёстко связанная с ГСП; α, β, μ – угловые координаты ориентации ГСП относительно сопровождающего трёхгранника $\xi\eta\zeta$ (углы стабилизации); $\delta, \lambda, \vartheta$ – углы пре-

цессии гироскопов; H – собственный кинетический момент гироскопа (все три гироскопа одинаковые); J_x, J_y, J_z – моменты инерции ГСП относительно осей стабилизации; J_Γ – момент инерции гироскопа относительно оси прецессии; D_x, D_y, D_z – удельные моменты сил скоростного (вязкого) трения, приведённые к осям стабилизации ГСП; h – удельный момент сил скоростного трения вокруг оси прецессии гироскопа; k_1 – статический коэффициент усиления в канале стабилизации (разгрузки); M_x, M_y, M_z – моменты внешних и инерционных сил, неучтённые в левых частях первых трёх уравнений; g – ускорение силы тяжести; R – радиус Земли; v_x, v_y – проекции абсолютной горизонтальной скорости объекта на оси ГСП; $M_\delta, M_\lambda, M_\psi$ – возмущающие моменты, включающие инерционные моменты, неучтённые в левых частях вторых трёх уравнений; $k = H/R$ – коэффициент интегральной коррекции; $W_1(s)$ – передаточная функция канала разгрузки, которая полагается одинаковой для всех трёх каналов; L^{-1} – оператор обратного преобразования Лапласа.

Система настраивается на период Шулера ($\omega_0 = \sqrt{\frac{g}{R}}$ – частота Шулера).

Введены допущения о том, что $|\delta| > |\dot{\mu}|, |\dot{\lambda}| > |\dot{\mu}|, |\dot{\vartheta}| > |z|$ и гироскопические моменты $H\dot{\mu}, H\dot{\lambda}, H\dot{\vartheta}$ могут быть учтены в M_z, M_y во втором приближении.

Связь между каналами в системе уравнений обусловлена нелинейными гироскопическими моментами вокруг осей прецессии. Пренебрегаем нелинейными членами и моментами M_δ, M_λ, M_k , которые являются величинами второго порядка малости по сравнению с гироскопическими моментами. Полагаем, что объект совершает гармонические колебания вокруг произвольной в пространстве оси, где ω – частота колебаний объекта.

Решение системы (1) в первом приближении по одному из каналов с учётом принятых допущений и ограничений, а также при $\omega^2 \gg \omega_0^2$ имеет следующий вид [3]:

$$\alpha(t) = \frac{M_{x0}}{H(k_1^2 + H^2\omega^2)} \left[(J_\Gamma H\omega^2 + h k_1) \sin \omega t + (J_\Gamma k_1 - Hh) \omega \cos \omega t \right]; \quad (2)$$

$$\delta(t) = -\frac{M_{x0}}{(k_1^2 + H^2\omega^2)} (k_1 \sin \omega t - H\omega \cos \omega t).$$

Аналогичные выражения будут иметь $\beta(t)$ и $\alpha(t)$. Нелинейные гироскопические моменты $-H\dot{\beta}\delta$ и $-H\dot{\alpha}\lambda$ при одной и той же частоте изменения возмущений системы вокруг осей стабилизации приводят к детектированию вокруг осей прецессии систематических составляющих и периодических моментов с удвоенной частотой изменения 2ω .

Погрешности ИНС вызваны гироскопическими моментами вида $H\dot{\alpha}\lambda$ и $H\dot{\beta}\delta$, которые вызывают дрейф ГСП ($\varepsilon = \beta\delta$), что приводит к существенным погрешностям. Для их компенсации можно сформировать сигналы коррекции на соответствующие моментные датчики гироскопов, пропорциональные величинам возмущающих нелинейных гироскопических моментов.

С некоторым приближением производные по времени от выражений для углов ориентации ГСП на частотах вынужденных колебаний ($\omega \gg \omega_0$) можно представить в следующем виде:

$$\dot{\alpha} = -\frac{J_\Gamma}{H} \ddot{\delta} - \frac{h}{H} \dot{\delta}; \quad \dot{\beta} = \frac{J_\Gamma}{H} \ddot{\lambda} + \frac{h}{H} \dot{\lambda}. \quad (3)$$

Имея информацию о текущих значениях углов прецессии, дифференцированием по времени сигналов с датчиков углов прецессии и использованием формул (3) можно сформировать компенсационные моменты.

Подача этих сигналов на моментные датчики гироскопов ГСП ИНС существенно уменьшает влияние нелинейных гироскопических моментов на точностные характеристики ИНС. Недостатком такой компенсации является необходимость брать производные по времени от сигналов с датчиков углов прецессии, что увеличивает шумы, имеющие место в последних.

Другой метод компенсации влияния нелинейного гироскопического момента, вызывающего дрейф ГСП ИНС, заключается в коррекции выходной информации системы [3]. Метод предполагает определение ошибок ИНС, вызванных дрейфом ГСП. Дрейф обусловлен влиянием нелинейных гироскопических моментов. Зависимость среднего значения ошибки ИНС в определении местоположения от угла прецессии и угловой скорости отклонения ГСП от плоскости горизонта имеет вид

$$\Delta y(t) = -\left(\frac{J_\Gamma}{H} \ddot{\lambda} + \frac{h}{H} \dot{\lambda} \right)^* \delta R \left(t - \frac{1}{\omega_0} \sin \omega_0 t \right). \quad (4)$$

Погрешности ИНС с компенсацией динамических ошибок, вызванных нелинейными гироскопическими моментами, рассчитаны по формуле

$$\Delta y(t) = -R \left\{ \varepsilon^* - \left[\left(\frac{J_\Gamma}{H} \ddot{\lambda} + \frac{h}{H} \dot{\lambda} \right) \delta \right]^* \right\} \times \left(t - \frac{1}{\omega_0} \sin \omega_0 t \right), \quad (5)$$

где $\ddot{\lambda}, \dot{\lambda}$ и δ определены с учётом выражения (4).

Недостатком методов коррекции автономных ИНС является невысокая точность.

Метод формирования измерений для компенсации погрешностей автономной инерциальной навигационной системы. Одной из причин появления дрейфа гироскопов являются перекрёстные угловые скорости, возникающие при совершении ЛА, на котором установлена ИНС, сложного движения.

Компенсация ошибок ИНС методами линейного оценивания без использования внешних измерений известна только для движения несущего ИНС объекта с постоянной скоростью [4]. При этом в качестве уравнений объекта в алгоритме оценивания используются уравнения ошибок автономной ИНС, а сигналы с акселерометров в условиях движения ЛА с постоянной скоростью принимаются за измерения. В практических приложениях ЛА совершает, как правило, сложное ускоренное движение, поэтому использовать этот подход для компенсации ошибок не представляется возможным. Повысить точность выходной информации ИНС, используя только внутренние связи, можно не накладывая ограничений на режим полёта.

Компенсация ошибок ИНС предполагает формирование сигналов коррекции, пропорциональных ошибкам системы в определении скорости, углам отклонения ГСП относительно сопровождающего трёхгранника и дрейфам ГСП. В качестве уравнений объекта в алгоритме оценивания приняты уравнения ошибок ИНС, выраженные через углы отклонения ГСП относительно опорной системы координат, а в качестве измерений углы отклонения ГСП от плоскости горизонта и заданного направления в азимуте, сформированные на основе информации, снимаемой с датчиков углов прецессии гироскопов.

Введём обозначения: Φ_1, Φ_2, Φ_3 – угловые координаты ориентации ГСП относительно выбранного сопровождающего трёхгранника; $\delta, \lambda, \vartheta$ – углы прецессии гироскопов; J – момент инерции гироскопа относительно оси прецессии; H – собственный кинетический момент гироскопа; h – удельный момент сил скоростного трения вокруг оси прецессии гироскопа; M_i ($i=1, 2, 3$) – прочие малые возмущающие моменты, имеющие случайный характер и в дальнейшем не рассматривающиеся. Углы ориентации ГСП можно записать в виде

$$\begin{aligned} \Phi_1 = -\frac{J_\Gamma}{H}\dot{\delta} - \frac{h}{H}\delta + \frac{1}{H}\int \left[(J_\Gamma\ddot{\lambda} + h\dot{\lambda})\delta - \right. \\ \left. - \frac{1}{H}(J_\Gamma\ddot{\vartheta} + h\dot{\vartheta})(J_\Gamma\dot{\lambda} + h\lambda) \right] dt; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Phi_2 = \frac{J}{H}\dot{\lambda} + \frac{h}{H}\lambda + \frac{1}{H}\int \left[(J\ddot{\delta} + h\dot{\delta})\lambda + \right. \\ \left. + \frac{1}{H}(J\ddot{\vartheta} + h\dot{\vartheta})(J\dot{\delta} + h\delta) \right] dt; \\ \Phi_3 = -\frac{J}{H}\dot{\vartheta} - \frac{h}{H}\vartheta + \frac{1}{H}\int \left[(J\ddot{\lambda} + h\dot{\lambda})\vartheta + \right. \\ \left. + \frac{1}{H}(J\ddot{\delta} + h\dot{\delta})(J\dot{\lambda} + h\lambda) \right] dt. \end{aligned} \quad (6)$$

Таким образом, получены формализованные зависимости углов ориентации ГСП от углов прецессии гироскопов. Сформированные в соответствии с формулами (6) углы ориентации можно использовать в алгоритме оценивания в качестве измерения.

Измерительные сигналы для алгоритма оценивания представляют собой зависимости углов отклонения и дрейфов ГСП, а также ошибок ИНС в определении скорости от углов прецессии гироскопов.

Наиболее полную компенсацию ошибок автономной ИНС можно получить с помощью алгоритмов оценивания.

Коррекция автономной ИНС с помощью нелинейного фильтра Калмана. Значения коэффициентов, вычисленных аналитически, в процессе полёта ЛА меняются. Поэтому целесообразно осуществлять их идентификацию или построение модели исследуемого процесса.

Задачу идентификации можно решать с помощью многообразных алгоритмов, а построение модели – алгоритма самоорганизации, используемого для прогнозирования погрешностей ИНС в автономном режиме, которому предшествовал корректируемый режим полёта.

При совершении ЛА манёвров углы отклонения ГСП ИНС относительно выбранной системы координат нарастают, и линейная модель её погрешностей, полученная с учётом предположения о горизонтальном движении несущего ЛА и малости углов стабилизации, становится неадекватной реальному процессу.

В этом случае обработку информации автономной ИНС осуществляют нелинейным фильтром Калмана.

Известны различные способы реализации нелинейного фильтра Калмана [5,6].

В случае, когда уравнение для вектора состояния имеет вид

$$x_k = A_k(x_{k-1}) + W_k,$$

где x_k – вектор состояния; $A_k(x_{k-1})$ – нелинейная матрица модели.

Часть вектора состояния измеряется

$$z_k = H_k x_k + V_k,$$

где z_k – вектор измерений; H_k – матрица измерений; W_k и V_k – дискретные аналоги гауссовского белого шума с нулевыми математическими ожиданиями и матрицами ковариаций Q_k и R_k соответственно.

Уравнения фильтра Калмана имеют следующий вид [5]:

$$\begin{aligned} \hat{x}_k &= \hat{x}_{k/k-1} + K_k (\hat{x}_{k-1}) [z_k - H_k \hat{x}_{k/k-1}]; \\ \hat{x}_{k/k-1} &= A_k (\hat{x}_{k-1}); \\ K_k (\hat{x}_{k-1}) &= P_{k/k-1} H_k^T \left(H_k P_{k/k-1} H_k^T + R_k \right)^{-1}; \\ P_{k/k-1} &= \frac{\partial A_k (\hat{x}_{k-1})}{\partial x_{k-1}^T} P_{k-1} \left[\frac{\partial A_k (\hat{x}_{k-1})}{\partial x_{k-1}^T} \right]^T + Q_k; \quad (7) \\ P_k &= (I - K_k (\hat{x}_{k-1}) H_k) A_k / k-1, \end{aligned}$$

где I – единичная матрица; P_k – ковариационная матрица ошибок оценивания.

Но такой подход применим лишь в случае унимодального характера апостериорной плотности. Когда апостериорная плотность многоэкстремальна, используется алгоритм, в котором апостериорная плотность представлена набором дельта-функций.

В таком представлении общее количество узлов сетки, их расположение и значения весов целесообразно подобрать так, чтобы обеспечить наиболее точное совпадение характеристик действительной апостериорной плотности и вычисляемых с помощью приближения.

Недостатком представления апостериорной плотности в виде дельта-функций является то, что не учитывается локальное поведение функции A_k в окрестности узлов сетки x_k^j . Увеличение количества узлов сетки позволит повысить точность, но при этом возрастёт объём вычислений.

Алгоритм, позволяющий учесть локальное поведение функций $A_k(x_{k-1})$, построен на полигауссовской аппроксимации апостериорной плотности.

Представленные варианты реализаций нелинейного фильтра Калмана предполагают линеаризацию модели погрешностей ИНС с помощью ряда Тейлора, представление апостериорной плотности в виде набора дельта-функций или замену апостериорной плотности системой частных гауссовских плотностей, взятых с различными

весами. В итоге в фильтре Калмана используются линейные модели погрешностей ИНС.

Использование нелинейных моделей в фильтре Калмана затруднительно ввиду того, что апостериорная плотность вектора состояния не является гауссовой, и, следовательно, получить легко алгоритмизируемые рекуррентные соотношения для вычисления оценок вектора состояния не представляется возможным.

Известны подходы [5], в рамках которых реализация фильтра Калмана сведена к решению стохастического дифференциального уравнения в частных производных, записанного в форме Ито или в форме Стратоновича. Недостатком реализации нелинейного фильтра Калмана является невысокая точность исходной нелинейной модели, так как модель является априорной (получена анализом физических законов). Поэтому в процессе сложного движения ЛА или функционирования ЛА в течение длительного времени без коррекции от внешних измерительных систем необходима идентификация параметров модели погрешностей ИНС. Для решения этой задачи, т. е. задачи совместного оценивания параметров и состояния объекта, можно использовать метод инвариантного погружения с расширенным вектором состояния и расширенный фильтр Калмана. Однако расширение вектора состояния включением в него неизвестных параметров приводит к тому, что уравнения модели становятся нелинейными даже в случае линейной по состоянию и параметрам исходной модели.

Для этого используется расширенный фильтр Калмана, при реализации которого оценки, как правило, имеют расходящийся характер, обусловленный отсутствием априорной информации о статистических характеристиках шумов и из-за погрешностей линеаризации.

При построении сложных моделей следует учитывать влияние инструментальных погрешностей элементов системы, характер движения несущего ЛА и режим функционирования ИНС (вибрацию, перекрестные связи и др.). Достоверная информация о статистических характеристиках на практике отсутствует, поэтому при оценивании погрешностей ИНС с использованием сложных моделей необходимо осуществлять идентификацию параметров и структуры модели в динамике.

Наиболее полно учесть все особенности характера изменения погрешностей ИНС и, что особенно важно, конкретной ИНС в условиях каждого конкретного полёта возможно построением нелинейной модели методом самоорганизации [7].

С помощью метода самоорганизации можно получить модели без каких-либо ограничений. Точность построения модели методом самоорганизации зависит от используемого набора функций и ансамбля критерии селекции и, так же,

как и в других алгоритмах, от достоверности измерений.

Один из подходов к решению задачи оценивания погрешностей ИНС заключается в синтезе нелинейного фильтра Калмана и алгоритма самоорганизации [6]. В нелинейном фильтре Калмана модель исследуемого процесса предлагается получать с помощью алгоритма самоорганизации. Структура и базисные функции моделей алгоритма выбираются в зависимости от вида матрицы модели исследуемого процесса. Набор базисных функций $F_p = \{b_i(x) | i = 1, N\}$, где $b_i(x)$ – нелинейные функции, может изменяться в зависимости от конкретных практических приложений. Каждой базисной функции ставится в соответствие двухмерный вектор параметров $(a, f)^T$, где a – амплитуда; f – частота, определяемого в процессе функционирования алгоритма. Искомая модель будет иметь вид

$$A(x) = \sum_{i=1}^N a_i b_{n_i}(f_i x). \quad (8)$$

Алгоритм самоорганизации основывается на гипотезе селекции моделей. Первый шаг алгоритма состоит в идентификации базисных функций по заданному критерию. На следующих уровнях строится комбинация моделей предыдущего уровня, прошедших пороговый самоотбор по ансамблю критериев [7].

Комбинирование нелинейного фильтра Калмана с алгоритмом самоорганизации позволяет построить математическую модель оцениваемого процесса на основе текущих измерений, формирующихся сигналами с датчиков углов прецессии гироскопов автономной ИНС.

Библиографические ссылки

1. Неусыпин К.А., Буй Ван Кьюнг Алгоритмический способ повышения точности навигационных систем // Автоматизация и современные технологии. 2005. № 7. С. 11–16.
2. Неусыпин К.А., Пролетарский А.В., Цибизова Т.Ю. Системы управления летательными аппаратами и алгоритмы обработки информации. М.: Изд. МГОУ, 2006. 220 с.
3. Неусыпин К.А. Современные системы и методы наведения, навигации и управления летательными аппаратами. М.: Изд. МГОУ. 2009. 500 с.
4. Кузовков Н.Т., Салычев О.С. Инерциальная навигация и оптимальная фильтрация. М.: Машиностроение, 1982. 215 с.
5. Шахтарин Б.И. Нелинейная оптимальная фильтрация в примерах и задачах. М.: Гелиос АРВ, 2008. 344 с.
6. Неусыпин К.А., Шелухина Н.А. Коррекция навигационной информации посредством нелинейного фильтра Калмана // Автоматизация и современные технологии. 2000. № 4. С. 21–25.
7. Ивахненко А.Г., Мюллер Й.Я. Самоорганизация прогнозирующих моделей. Киев: Техника, 1985. 320 с.



КРАТКИЙ СПРАВОЧНИК МЕТАЛЛИСТА

Под общ. ред. А.Е. Древалия, Е.А. Скороходова

960 с. ISBN: 5-217-03261-8

Цена 1650 р.

В справочнике использовано более 700 ГОСТов, действующих и утвержденных на 1 июля 2004 г.

Приведены сведения по расчету технологических размеров заготовок, основам взаимозаменяемости, методам и средствам контроля, материалам, металлорежущим станкам, токарной обработке, обработке отверстий осевым инструментом и другим видам обработки металлов резанием, электрофизическим и электрохимическим методам обработки,

слесарным работам и сборке. Также изложены сведения по технологичности деталей, обеспечению качества и размерной стабильности заготовок, выбору режимов резания, повышению износостойкости резцов и обработке на станках с ЧПУ.

Четвертое издание (3-е изд. 1986 г.) переработано в соответствии с новыми стандартами и технической документацией, дополнено сведениями по восстановлению режущих свойств инструментов, смазывающе-охлаждающим технологическим средствам и другими материалами.

Для инженерно-технических работников всех отраслей промышленности, полезен преподавателям и студентам вузов.

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 519.248:681.51

В.Н. Клячкин, д-р техн. наук, проф., В.А. Сафин
 (Ульяновский государственный технический университет)

v_kl@mail.ru

КОНТРОЛЬНАЯ КАРТА ХОТЕЛЛИНГА С УЧЁТОМ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЙ

Рассмотрено влияние систематических и случайных погрешностей измерений на эффективность контрольной карты Хотеллинга и особенности её построения при статистическом контроле многопараметрического технологического процесса с учётом этих погрешностей.

Ключевые слова: статистический контроль, многопараметрический технологический процесс, контрольная карта Хотеллинга, погрешности измерений.

Influence of the systematic and casual measurement errors on the Khotelling's control card efficiency and its construction features for statistical control of the polyvalent technological process with these errors accounting is considered.

Key words: statistical control, polyvalent technological process, Khotelling's control card, measurement errors.

Для оценки стабильности многопараметрического технологического процесса, в котором качество изготавливаемого изделия оценивается по множеству коррелированных показателей, используется контрольная карта Хотеллинга [1]. Процесс считается стабильным (статистически управляемым), если значения статистики Хотеллинга, найденные в процессе мониторинга контролируемых показателей, не превышают некоторое критическое значение.

При этом предполагается, что погрешности измерений отсутствуют. Между тем систематические и случайные погрешности измерений могут существенно влиять на эффективность принимаемых решений по управлению процессом. Для стандартных контрольных карт Шухарта, применяемых при контроле одного показателя [2], это влияние изучено Х. Миттагом [3]. При этом установлено, что погрешности могут значительно снизить чувствительность контрольной карты к возможным нарушениям процесса.

Ниже рассматривается влияние систематических и случайных погрешностей измерений контролируемых показателей на чувствительность карты Хотеллинга и особенности её построения с учётом этих погрешностей.

Основные зависимости для построения карты Хотеллинга. Предположим, что в технологическом процессе контролируются p показателей качества X_1, X_2, \dots, X_p . Применение контрольной карты Хотеллинга предполагает расчёт для каждой t -й мгновенной выборки ($t = 1, \dots, m$) статистики [4]:

$$T_t^2 = n(\bar{X}_t - \mu_0)^T S^{-1}(\bar{X}_t - \mu_0), \quad (1)$$

где n – объём мгновенной выборки; \bar{X}_t – вектор средних в мгновенных выборках; $\bar{X}_t = (x_{t1}, \dots, \bar{x}_{tp})^T$; \bar{x}_{tj} – среднее значение в t -й мгновенной выборке по j -му показателю ($j = 1, \dots, p$); μ_0 – вектор целевых средних ($\mu_0 = (\mu_{01}, \dots, \mu_{0p})^T$), заданных техническими условиями или оцениваемых по выборкам.

Оценки компонент ковариационной матрицы S размерности $p \times p$, определяющие рассеивание показателей качества и степень тесноты их связи, могут быть найдены по формуле

$$s_{jk} = \frac{1}{m(n-1)} \sum_{t=1}^m \sum_{i=1}^n (x_{ijt} - \bar{x}_{jt})(x_{ikt} - \bar{x}_{kt}), \\ j, k = 1, \dots, p. \quad (2)$$

При нормальном ходе процесса должно выполняться условие $T_t^2 < T_{kp}^2$, где T_{kp}^2 – граница критической области.

При оценивании компонент ковариационной матрицы с использованием текущих мгновенных выборок ($n > 1$) граница критической области определяется по формуле

$$T_{kp}^2 = \frac{p(m-1)(n-1)}{mn-m-p+1} F_{1-\alpha}(p, mn-m-p+1), \quad (3)$$

а для текущих индивидуальных наблюдений ($n = 1$)

$$T_{kp}^2 = \frac{p(m-1)}{m-p} F_{1-\alpha}(p, m-p), \quad (4)$$

где $F_{1-\alpha}(k_1, k_2)$ – квантиль F -распределения Фишера с числами степеней свободы в числителе k_1 , а в знаменателе k_2 ; α – уровень значимости.

Возможные нарушения многопараметрического технологического процесса (отклонение фактического среднего уровня процесса μ от целевого μ_0) характеризуются параметром нецентральности, который записывается в виде

$$\lambda^2 = n(\mu - \mu_0)^T S^{-1} (\mu - \mu_0). \quad (5)$$

Основная характеристика чувствительности карты к возможным нарушениям процесса (средняя длина серий карты Хотеллинга) определяется в зависимости от параметра нецентральности λ :

$$L(\lambda) = \frac{1}{1 - \int_0^{T_{kp}^2} f(t; \lambda) dt}, \quad (6)$$

где $f(t; \lambda)$ – плотность нецентрального распределения Хотеллинга [5].

Учёт погрешностей измерений. Предположим, что при контроле p показателей качества многопараметрического технологического процесса имеют место аддитивные постоянные систематические и случайные погрешности измерений, которые оцениваются по результатам испытаний. Систематические погрешности можно задать вектором C , элементы которого $C_j = c_j \sigma_j$ (волях от стандартного отклонения j -го параметра σ_j , c_j – относительная систематическая погрешность). Случайные погрешности, влияющие главным образом на дисперсии контролируемых параметров, зададим диагональной матрицей V , элементы которой представим в виде $\sigma_{yj}^2 = r_j^2 \sigma_j^2$ (r_j^2 – относительная дисперсия случайной погрешности).

Тогда зависимость (1) для расчёта статистики Хотеллинга записывается в виде (индекс e означает, что соответствующая характеристика определяется с учётом погрешности)

$$T_{et}^2 = n((\bar{X}_t + C) - \mu_0)^T (S + V)^{-1} \times \\ \times ((\bar{X}_t + C) - \mu_0), \quad (7)$$

а параметр нецентральности (5)

$$\lambda_e^2 = n(\Delta + C)^T (S + V)^{-1} (\Delta + C), \quad (8)$$

где вектор $\Delta = (\Delta_1, \dots, \Delta_p)^T$, $\Delta_j = \mu_j - \mu_{0j}$.

Влияние погрешностей измерений на чувствительность карты Хотеллинга. Численное исследование влияния различных факторов на чувствительность карты Хотеллинга проводилось от-

дельно при наличии систематической и случайной погрешностей в среде пакета Mathcad [6]. Исследовалось влияние величины погрешностей, количества контролируемых параметров, степени их коррелированности, объёма выборок. При этом использованы формула (8) для параметра нецентральности и зависимость (6) для расчёта средней длины серий с учётом соотношений (3) и (4).

В качестве примера на рис. 1 показано влияние систематической погрешности при контроле двух ($p = 2$) и трёх ($p = 3$) параметров и наличии систематической погрешности $c_1 = 0,25$ по первому из контролируемых параметров.

Из рис. 1 видно, что наличие погрешности снижает среднюю длину серий, т. е. повышает чувствительность карты. На самом деле это не так. Наличие систематической погрешности привело к изменению уровня значимости. Как правило, при проведении многомерного контроля уровень значимости, определяющий вероятность ложной тревоги, $\alpha = 0,005$. Это означает, что при отсутствии нарушений процесса ($\lambda = 0$) возможна одна ложная тревога на 200 выборок: $L(0) = 1/\alpha$. На рис. 1 видно, что $L(0) = 200$ только при отсутствии погрешностей (при $c_1 = 0$). При наличии систематической погрешности значение $L(0)$ существенно отличается от 200: при $p = 2$ и $c_1 = 0,25$ имеем $L(0) = 103$.

Необходимо откорректировать уровень значимости таким образом, чтобы при $\lambda = 0$ обеспечить не более одного нарушения на 200 выборок. Задача решается численно. В приведённом примере откорректированный уровень значимости $\alpha_0 = 0,0024$.

Влияние случайной погрешности на чувствительность карты Хотеллинга показано на рис. 2, где приведены зависимости средней длины серий от параметра нецентральности при контроле двух и трёх параметров и относительной дисперсии случайной погрешности по одному из них $r_1^2 = 1$. Видно, что чувствительность карты при наличии случайной погрешности снижается. При этом вероятность ложной тревоги не изменилась.

Построение карты Хотеллинга с учётом погрешностей измерений. Для расчёта карты Хотеллинга с учётом погрешностей измерений используются формулы (2) и (7). Положение контрольной границы определяется из зависимостей (3) или (4), в которых вместо α вводится α_0 – откорректированный уровень значимости.

Для диагностики многопараметрического технологического процесса по результатам статистического контроля применялось программное обеспечение [7]. В программу добавлены модули корректировки уровня значимости и построения

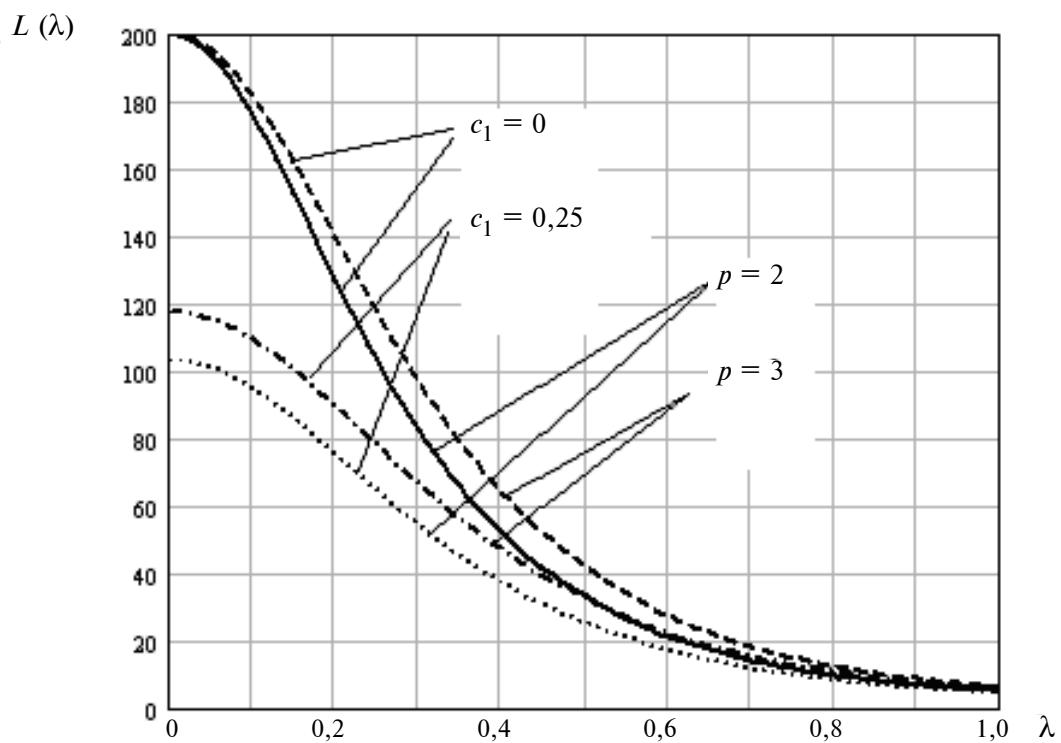


Рис. 1. Зависимость средней длины серий от параметра нецентральности при наличии и отсутствии ($c_1 = 0$) систематической погрешности

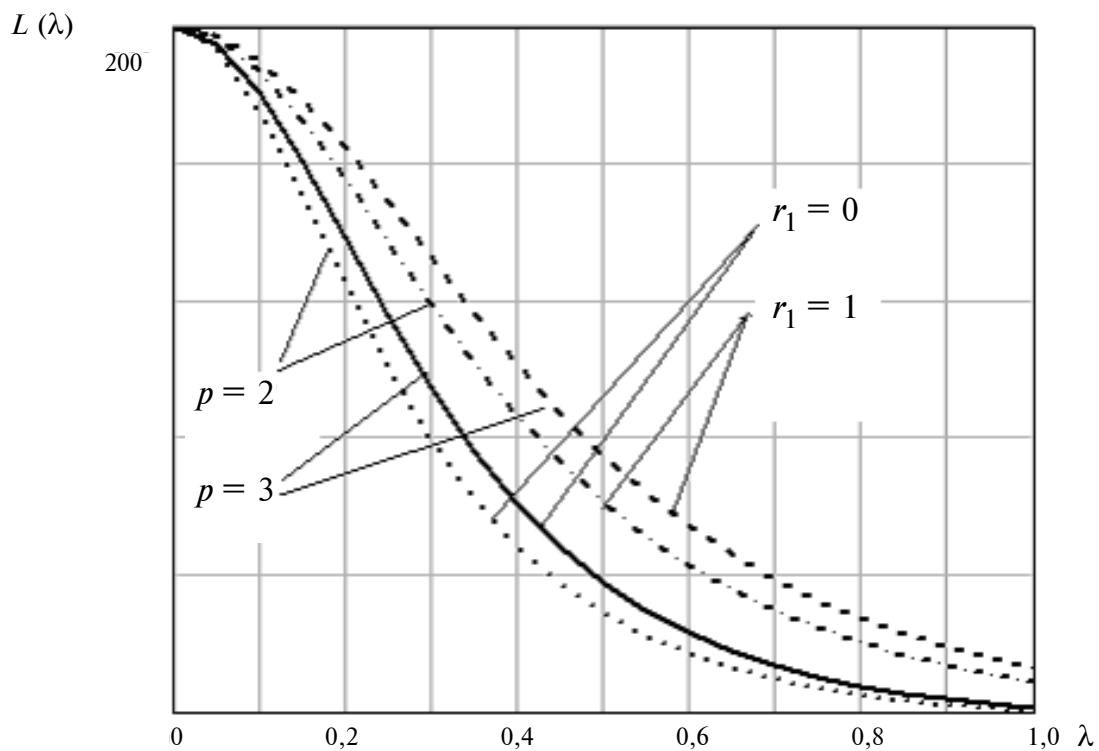


Рис. 2. Зависимость средней длины серий от параметра нецентральности при наличии и отсутствии ($r_1 = 0$) случайной погрешности

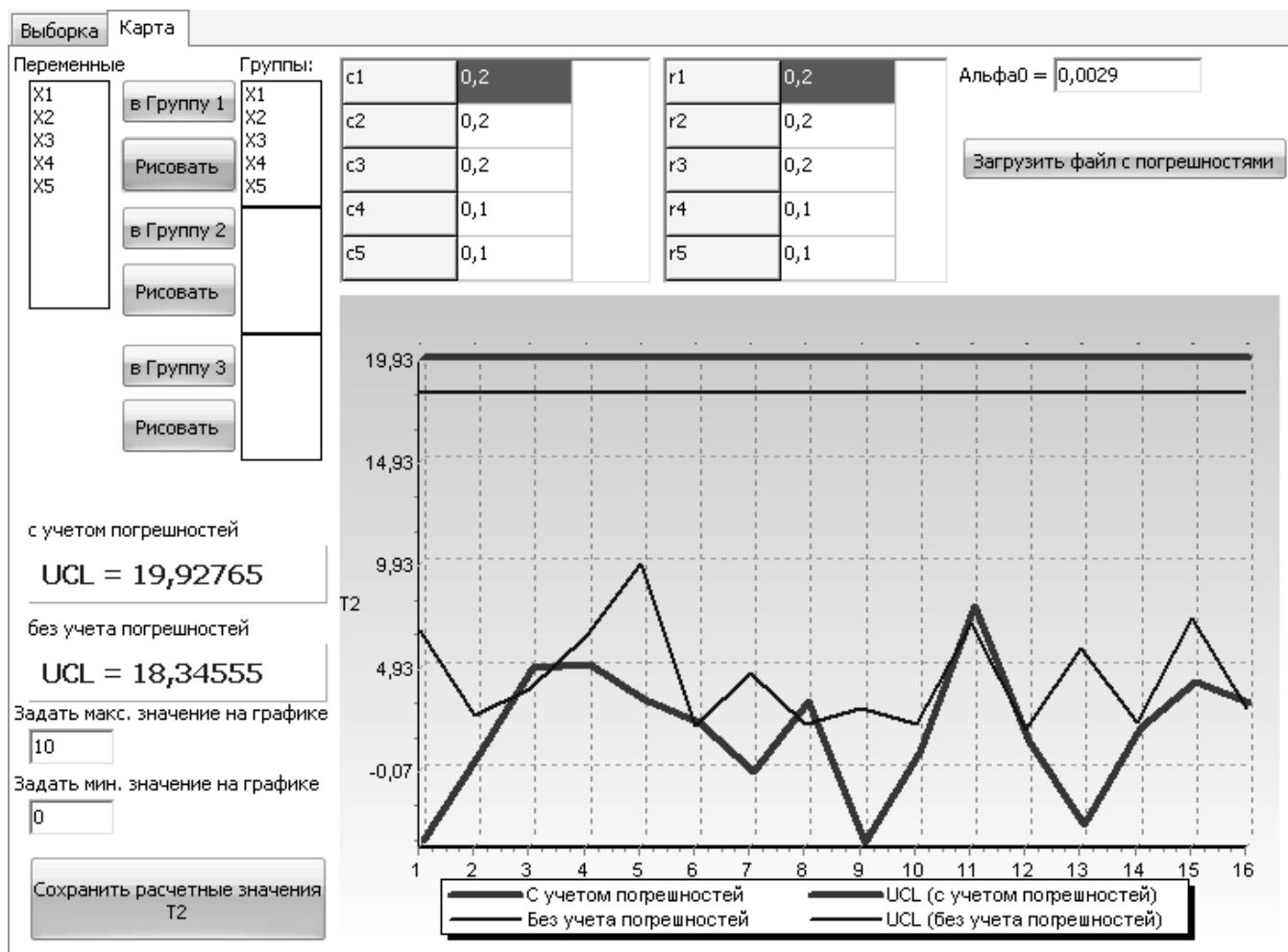


Рис. 3. Контрольная карта Хотеллинга с учётом (жирная линия) погрешностей измерений и без учёта (тонкая линия)

карт с учётом погрешностей. Для удобства анализа влияния погрешностей на карте Хотеллинга и опытные точки, и контрольная граница выводятся в двух вариантах – без учёта и с учётом погрешностей.

В качестве примера рассматривается процесс механической обработки вала на полуавтомате, в котором контролируются пять параметров: диаметры трёх ступеней вала, а также овальность на первой и третьей ступенях. Соответствующая карта Хотеллинга показана на рис. 3.

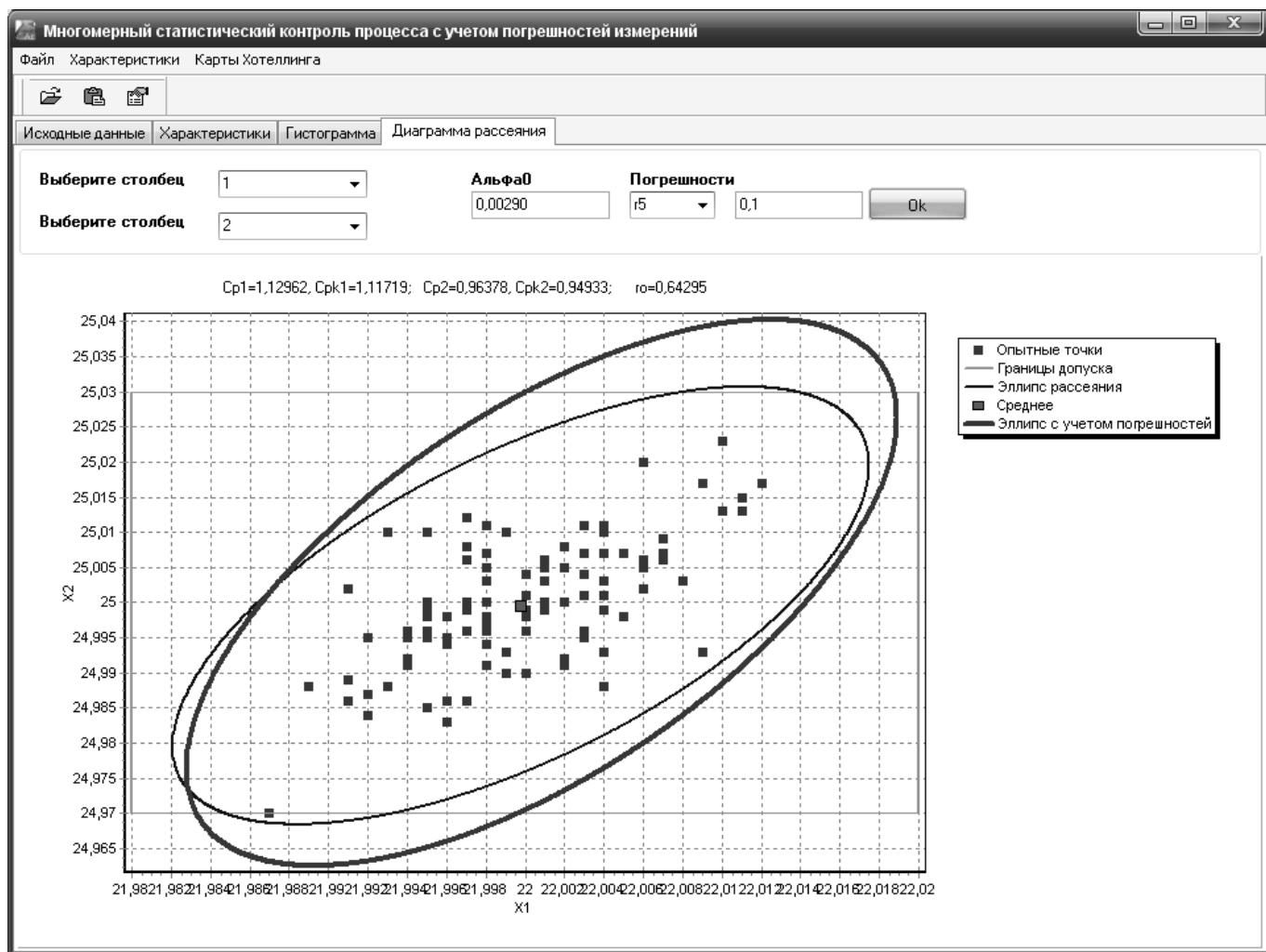
Процесс обработки вала статистически управляем: на карте нет точек, выходящих за контрольную границу. При этом видно влияние погрешностей измерений на вид карты Хотеллинга, а значит, и на принятие решения по управлению технологическим процессом изготовления вала.

Рассматриваемая программа позволяет оценить и воспроизводимость процесса с учётом погрешностей измерений. На рис. 4 показана проекция

эллипсоида рассеяния на любые два выбранных параметра (здесь выбраны столбы 1 и 2 файла исходных данных, соответствующие первым двум контролируемым параметрам) с учётом погрешностей (жирная линия) и без учёта, а также опытные точки и границы допусков.

Заключение. Проведённое исследование показало, что погрешности измерений существенно влияют на эффективность статистического контроля многопараметрического технологического процесса. Систематическая погрешность измерений снижает вероятность ложной тревоги. Случайная погрешность не влияет на вероятность ложной тревоги, но увеличивает среднюю длину серий, что свидетельствует о снижении чувствительности карты. Учёт погрешностей измерений позволяет повысить эффективность принимаемых решений по управлению технологическим процессом.

Работа выполнена при поддержке гранта РFFI 08-08-97004.

Рис. 4. Эллипс рассеяния по параметрам X_1 и X_2 **Библиографические ссылки**

1. Клячкин В.Н. Статистические методы управления качеством: компьютерные технологии. М.: Финансы и статистика, Инфра-М, 2009. 304 с.
2. Уилер Д., Чамберс Д. Статистическое управление процессами. Оптимизация бизнеса с использованием контрольных карт Шухарта / Пер. с англ. М.: Альпина Бизнес Букс, 2009. 409 с.
3. Миттаг Х., Ринне Х. Статистические методы обеспечения качества / Пер. с нем. / Под ред. Б.Н. Маркова. М.: Машиностроение, 1995. 616 с.
4. Клячкин В.Н. Многомерный статистический контроль технологического процесса с использованием карты Хотеллинга // Автоматизация и современные технологии. 2003. № 6. С. 19–23.
5. Вероятность и математическая статистика: Энциклопедия. М.: Большая Российская Энциклопедия, 1999. 910 с.
6. Клячкин В.Н., Сафин В.А. Многомерный статистический контроль технологического процесса с учётом погрешностей измерений // Системные проблемы надёжности, качества, информационно-телекоммуникационных и электронных технологий в управлении инновационными проектами. Материалы междунар. конф. и Российской научной школы. Ч. 2. М.: Энергоатомиздат, 2009. С. 3–4.
7. Клячкин В.Н. Диагностика многопараметрического технологического процесса по результатам статистического контроля // Автоматизация и современные технологии. 2009. № 2. С. 20–24.

УДК 623.76

К.А. Воробьёв (Военная академия войсковой противовоздушной обороны
Вооруженных Сил Российской Федерации им. Маршала Советского Союза
А.М. Василевского, г. Смоленск)

vorobkir@mail.ru

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЗЕНИТНЫХ УПРАВЛЯЕМЫХ РАКЕТ С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЧЁТКОГО СУПЕРВИЗОРНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Рассмотрен вопрос применения аппарата нечёткой логики, который позволяет решить задачу адаптации системы управления самонаводящихся зенитных управляемых ракет к изменяющимся условиям.

Ключевые слова: адаптивная система управления, нечёткий супервизорный регулятор.

Application question of the indistinct logic device, that allows to solve a problem of control system adaptation for the self-guided anti-aircraft controlled rockets by changing conditions is considered.

Key words: adaptive control system, indistinct supervision regulator.

На сегодняшний день приходится признать, что системы управления зенитных управляемых ракет (ЗУР) зенитных ракетных комплексов (ЗРК) не обладают свойствами адаптивности функционирования в условиях неопределённости неконтролируемых внешних траекторных и информационных воздействий (манёвры цели, огневое противодействие, применение помех и ловушек и т. п.), а также изменений параметров динамики собственного движения ракеты. Известно, что степень адаптации систем управления должна обеспечивать функционирование их как при идеальных условиях, так и различных случаях их нарушений.

Существует ряд проблем, которые значительно усложняют задачу синтеза систем управления, адаптивных к изменяющимся условиям:

во-первых, это нарушение условий согласования (неопределённость влияния неизвестных траекторных и помеховых воздействий, а также параметров ЗУР, невозможность компенсации непосредственно соответствующим управлением);

во-вторых, при относительно высоком порядке системы дифференциальных уравнений, описывающих динамику полёта ЗУР, возникновение существенных трудностей в связи с недоступностью прямых измерений всех координат вектора состояния.

Развитие теории и практики авиационной науки привело к созданию так называемых сверхманёвренных летательных аппаратов (СМЛА) [1]. Элементами сверхманёвренности обладают все истребители и многофункциональные самолёты пятого поколения F-22, F-35, T-50, Су-35 и Су-37, а также некоторые самолёты четвёртого поколения F-15, F-16, F-18A, МиГ-29, Су-27 и их модификации.

В тактическом плане сверхманёвренность позволяет существенно повысить собственную безопасность, в том числе и за счёт выполнения более эффективных манёвров уклонения от управляемых средств поражения.

В техническом плане сверхманёвренность летательных аппаратов предъявляет более жёсткие требования к точности, быстродействию и устойчивости их сопровождения бортовыми следящими системами ракет класса «земля–воздух» и «воздух–воздух» в связи с расширением состава оцениваемых координат вектора состояния. Целенаправленное выполнение манёвра, при котором появляется третья и более высокие производные дальности, скорости и угловых координат, приводит к срыву сопровождения. Манёвр цели будет эффективным, если он начнётся, например, за 2–4 с до точки встречи с максимальными ускорениями $W_{\text{цу}}$, тогда достигается такая величина промаха ЗУР (рис. 1), при которой вероятность подрыва боевой части практически равна нулю.

Важнейшими характеристиками качества системы самонаведения являются точность и устойчивость её работы, которые зависят от многих факторов, в том числе от динамических свойств системы управления, возмущающих воздействий, начальных условий в момент пуска ракеты, закона движения цели.

Траекторное управление самонаводящейся ЗУР ближнего действия (до 5 км) реализуется согласно закону управления, в котором информационными являются кинематические параметры относительного движения, величины которых существенно зависят от манёвра цели:

$$\bar{\lambda}_w = N \left| \dot{r}_{\perp} \right|_{\text{ср}} \bar{\omega}_{\perp}, \quad (1)$$

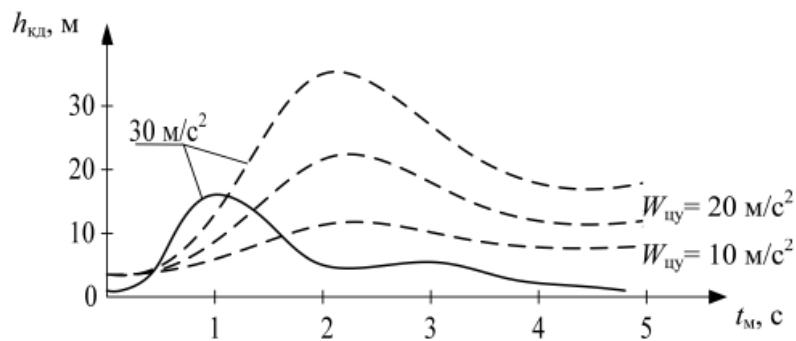


Рис. 1. Зависимость конечного динамического промаха $h_{\text{КД}}$ от времени начала манёвра цели t_M

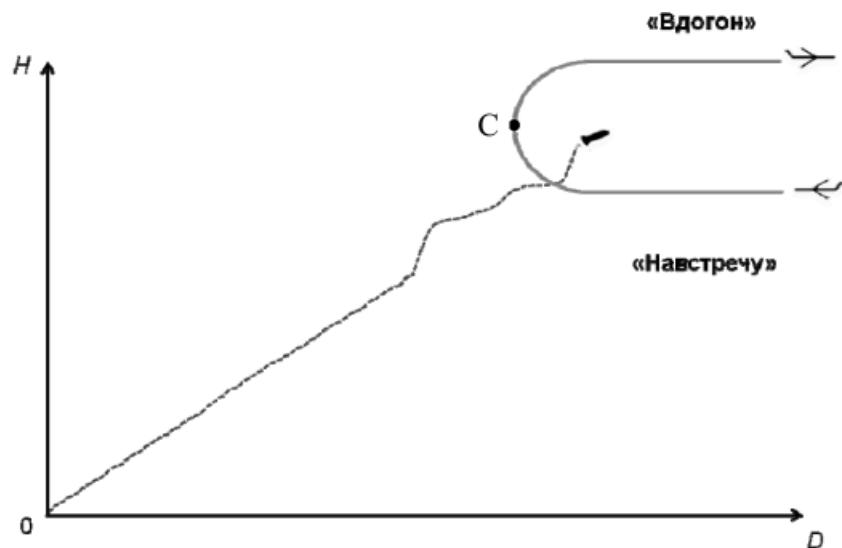


Рис. 2. Изменение условий наведения при совершении целью манёвра «разворот»

где $\bar{\lambda}_w$ – фазовая координата вектора команды траекторного управления; N – постоянная навигации; $|\dot{r}_l|_{\text{ср}}$ – приборное среднее значение относительной скорости сближения (конструктивный параметр); $\bar{\omega}_l$ – фазовая координата оценки вектора угловой скорости линии визирования (измеренная величина).

В выражении (1) значение $|\dot{r}_l|_{\text{ср}}$ при технической реализации принимается величиной постоянной и в ЗУР корректируется до старта в зависимости от принятого решения – стрельбы навстречу или вдогон. Это значит, что закон управления имеет вид

$$\bar{\lambda}_w = N |\dot{r}_l|_{\text{ср}} K_k \bar{\omega}_l,$$

где $K_k = \begin{cases} K_{k_1} & \text{при стрельбе навстречу;} \\ K_{k_2} & \text{при стрельбе вдогон,} \end{cases}$

$$K_{k_1} \neq K_{k_2}.$$

Выбор K_{k_1} и K_{k_2} осуществляется изменением коэффициента передачи устройства выработки команд (УВК) до старта ЗУР (в частности, выбором режима стрельбы «Вдогон» или «Навстречу»). К изменению условий стрельбы (рис. 2) система управления полётом не обладает свойствами адаптивности. Коэффициент передачи контура на различных участках может различаться в несколько раз, что приводит к ухудшению динамики самонаведения и, как следствие, к снижению качества наведения ЗУР и в конечном счёте к снижению эффективности стрельбы.

Исходя из этого возникает необходимость иметь на борту ЗУР такое устройство-регулятор, которое бы обеспечивало самонаведение ЗУР в условиях неопределённости, в частности при наведении на маневрирующую цель.

Анализ исследований в этой области показывает, что в следящие измерители целесообразно включать специальные устройства (алгоритмы)

обнаружения манёвра и коррекции (адаптации) параметров или структуры системы управления в соответствии с реальной обстановкой.

В оптимальных измерителях, выполненных на основе фильтров Калмана, в частности, в фильтрах сопровождения по углам и дальности, в качестве обнаружителей начала манёвра и устройств коррекции параметров фильтров можно использовать обнаружители расходимости, регуляторы или формирователи аддитивных управляющих поправок в корректорах невязки.

Например, в самонаводящихся ЗУР средней дальности (до 40 км) адаптивность системы управления к изменяющимся условиям наведения достигается путём измерения и оценки кинематических параметров, входящих в закон управления, специальными бортовыми измерителями. Однако для ЗУР ближнего действия их реализация в полной мере практически невозможна из-за существенных ограничений массогабаритных характеристик.

Исследования также подтвердили, что в много контурных измерителях манёвр может ухудшать точность оценивания в фильтрах отслеживаемого процесса (ФОП) либо вызвать расходимость процесса оценивания из-за нестационарности ФОП в связи с появлением производных оцениваемых параметров 3-го порядка и выше. Нестационарность связана с наличием в фильтрах переменных коэффициентов невязок, являющихся функциями кинематических параметров – относительной дальности r_l и скорости её изменения r'_l .

Есть ряд недостатков, которые ограничивают применение оптимальных регуляторов в условиях неопределённости.

1. Коэффициенты усиления невязок вычисляются для вполне определённой априорной статистики и в процессе изменения условий функционирования измерителя их значения будут отличаться от оптимальных.

2. Влияние размерности вектора состояния на устойчивость и расходимость фильтров Калмана

противоречиво. С одной стороны, увеличение размерности для повышения точности соответствия модели реальным условиям работы фильтра приводит к повышению устойчивости и снижению тенденции к расходимости оценок, с другой – такая модель становится более привязанной к конкретным условиям работы и неадаптивной к их изменениям. Последнее особенно неприемлемо для систем управления, которые работают в условиях неопределенности.

3. Возрастание размерности синтезируемого фильтра приводит к резкому повышению ошибок вычислений, усиливая тем самым тенденцию к расходимости.

4. Для реализации оптимального управления необходима информация о законе изменения относительной дальности $r_l(t)$, которую можно получить на борту ракеты либо при возможности измерения, либо вычисления. Для ракет с ограниченными массогабаритными характеристиками, такими как ЗУР ближнего действия (БД), реализовать измерение r_l на борту ЗУР невозможно.

Таким образом, необходимо выработать такие подходы к синтезу системы управления самонаводящихся ЗУР, которые учли бы перечисленные выше недостатки и обеспечили наведение ракеты в условиях неопределенности.

В настоящее время значительное распространение получили системы управления на основе методов нечеткой логики. Нечёткое управление (*Fuzzy Control, Fuzzy-управление*) является одной из перспективных интеллектуальных технологий, позволяющих создавать высококачественные системы управления.

Под нечеткими системами автоматического управления (САУ) понимаются системы управления, содержащие структурные блоки нечеткого логического вывода (БНВ) (рис. 3).

К достоинствам таких систем можно отнести: возможность использования для сложных процессов, когда нет простой математической модели;

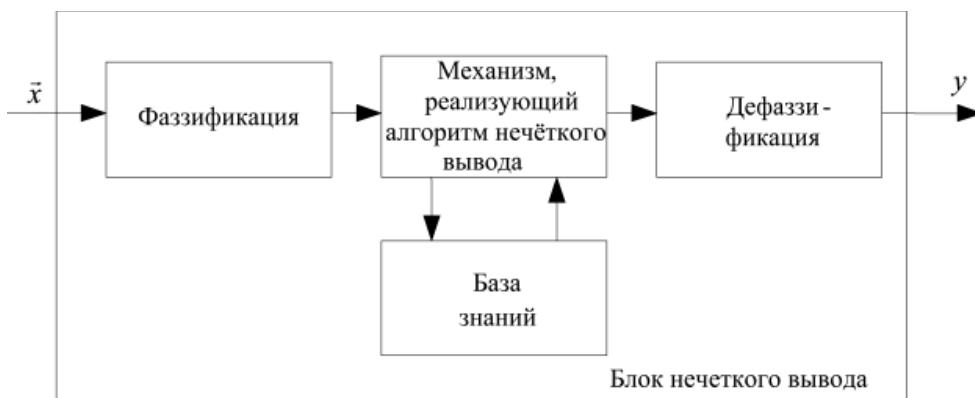


Рис. 3. Структура блока нечеткого вывода

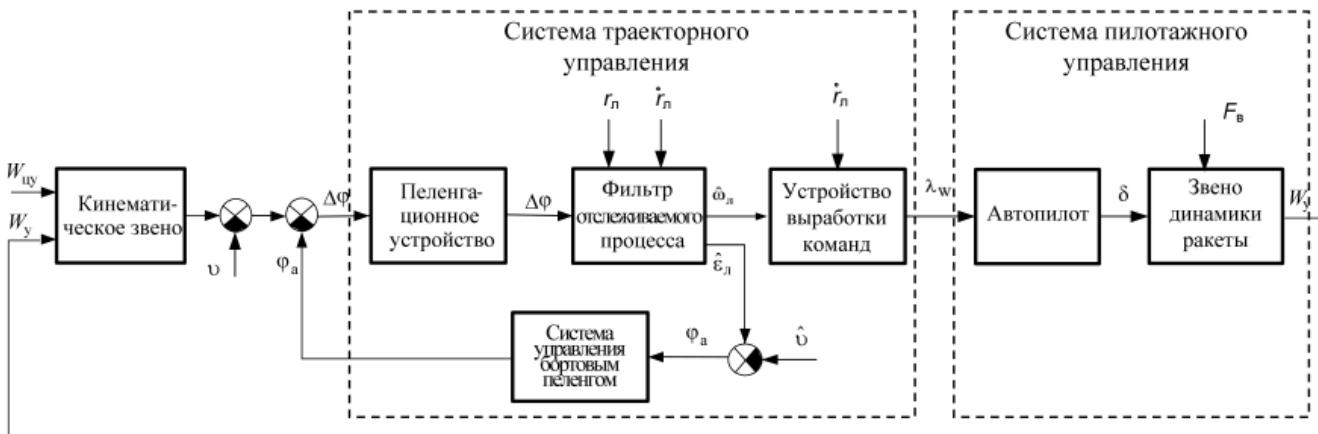


Рис. 4. Структурная схема контура самонаведения зенитной управляемой ракеты:

W_y , $W_{y\text{ц}}$ – параметры движения цели и ракеты (нормальные ускорения); ψ – угол крена ЗУР относительно продольной оси; Φ_a – угол пеленга антенного устройства; $\Delta\phi$ – значение относительного положения ЗУР и цели; $\hat{\omega}_l$ – координата оценки угловой скорости линии визирования; λ_{w1} – команда траекторного управления (1); δ – положение рулей ЗУР; r_p , \dot{r}_p – возмущения, обусловленные неопределёнными (ввиду недоступности измерения) относительной дальностью до цели и скоростью её изменения; F_b – возмущения, обусловленные собственным движением ЗУР в пространстве

формулирование экспертных знаний об объекте управления или процессе в словесной форме;
возможность аппроксимации передаточной функции;
простота структуры;
робастность или адаптивность.

Блоки нечёткого вывода представляют собой нелинейные звенья, операторы которых определяются базой знаний, состоящих из нечётких продукционных правил и используемых алгоритмом нечёткого логического вывода [2]. Основным признаком классификации нечётких систем управления является местонахождение блоков нечёткого логического вывода, при этом нечёткая система либо сама формирует управляющие сигналы, либо сигналы с нечёткой системы управляют параметрами традиционной системы управления (рис. 4).

Тогда такие нечётко-логические системы автоматического управления строятся по двухуровневой схеме [3, 4]. На нижнем уровне таких САУ используются традиционные ПИД-регуляторы (включающие в себя пропорциональные, интегрирующие, дифференцирующие звенья), а на верхнем – нечёткие системы, называемые супервизорами, корректирующими параметры регуляторов нижнего уровня в зависимости от процессов, протекающих в системе, придавая ей свойства адаптивности или робастности (рис. 5).

На рис. 5 FUZZY 1 и FUZZY 2 – нечёткие супервизорные регуляторы, обеспечивающие адаптацию системы траекторного управления к

условиям самонаведения ЗУР (манёвр цели); FUZZY 3 – регулятор, обеспечивающий робастность системы пилотажного управления, в частности как системы, грубой к изменению коэффициента передачи ракеты по нормальному ускорению W_y [3].

Теория систем управления с нечёткими моделями используется в научном исследовании по синтезу системы траекторного управления (СТУ) самонаводящейся ЗУР БД с нечётким супервизорным регулятором (НСР) (рис. 6), реализующий метод пропорционального сближения. Синтезируемый алгоритм функционирования позволит учсть нелинейный и нестационарный характер ЗУР как объекта управления и обеспечить высокие показатели качества управления без структурной и параметрической адаптации, а также простоту аппаратурной и программной реализации алгоритма управления.

Синтез регулятора для СТУ может быть проведен по следующей методике:

определение структуры системы траекторного управления с НСР самонаводящейся ЗУР;

проведение экспертной оценки для построения базы знаний БНВ (аппаратурных значений параметров регулятора);

формирование алгоритма БНВ НСР.

Целью экспертной оценки является определение диапазона значений коэффициента коррекции K_k , при которых обеспечиваются требуемые значения показателей динамики самонаведения в изменяющихся условиях сближения ракеты с целью. Для того чтобы сохранить требуемые пока-

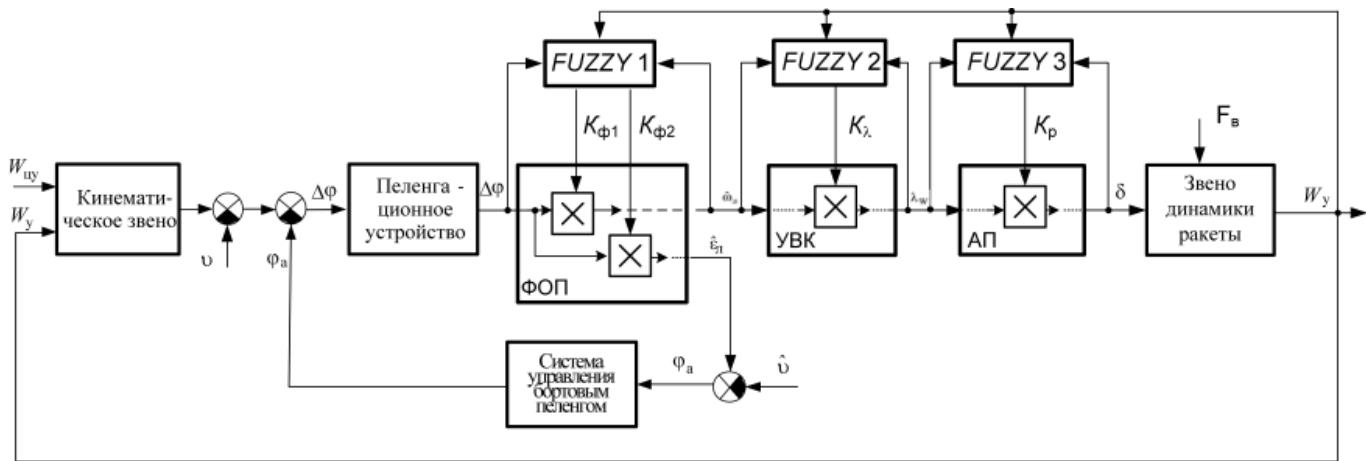


Рис. 5. Контур самонаведения зенитной управляемой ракеты ближнего действия с нечётким супервизорным регулированием:

$K_{\phi 1}$, $K_{\phi 2}$, K_λ , K_p – коэффициенты коррекции работы традиционных регуляторов

затели динамических свойств ракеты при наведении на маневрирующую цель, необходимо осуществлять коррекцию передаточных свойств контура наведения. В частности, за счёт автоматического изменения коэффициента передачи УВК СТУ по информации с выхода регулятора, осуществляющего контроль за характером движения цели по изменению какого-либо оцениваемого информационного параметра.

Таким образом, задачами экспертной оценки будут являться:

во-первых, определение вида информационного параметра, с помощью которого можно фиксировать момент изменения характера движения цели в процессе манёвра (точка С на рис. 2);

во-вторых, определение значений коэффициентов передачи, обеспечивающих требуемые показатели динамики самонаведения при изме-

нении характера движения цели в процессе манёвра;

в-третьих, определение функциональной зависимости изменения коэффициента коррекции УВК от изменения траекторного параметра, контролирующего характер движения маневрирующей цели.

На основе кинематического анализа установлено, что для контроля характера движения маневрирующей цели можно использовать угловую скорость линии визирования $\dot{\epsilon}_l$, по изменению которой возможно выделить участки, соответствующие наведению ракеты на встречном и догонном курсах, а также фиксировать момент изменения курса цели [5].

Также путём решения кинематических уравнений и проведения имитационного моделирования на персональных электронно-вычислительных машинах (ПЭВМ) можно определить диапазон изменения угловой скорости линии визирования $\dot{\epsilon}_l$ в зависимости от относительной скорости сближения, влияющей на коэффициент передачи контура в (1) [5].

Формирование алгоритма БНВ заключается в выработке правил, «связывающих» входную величину $\dot{\epsilon}_l$ и выходной коэффициент коррекции K_k , определённый в ходе экспертной оценки. Это достигается благодаря алгоритмам нечёткого вывода, например Сугэно, Мамдани и др. [2]. Выработанные при этом алгоритмы дадут возможность оперативно и непрерывно корректировать работу системы управления самонаводящихся ЗУР БД, что позволяет решить задачу адаптации к изменяющимся условиям с более простой структурой системы управления при использовании нечёткого супервизорного регулятора коэффициента передачи УВК.

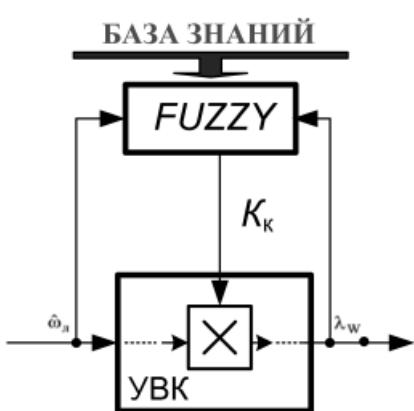


Рис. 6. Система траекторного управления с нечётким супервизорным регулятором

Таким образом, из сказанного выше следует, что системы самонаведения ЗУР функционируют в условиях неопределённости, обусловленных как выполнением целью манёвров уклонения, так и недоступностью прямого измерения всех координат вектора скорости цели и собственных параметров движения ЗУР. Это создаёт определённые трудности при синтезе адаптивных систем управления ЗУР, которые должны с высокой точностью наводить ракету на цель как в идеальных условиях, так и при резком их изменении. В самонаводящихся ЗУР БД имеют место ограничения, связанные с массогабаритными характеристиками самой ЗУР. Одним из путей решения проблемы для таких ракет является синтез системы управления ЗУР с использованием нечёткого супервизорного регулирования.

Библиографические ссылки

1. Канащенков А.И. Формирование облика авиационных систем управления вооружением. М.: Радиотехника, 2006. 138 с.
2. Усков А.А., Круглов В.В. Интеллектуальные системы управления на основе методов нечёткой логики. Смоленск, 2003. 177 с.
3. Круглов В.В., Усков А.А. Робастность систем управления с нечёткими регуляторами // Доклады междунар. конф. «Информационные средства и технологии». Т. 1. 2001. 121 с.
4. Усков А.А., Киселёв Е.В. Системы управления с нечёткими супервизорными ПИД-регуляторами // Приборы и системы. 2005. № 9. С. 68.
5. Хуторской И.Н., Финогенов С.Н. Системы наведения зенитных ракет с оптимальным управлением. Смоленск: ВА ВПВО ВС РФ, 2008. 327 с.

УДК 515.124:512.623.5

В.В. Шипилов, канд. техн. наук, доц. (ФГУ «13 ГНИИ Минобороны России», г. Люберцы)

fgushipilov@yandex.ru

ФОРМИРОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВА ХАРАКТЕРИСТИК ОПТИМАЛЬНО РАСПОЛОЖЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Сформулировано определение пространства характеристик оптимально расположенных элементов и предложен подход к его формированию. Рассмотрены этапы отображения исходного пространства технико-экономических характеристик объектов контроля радиоэлектронного оборудования на соответствующее ему пространство характеристик оптимально расположенных элементов. Приведён пример построения пространства характеристик оптимально расположенных элементов для классификации средств контроля радиоэлектронного оборудования.

Ключевые слова: пространство оптимально расположенных элементов, преобразование пространства, преобразование многомерных данных, классификация средств контроля радиоэлектронного оборудования.

Space characteristic definition for optimally oriented components is stated and approach to its forming is proposed. Reflection phases for initial space of the technical and economic characteristic for radio-electronic equipment control object on the corresponding space characteristic for optimally oriented components are considered. Example of the space characteristic forming for optimally oriented components that allows to solve a problem of radio-electronic equipment control means classification is considered.

Key words: space for optimally oriented components, space transformation, many-dimensional data transformation, radio-electronic equipment control means classification.

Введение. При анализе, исследовании и классификации объектов контроля (ОК) радиоэлектронного оборудования (РЭО) и их средств контроля (СК) возникает задача, связанная с преобразованием различных единиц измерения технико-экономических характеристик (ТЭХ) ОК/СК РЭО к одной условной единице измерения. Технико-экономическими характеристиками ОК/СК

РЭО могут являться, например, сила тока, мощность излучения в частотном диапазоне, масса оборудования, его стоимость и т. п.

Предлагаемое ниже преобразование различных единиц измерения к одной условной единице измерения основывается на использовании подхода к формированию пространства характеристик оптимально расположенных элементов, в кото-

ром сохраняется существующее отношение порядка между численными значениями проекций ТЭХ ОК/СК РЭО исходного пространства после его преобразования.

Формирование пространства характеристик оптимально расположенных элементов происходит следующим образом. По всем проекциям ТЭХ ОК/СК РЭО, имеющих различные единицы измерения, в исходном пространстве осуществляется поиск классов эквивалентных по модулю численных значений проекций ТЭХ ОК/СК РЭО. Затем выполняется операция замены равных по модулю численных значений проекций ТЭХ ОК/СК РЭО, принадлежащих одному классу на порядковый номер самого класса.

Далее восстанавливается знак – плюс или минус – для каждого преобразованного численного значения проекции ТЭХ ОК/СК РЭО в соответствии с отрицательными и положительными значениями проекций ТЭХ ОК/СК РЭО в исходном пространстве до момента его преобразования.

Сформулируем определение пространства характеристик оптимально расположенных элементов.

Пространство характеристик оптимально расположенных элементов. *Определение.* Пространством характеристик оптимально расположенных элементов $N_{A,D}^M$ будем называть преобразованное пространство ТЭХ ОК/СК РЭО R^M , где для всех ОК/СК РЭО $S_i \in R^M$, $i = 1, 2, \dots, I$ – количество ОК/СК РЭО, в результате преобразования сохраняется существующее отношение порядка $\{s_1^m \alpha_{1,2}^m, \dots, s_i^m \alpha_{i-1,i}^m, \dots, \alpha_{I-1,I}^m s_I^m\}$, $\alpha_{i-1,i}^m ("<" \vee " \leq ")$, $\alpha_{i-1,i}^m \in A^m$, $A^m \in A$ – отношение порядка между значениями проекций ТЭХ ОК/СК РЭО $s_i^m \in S_i$, расстояние для пары $(s_{i-1}^m, s_i^m) \in S^m$ по каждой оси $\{m\} \in R^m$ определяется выражением $d_{i-1,i}^m = |s_{i-1}^m - s_i^m|$, $d_{i-1,i}^m \in D^m$, $D^m \in D$ при условии, что $d_{i-1,i}^m \rightarrow \gamma^m$, $\gamma^m \rightarrow \min$, $\gamma^m = 0, 1, \dots, N$ – монотонно возрастающая последовательность целых чисел, включая нейтральный элемент ноль, $1 \leq m \leq M$ – размерность пространства R^M .

Приведём математическое описание подхода по формированию пространства характеристик оптимально расположенных элементов $N_{A,D}^M$ для некоторого исходного пространства ТЭХ ОК/СК РЭО R^M .

Математическое описание формирования пространства характеристик оптимально расположенных элементов. Пусть заданы ОК/СК РЭО – S_i в виде точек многомерного пространства R^M и для каждой оси $\{m\} \in R^m$ сформированы последовательности значений проекций ТЭХ ОК/СК РЭО $\{s_1^m, \dots, s_i^m, \dots, s_I^m\} \in S^m$, где $s_i^m \in S_i$, $i = 1, 2, \dots, I$, I – число точек R^M , $m = 1, 2, \dots, M$, M – размерность R^M .

Выделим равные по значению элементы $s_i^m \in S^m$ без учёта заданных единиц измерений и объединим их в одну группу. Учитывая, что значения элементов $s_i^m \in S^m$ могут быть как положительными, так и отрицательными, используем равенство значений элементов этих множеств по модулю их числа.

Функция, позволяющая разделить последовательность множеств $\{S^1, \dots, S^m, \dots, S^M\} \in R^M$ на группы $\Gamma(S^m)$ по признаку равных по модулю элементов $|s_i^m| \in S^m$, определяется выражением

$$\Gamma(S^m) = \begin{cases} \Lambda_{k \in M} S^k \mid \left\{ \bigcup_{k=1}^M S^k \setminus \bigcap_{k \in M} S^k \right\}, \\ \left(\bigcup_{m=1}^M S^m \neq \emptyset \right) \wedge \left(\forall_{k=1}^M \left\{ S_k^m \mid \bigcap_{k=1}^M S_k^m \neq \emptyset \right\} \right), \\ S^m \mid \left\{ \bigcup_{k=1}^M S^k \setminus S^m \right\}, \\ \left(\bigcup_{m=1}^M S^m \neq \emptyset \right) \wedge \left(\forall_{k=1}^M \left\{ S_k^m \mid \bigcap_{k=1}^M S_k^m = \emptyset \right\} \right), \end{cases} \quad (1)$$

где \cup и \cap – знаки объединения и пересечения множеств; \setminus – знак разности двух множеств; $|$ – символ, обозначающий обязательное выполнение условия (при условии); $\Lambda_{k \in M}$ – операция Хаусдорфа, определяющая сумму последовательностей множеств по $k \in M$; $\forall_{k=1}^M$ – квантор общности, применяемый на интервале $1 \leq k \leq M$; S^m и S^k – множества, содержащие элементы, соответствующие значениям проекций m и k ТЭХ ОК/СК РЭО; S_k^m и S_k^k – множества, значения элементов которых рассматриваются только по модулю числа.

Результатом применения выражения (1) является последовательность $\{\Gamma(S^1), \dots, \Gamma(S^m), \dots, \Gamma(S^M)\} \in \Gamma$, состоящая из групп $\Gamma(S^m)$ множеств S^m . Если выделить такое свойство, как толерантность между собой групп $\Gamma(S^m)$ по модулю значений принадлежащих им элементов $|s_i^m| \in \Gamma(S^m)$, то можно сделать следующие выводы.

Во-первых, если группы $\Gamma(S^m)$ не толерантны между собой, то множества S^m не имеют одинаковых по модулю элементов, т. е. каждой группе $\Gamma(S^m)$ будет соответствовать одно множество оптимально расположенных элементов.

Во-вторых, если некоторая часть групп $\Gamma(S^m)$ толерантна между собой, а другая часть – нет, то для тех групп $\Gamma(S^m)$, которые имеют одинаковые по модулю элементы, а также для случая, когда значения элементов одной группы могут попадать между двумя значениями элементов другой

группы, необходимо объединить такие группы $\Gamma(S^m)$ в одну общую группу или группы $\tilde{\Gamma}(S^m)$ и затем уже для полученной последовательности $\tilde{\Gamma}(S^m)$ и $\Gamma(S^m)$ осуществлять их преобразование во множества оптимально расположенных элементов.

В-третьих, если все группы $\Gamma(S^m)$ толерантны между собой, то все множества $S^m \in \Gamma(S^m)$, где $\Gamma(S^m) \in \Gamma$ рассматриваются и преобразовываются как единую последовательность чисел в одно множество оптимально расположенных элементов.

Далее введём замену обозначения $\Gamma(S^m) = \Gamma^m$. С учётом изложенного функция объединения толерантных между собой групп Γ^m будет иметь вид

$$\tilde{\Gamma}(\Gamma^m) = \begin{cases} \Lambda_{k \in M} \Gamma^k \mid \left\{ \bigcup_{k=1}^M \Gamma^k \setminus \Lambda_{k \in M} \Gamma^k \right\}, \\ \left(\bigcup_{m=1}^M \Gamma^m \neq \emptyset \right) \wedge \left(\forall_{k=1}^M \left\{ \Gamma^m \cap \bigcap_{k=1}^M \Gamma^k \right\} \neq \emptyset \right), \\ \Lambda_{k \in M} \Gamma^k \mid \left\{ \bigcup_{k=1}^M \Gamma^k \setminus \Lambda_{k \in M} \Gamma^k \right\}, \\ \left(\bigcup_{m=1}^M \Gamma^m \neq \emptyset \right) \wedge \\ \wedge \left(\inf_{k \in M} \Gamma^k \leq \forall_{k=1}^M \{s_i^m \in \Gamma^m\} \leq \sup_{k \in M} \Gamma^k \right), \\ \Gamma^m \mid \left\{ \bigcup_{k=1}^M \Gamma^k \setminus \Gamma^m \right\}, \\ \left(\bigcup_{m=1}^M \Gamma^m \neq \emptyset \right) \wedge \left(\forall_{k=1}^M \left\{ \Gamma^m \cap \bigcap_{k=1}^M \Gamma^k \right\} = \emptyset \right), \end{cases} \quad (2)$$

где $\inf \Gamma^k$ – нижняя граница для группы Γ^k ; $\sup \Gamma^k$ – верхняя граница для группы Γ^k ; Γ^m и Γ^k – группы, состоящие из множеств элементов S^m и S^k ; $\Gamma^m \setminus \Gamma^k$ – группы Γ^m и Γ^k , значения элементов которых рассматриваются по модулю числа.

Выражение (2) позволит преобразовать исходную последовательность $\Gamma^m \in \Gamma$ в последовательность $\tilde{\Gamma}(\Gamma^m) \in \tilde{\Gamma}$, состоящую из двух типов групп: толерантных между собой $\Gamma^m \in \tilde{\Gamma}(\Gamma^m)$, состоящих только из одного множества $S^m \in \tilde{\Gamma}(\Gamma^m)$.

Введём замену обозначения $\tilde{\Gamma}(\Gamma^m) = \tilde{\Gamma}^m$ и дополнительный вспомогательный класс $f(Cl_0^m) = \emptyset$ для случая, если $|s_i^m| = 0$. Разобьём каждую группу $\tilde{\Gamma}(\Gamma^m) \in \tilde{\Gamma}$ на классы эквивалентных по модулю элементов, используя рекуррентное выражение

$$f(Cl_i^m) = \begin{cases} Cl_{i-1}^m, \min_{i=1}^I \left| s_i^m \right| \in \tilde{\Gamma}^m \subset Cl_{i-1}^m, \\ (\tilde{\Gamma}^m \neq \emptyset) \wedge (|s_i^m| = 0) \wedge (i = 1), \\ Cl_i^m, \min_{i=1}^I \left| s_i^m \right| \in \tilde{\Gamma}^m \subset Cl_i^m, \\ (\tilde{\Gamma}^m \neq \emptyset) \wedge (|s_i^m| \neq 0) \wedge (i = 1), \\ Cl_i^m, \min_{i=1}^I \left| s_i^m \right| \in \{\tilde{\Gamma}^m \setminus \bigcup_{k=1}^i \{f(Cl_k^m)\}\} \subset Cl_i^m, \\ (\tilde{\Gamma}^m \neq \emptyset) \wedge (|s_i^m| \neq 0) \wedge (i > 1), \end{cases} \quad (3)$$

где \setminus – знак исключения класса $f(Cl_i^m)$ из группы $\tilde{\Gamma}^m$; \subset – знак включения элементов $|s_i^m| \in \tilde{\Gamma}^m$ в новый класс $f(Cl_i^m)$; $i = 1, 2, \dots I$ – количество ОК/СК РЭО; $m = 1, 2, \dots M$ – количество групп $\tilde{\Gamma}^m$.

Проведём коррекцию суммы последовательностей классов $\sum_{i=1}^I \{f(Cl_i^m) \setminus f(Cl_0^m)\} \in \tilde{\Gamma}^m$ для случая, если $f(Cl_0^m) = \emptyset$ по всем $m = 1, 2, \dots M$. Затем заменим каждый элемент $|s_i^m| \in f(Cl_i^m)$ на порядковый номер класса $i \in f(Cl_i^m)$ с сохранением порядка следования по верхнему и нижнему индексам $|s_i^m| = i_i^m$. Восстановим порядок следования преобразованных элементов $i_i^m \in f(Cl_i^m)$ для каждой группы $\tilde{\Gamma}^m \in \tilde{\Gamma}$, используя значения знаков sg_i^m элементов $s_i^m \in S^m$ до их преобразования, согласно формуле

$$\tilde{s}_i^m = sg_i^m i_i^m, \quad (4)$$

где sg_i^m определяется выражением

$$sg_i^m = \begin{cases} 1, & s_i^m > 0, \\ 0, & s_i^m = 0, \\ -1, & s_i^m < 0. \end{cases} \quad (5)$$

На основе полученных элементов \tilde{s}_i^m сформируем множества \tilde{S}^m оптимально расположенных элементов, которые фактически являются преобразованными множествами значений проекций характеристик ОК/СК РЭО в пространстве оптимально расположенных элементов $N_{A,D}^M$. Рассмотрим практическое применение предложенного подхода.

Пример формирования пространства оптимально расположенных элементов. Пусть задано множество СК РЭО S_{CK} , каждое S_{CKi} – СК РЭО описывается двумя ТЭХ: $S_{CKi}^m \in S_{CKi}$ – массой, измеряемой в килограммах, и $S_{CKi}^c \in S_{CKi}$ – его стоимостью, определённой в рублях, $S_{CKi} \in S_{CK}$,

$i = 1, 2, \dots, I, I = 14$. Необходимо сформировать группы похожих между собой по ТЭХ СК РЭО. Варианты СК РЭО и значения их ТЭХ представлены в таблице.

Графическое расположение СК РЭО относительно друг друга в пространстве ТЭХ представлено на рис. 1.

Преобразуем исходное пространство ТЭХ СК РЭО в пространство характеристик оптимально расположенных элементов, используя выражения (1) – (5) (рис. 2).

Отметим, что отношение порядка исходного пространства ТЭХ СК РЭО для точек S_{CKi} равно отношению порядка в сформированном пространстве характеристик оптимально расположенных элементов для точек \tilde{S}_{CKi} (см. рис. 1 и 2).

Объединим СК РЭО в группы на основе признака, определяющего их сходство, следующим образом. Для каждой точки пространства характеристик оптимально расположенных элементов проведём окружность с единичным радиусом. В качестве меры сходства характеристик СК РЭО использу-

Исходные данные и технико-экономические характеристики вариантов СК РЭО

Вариант S_{CKi}	Масса S_{CKi}^m , кг	Стоимость S_{CKi}^c , руб.
S_{CK1}	200	200 000
S_{CK2}	190	270 000
S_{CK3}	100	200 000
S_{CK4}	300	300 000
S_{CK5}	120	150 000
S_{CK6}	280	150 000
S_{CK7}	150	220 000
S_{CK8}	200	150 000
S_{CK9}	220	220 000
S_{CK10}	150	250 000
S_{CK11}	320	170 000
S_{CK12}	170	180 000
S_{CK13}	160	260 000
S_{CK14}	140	260 000

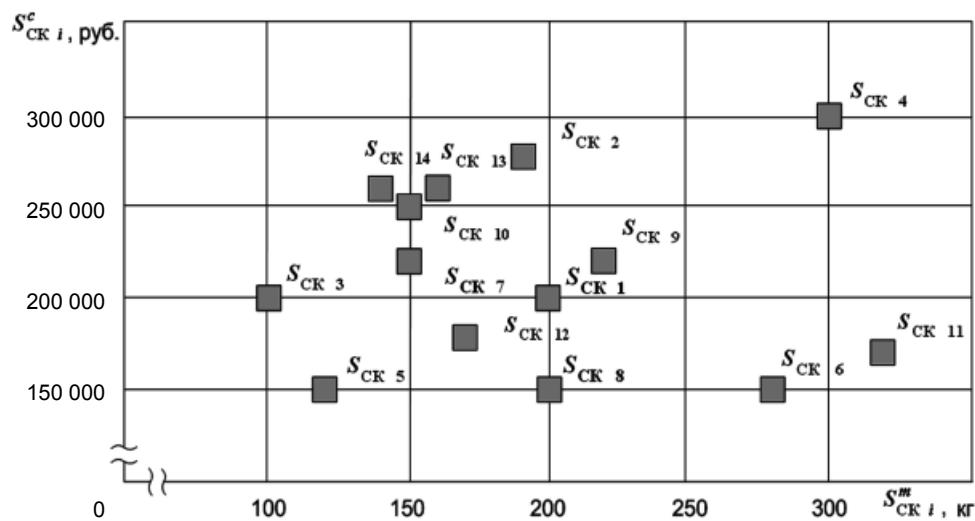


Рис. 1. Расположение средств контроля радиоэлектронного оборудования относительно друг друга в пространстве их технико-экономических характеристик

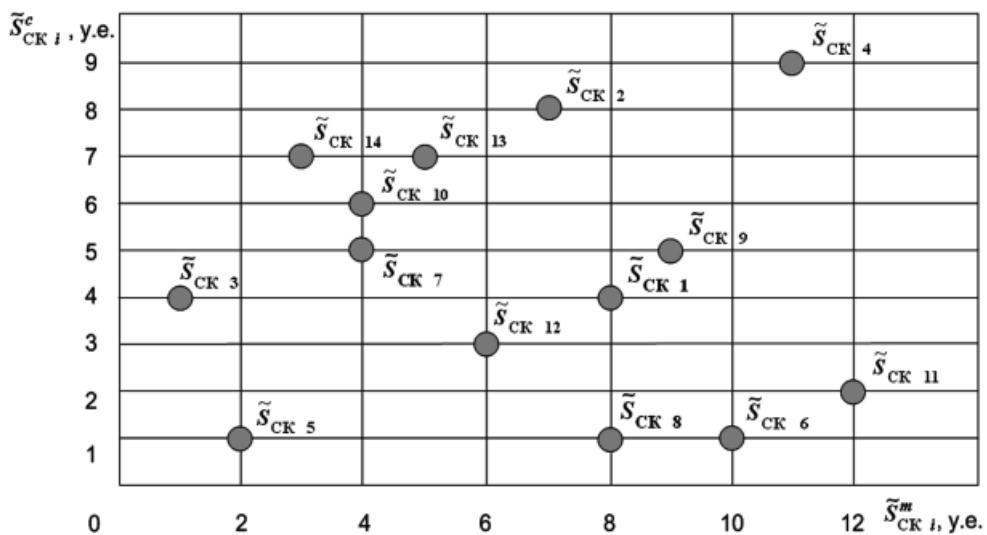


Рис. 2. Расположение средств контроля радиоэлектронного оборудования относительно друг друга в пространстве характеристик оптимально расположенных элементов

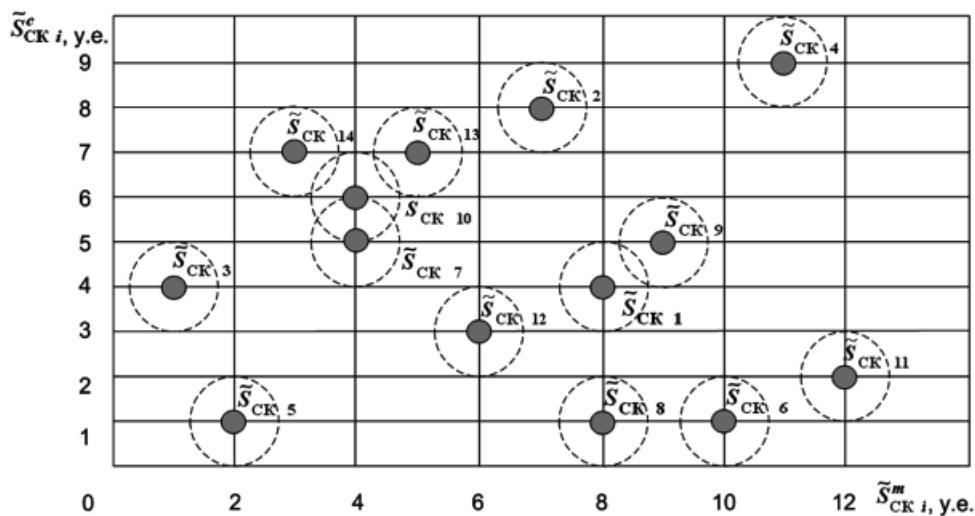


Рис. 3. Формирование групп максимально похожих средств контроля радиоэлектронного оборудования в пространстве характеристик оптимально расположенных элементов

зум признак перекрытия окружностей между собой. Если перекрытие существует, то точки пространства объединяются в одну группу, в противном случае – нет.

Результат формирования групп похожих между собой СК РЭО представлен на рис. 3.

Всего будут образованы две такие группы – $\{\tilde{S}_{CK7}, \tilde{S}_{CK10}, \tilde{S}_{CK13}, \tilde{S}_{CK14}\} \in \tilde{\Gamma}_1$ и $\{\tilde{S}_{CK1}, \tilde{S}_{CK9}\} \in \tilde{\Gamma}_2$.

Заключение. Предложен подход к формированию пространства характеристик оптимально расположенных элементов, позволяющий без использования функции стресса обеспечить сведение различных единиц измерения ТЭХ ОК/СК РЭО к одной условной единице измерения, т. е. вещественные значения проекций ТЭХ ОК/СК

РЭО исходного пространства преобразуются к целочисленным значениям проекций характеристик пространства оптимально расположенных элементов. Оптимальность расположения элементов в преобразованном пространстве обеспечивается за счёт сохранения существующего отношения порядка между элементами на исходном пространстве после его преобразования и представления расстояний между соседними элементами в целочисленном виде с минимально возможным шагом.

Исследования по формированию пространства характеристик оптимально расположенных элементов выполнены при поддержке гранта Президента Российской Федерации № МК–3735.2004.10.



УДК 658.512

П.М. Бетсис (ООО «Cisco системс», г. Москва)

apalladi@cisco.com

СЕТЕВАЯ ЭКОНОМИКА СТАНОВИТСЯ НОРМОЙ

Показано как использование передовых технологий влияет на процессы экономических преобразований.

Ключевые слова: сетевая экономика, сетевые подключения, социальные сети, технологическая инфраструктура.

There is shown how using of high technology influences the processes of economic transformation.

Key words: network economics, network connections, social networking, technology infrastructure.

Введение. Экономический спад конца текущего десятилетия, который на Западе часто называют «Великой рецессией», оказал чрезвычайно глубокое влияние на мировой бизнес. Кризис начался в 2007 г. с серьезного сбоя в американской финансовой системе, который, по мнению большинства экономистов, мог стать детонатором самого глубокого экономического кризиса со времен Великой депрессии 1920-х гг. Мировая экономика быстро почувствовала последствия этого сбоя. В 2008 и 2009-м гг. компании понесли большие потери. Удары посыпались на бизнес быстро и часто, приводя к резким сокращениям доходов, прибылей и рабочих мест.

Однако, качнувшись в одну сторону, маятник всегда движется обратно, и мировая экономика ведёт себя так же. Специалисты напророчили ей медленный, но стабильный подъём, во время которого выжившие компании возместят потери и адаптируются к новому рыночному ландшафту. И действительно, некоторые компании в разных странах уже видят свет в конце туннеля и радуются поступающим время от времени хорошим новостям. Вместе с тем многие задаются вопросом: «Что же дальше?»

Появившиеся во время кризиса новые бизнес-модели, скорее всего, никуда не исчезнут. К примеру, работа в «режиме выживания», когда компании стремятся получить больше при меньших затратах (именно этот подход стал на рынке повсеместным в кризисное время), по всей видимости, останется основным принципом деятельности и в обозримом будущем. Кроме того, выходя на рынок, многие компании по-прежнему будут искать новые источники дохода и внедрять новые услуги.

Пока одни компании ощутили некоторый рост прибыли, другие до сих пор ждут, когда же, наконец, их подхватит новая волна экономического подъёма. Но есть и такие компании, которые рассматривают нынешнюю ситуацию как удобный случай для поиска и внедрения новых, более эффективных методов ведения бизнеса. Перед такими компаниями могут открыться грандиозные возможности, которые не только компенсируют потери, понесенные во время кризиса, но и помогут сформировать «новый мировой порядок» в экономической области.

В современной глобальной экономической среде устойчивые конкурентные преимущества получат те, кто быстро внедрит методы совместной работы и инструментальные средства, позволяющие сотрудникам, заказчикам и партнерам связываться друг с другом и взаимодействовать в любом месте в любое время с помощью любого устройства, а также пользоваться услугами, которые экономят время и деньги, а также приносят более весомые результаты.

Переход к глобальной экономике. Мощная функциональность технологий Web 2.0 и социальных сетей даёт конечным пользователям возможность делиться личным опытом использования товаров и услуг и во многих случаях позволяет в реальном времени окупать инвестиции, вложенные в эти товары и услуги. Среда широких взаимных сетевых подключений, позволяющая свободно обмениваться знаниями и идеями, уже помогает вести бизнес многим компаниям, готовым слушать своих заказчиков и взаимодействовать с ними и желающим разрабатывать новаторские, более ценные и качественные продукты с учётом интересов клиентов.

Экономика, построенная на «умном» технологическом фундаменте, позволит организациям и частным гражданам продуктивно работать и сотрудничать друг с другом независимо от их местоположения. К примеру, когда компании стали сокращать количество командировок, многие операторы ухватились за эту возможность и стали вкладывать средства в новые корпоративные технологии, особенно, в технологии совместной работы. Кроме того, в деловой среде растёт понимание важности государственно-частного партнерства для дальнейшего экономического роста и процветания. Хотя частный бизнес будет играть заметную роль в преодолении экономического кризиса, совместная работа государственного и частного сектора сегодня важна, как никогда.

Именно государственное стимулирование помогло выйти из кризиса многим странам. Где-то оно приняло форму срочной ссуды, как в Объединенных Арабских Эмиратах, где правительства Абу-Даби и Дубая выручили терпевшую бедствие строительную компанию «Nakheel». В других странах для борьбы с кризисом создавались целевые фонды — например, в США президент Обама выделил на борьбу с кризисом 787 млрд долл. Так или иначе, государственно-частное партнерство может ускорить денежный оборот, стимулировать рост экономики и повысить активность бизнеса на местном, региональном и глобальном уровнях.

Один из самых ярких примеров — свободная экономическая зона в Сонгдо (Южная Корея), ставшая образцом государственно-частного партнерства между ведущими транснациональными корпорациями и правительством Южной Кореи, строящими новый город с нуля. В Сонгдо будут воплощены самые последние достижения науки и техники. Город предложит своим жителям все современные удобства, в том числе открытые пространства и парки общей площадью в 250 га.

Кроме того, в Сонгдо будет создана самая современная технологическая инфраструктура с бизнес-центрами, гостиницами, школами, музеями и супермаркетами. Город сулит своим жителям, работникам и гостям небывало высокое качество жизни, основанное на передовом опыте городского планирования и экологически чистой урбанизации.

Другой пример — «экономический город имени короля Абдуллы» (King Abdullah Economic City, КАЕС) в Саудовской Аравии. Он демонстрирует важную роль инвестиций, создания новых рабочих мест и повышения платёжеспособности населения для устойчивого экономического развития. Стратегия создателей города

состоит в строительстве самой современной инфраструктуры и формировании процессов, меняющих привычные стандарты и предлагающих новые подходы всем странам. Гладкая интеграция этой инфраструктуры и современных технологий с корпоративными и общественными услугами позволит создать полностью само достаточное сообщество, открытое для всех желающих.

Технология как важнейший фактор ускорения экономического роста. Примеры Сонгдо и КАЕС показывают, что технология может ускорить процессы инноваций и преобразований с помощью новых способов доставки услуг. К примеру, в Сонгдо планируется предоставлять гражданам медицинские услуги высшего качества по требованию с помощью технологии Cisco HealthPresence, которая устанавливает удобную и эффективную связь между пациентом и врачом независимо от расстояний.

От систем здравоохранения во всех странах всё чаще требуют повышения качества медицинских услуг. Сегодня доступ пациентов к медицинским услугам зачастую ограничен. Особенно это касается услуг узких специалистов и лечения хронических заболеваний, причём и в городах, и в сельской местности. Нагрузка на медицинских работников непрерывно растёт. Им необходим доступ к нужной информации, надёжная связь и средства совместной работы в среде медицинского учреждения.

Неплохо бы полностью трансформировать и систему образования. Для этого можно использовать технологии совместной работы, позволяющие каждому создавать, редактировать, передавать и получать контент и передовой опыт. Доступ к высококачественным услугам обучения с помощью государственно-частного партнерства при участии ведущих учебных заведений поможет создать экономику знаний, предложить профессиональное обучение сельской молодёжи и подготовить студентов к продуктивной работе в мировой экономике 21-го столетия.

Разумное новаторское использование новых технологий повысит производительность труда, сократит расходы и поможет преобразовать компании, города, страны и, в конечном счёте, жизнь каждого из нас. Страны, уделяющие первоочередное внимание развитию сетей в национальном масштабе, получат серьезные конкурентные преимущества и привлекут львиную долю прямых иностранных инвестиций.

В современном мире ни компании, ни частные лица действовать в одиночку не могут. Мы тесно связаны друг с другом, и экономический кризис показал это с предельной ясностью. Нам нужно

извлечь из кризиса уроки. Перед теми, кто это сделает, открываются небывалые возможности. Поэтому-то правительства многих стран и вкладывают большие средства в развитие национальных технологических инфраструктур и их модернизацию, а также в создание новых технологических инфраструктур для совместной работы, способных довести новаторские разработки до каждого человека.

Иными словами, сеть стала платформой для разработки разумных долгосрочных решений в таких областях, как безопасность и охрана общественного порядка, транспорт, строительство, коммунальные службы, здравоохранение и образование. Сетевая платформа приобрела критически важное значение для новаторства, эффективности, роста производительности труда и экономического развития любой страны и народа.

УДК 338.45:621.311

Р.А. Файзрахманов, д-р экон. наук, проф., Ю.Ф. Рубцов, канд. техн. наук, проф.
(Пермский государственный технический университет)

rehino@permlink.ru

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОРЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕМ

Рассмотрены методологические особенности решения задач по энергоресурсосбережению. Предложены принцип системности, этапы автоматизации и методика оценки экономии от внедрения систем управления энергоресурсосбережением.

Ключевые слова: энергоресурсосбережение, автоматизированные системы, методика, система.

Problem solution methodological features for energoresource-saving are considered. Systemacy principle, automation phases and economy valuation methodology for implementation of the energoresource-saving control system are proposed.

Key words: energoresource-saving, automatic systems, methodology, system.

Введение. Анализ мирового опыта показывает, что проблемы энергоресурсосбережения (ЭРС) сохраняют свою актуальность даже для экономически развитых стран, выход которых из очередного энергетического или ресурсного кризиса, как правило, сопровождается переходом на более высокий энерго- и ресурсосберегающий технологический уровень.

Однако системное решение проблемы ЭРС ещё не найдено. Слабоизученными остаются вопросы методологического обеспечения развития соответствующего комплекса технологий. Кроме того, следует отметить, что в науке до сих пор нет единой точки зрения по поводу трактовки экономического содержания категорий «энергоресурсосбережение», «управление энергопотреблением» и т. д. [1].

Теоретический анализ. Обязательным условием системы ЭРС предприятия, поселения, района является её единая структура (см. рисунок), объединяющая системы энергоснабжения всех потребителей [2–4].

Автоматизированная система управления энергоресурсами (АСУЭР) должна быть целостной структурой, обеспечивающей централизованный контроль и управление всеми объектами энергоснабжения.

Составными подсистемами АСУЭР являются АСКУЭР, АСКУЭС, АСТУЭ, АСУЭС, АСУВ, АСУКОС.

Использование подсистем АСУЭР даёт конкретный эффект:

— сокращаются затраты на обработку информации за счёт получения оперативной, достоверной информации об энергопотреблении и состоянии оборудования в электронном виде;

— регистратор аварийных процессов документально подтверждает и устанавливает причины выхода из строя оборудования (временное отсутствие питающего напряжения, срабатывание какой-либо защиты и т. п.);

измеритель качества электроэнергии документально подтверждает и устанавливает характер потерь электроэнергии по присутствию высших

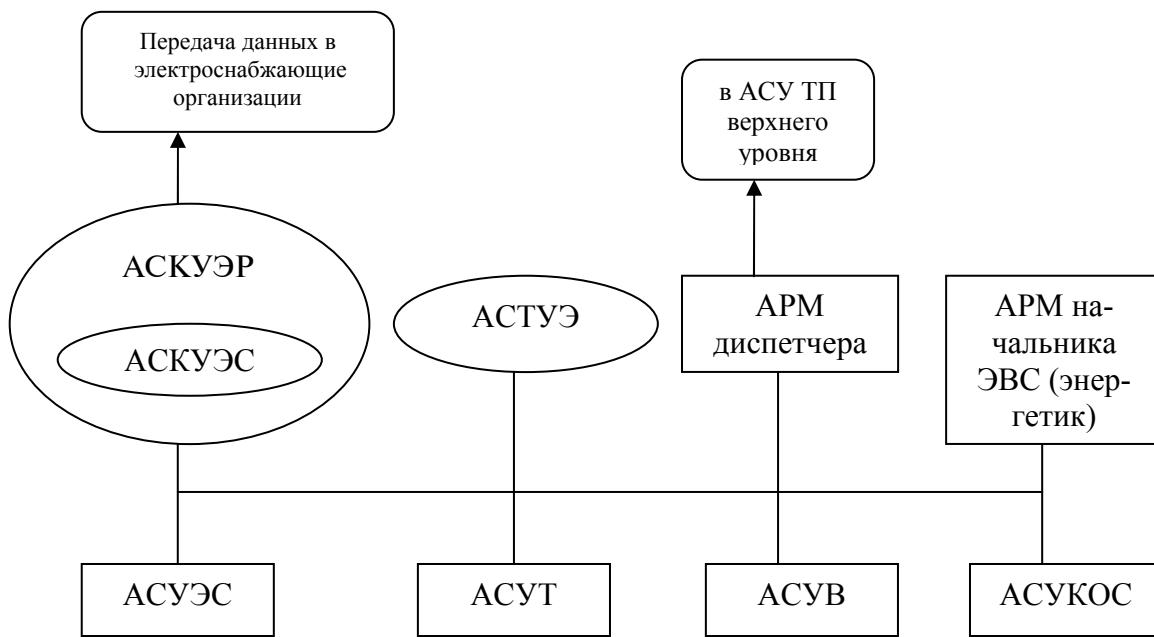


Рис. 1. Функциональная структура автоматизированной системы учёта энергоресурсов:

АСКУЭР – автоматизированная система коммерческого учёта энергоресурсов; АСКУЭС – автоматизированная система коммерческого учёта электроснабжения; АСТУЭ – автоматизированная система технического учёта энергоснабжения; АСУЭС – автоматизированная система управления электроснабжением; АСУТ – автоматизированная система управления теплоснабжением; АСУВ – автоматизированная система управления водоснабжением; АСУКОС – автоматизированная система управления канализационно-очистных сооружений

гармоник на выходе оборудования и, как следствие, увеличение реактивной составляющей;

диагностирование работы оборудования своевременно определяет его предельное состояние, при котором прекращается дальнейшая эксплуатация.

Полученные данные о техническом состоянии оборудования позволяют автоматизировать ведение технического паспорта оборудования, выдавать рекомендации по объёмам и срокам ремонтно-восстановительных работ.

Дальнейшее развитие АСУЭР состоит в организации энергоменеджмента на предприятии, включающего ряд организационных действий, направленных на сокращение энергетических затрат и увеличение производительности труда. Энергоменеджер выполняет задачи планирования, контроля экономических показателей (удельных норм потребления энергии на единицу произведённой продукции) и оптимизации производственного цикла, мониторинга и управления режимами работы системы электроснабжения.

Методика оценки экономии от внедрения программы энергосбережения и автоматизации управления. Для достижения единства оценки экономии при формировании программ и их реализации предлагается методика, изложенная в работах [5–8].

Экономия формирования программ и их реализации оценивается прогнозным и фактическим расчётом.

Прогнозные расчёты экономии выполняются на этапах формирования программ, проектирования и внедрения ЭРС мероприятий. При этом в прогнозный расчёт закладываются плановые показатели влияния на экономику хозяйствующего субъекта ЭРС мероприятий (экономия тепловой энергии 10–50 %) и плановые затраты на их внедрение.

Фактические расчёты экономии проводятся после внедрения ЭРС мероприятий на основании фактических затрат на их внедрение и фактических размеров показателей, влияющих на экономику хозяйствующего субъекта. Фактический расчёт включает анализ причин отклонения плановых показателей и фактически полученных затрат.

При формировании плановых показателей программы используются данные по фактическому расходу основных энергоносителей и воды в стоимостном и натуральном выражении за предшествующий год разработки программы либо утверждённые лимиты на текущий год и тарифы года разработки программы.

При внедрении системы с использованием новейших технологий и методов планируется дос-

тической экономии электроэнергии до 30, воды до 50, тепловой энергии до 40, топлива до 30, водоотведения до 50 %.

Важнейшими сопутствующими факторами эффективности внедрения передовых технологий и методов являются:

прогностические (предупреждение аварий и осложнений за счёт диагностики, основанной на текущей и архивной информации; выявление потерь и хищений энергоресурсов на основании составленных энергобалансов);

экологические (за счёт снижения уровня энергопотребления);

социальные (повышение культуры производства).

Неучтённые показатели при прогнозном расчёте будут резервом при расчёте фактической экономии после внедрения ЭРС мероприятий.

Для расчёта плановых затрат принят срок окупаемости на весь период действия программы (три года).

Экономия программы учитывается на срок окупаемости ЭРС мероприятий плюс два года.

Годовая экономия энергоносителя в натуральном выражении в i -м году определяется по формуле

$$\mathcal{E}_{nji} = Q_{nj} K_{ji} = Q_{nj} \frac{\Pi_{ji}}{100},$$

где Q_{nj} – фактический расход в натуральном выражении j -го энергоносителя в предшествующем году разработки программы; K_{ji} – коэффициент годовой экономии j -го энергоносителя в i -м году программы; Π_{ji} – процент годовой экономии j -го энергоносителя в i -м году программы.

Годовая экономия энергоносителя в стоимостном выражении рассчитывается по формуле

$$\mathcal{E}_{cji} = Q_{cj} K_{ji} = Q_{cj} \frac{\Pi_{ji}}{100},$$

где Q_{cj} – фактический расход в стоимостном выражении j -го энергоносителя в предшествующем году разработки программы.

Общая годовая экономия от всех энергоносителей в стоимостном выражении рассчитывается по формуле

$$\mathcal{E}_{oci} = \sum \mathcal{E}_{cji}.$$

Общая экономия в стоимостном выражении от внедрения программы в g интервале лет определяется по формуле

$$\mathcal{E}_{ocg} = \sum \mathcal{E}_{oci}.$$

Годовые затраты в стоимостном выражении на внедрение ЭРС мероприятий в i -м году рассчитываются по формуле

$$Z_{ci} = \mathcal{E}_{oci} \text{ПС}_i,$$

где ПС_i – планируемый срок окупаемости затрат в i -м году программы.

Затраты в стоимостном выражении на внедрение программы на интервале g лет определяются по формуле

$$Z_{cg} = \sum Z_i.$$

Планируемый средний срок окупаемости программы рассчитывается по формуле

$$\text{ПС}_{\text{ок}} = \frac{\sum Z_{cg}}{\sum \mathcal{E}_{ocg}}.$$

Годовая экономия в стоимостном выражении от внедрения ЭРС мероприятия определяется по формуле

$$\mathcal{E}_{\mathcal{E}_M} = \sum Q_{cj} K_j = \sum Q_{cj} \frac{\Pi_j}{100}.$$

Планируемый срок окупаемости ЭРС мероприятия рассчитывается по формуле

$$T_{\text{окЭ}} = \frac{Z_{\mathcal{E}_M}}{\mathcal{E}_{\mathcal{E}_M}},$$

где $Z_{\mathcal{E}_M}$ – затраты денежных средств, планируемые для реализации внедрения ЭРС мероприятия.

Экспериментальная часть. Процесс ЭРС и автоматизации управления предполагает активное участие всех хозяйствующих субъектов района как в разработке, так и в реализации программы [6–8].

При управлении вертикали ЭРС и автоматизации управления необходимо обеспечить формирование программ на всех уровнях, передачу ресурсов и рекомендаций, и осуществления контроля (сверху вниз) и отчётность (снизу вверх).

Реализация программ осуществляется в несколько этапов.

Первый этап. Создание комиссии и назначение ответственного на уровне района.

Постановление о внедрении электронной обработки информации по ЭРС и начале разработ-

ки программы по ЭРС включает следующие мероприятия:

- создание комиссии по ЭРС;
- введение должности энергоменеджера в штатное расписание администрации района и возложение на него ответственности за электронную обработку информации по ЭРС;
- определение местной организации по распространению и сопровождению программного обеспечения и документации по ЭРС;
- приёмка в опытную эксплуатацию необходимого программного обеспечения;
- ввод в действие (разработка) на территории района нормативно-методических документов.

Второй этап. Назначение ответственных на уровне управления района и администраций поселений:

- документальное оформление ответственных за ЭРС в управлении района и поселенческих администрациях;
- составление краткой характеристики района;
- составление карт потребления энергоресурсов за прошлый год по управлению, поселениям и району в целом;
- составление справки по управлению, поселениям и району в целом о наличии средств учёта энергоресурсов по видам;
- разработка программы ЭРС района.

Третий этап. Создание комиссий и назначение ответственных на уровне хозяйствующих субъектов района; издание приказа о начале разработки программы по ЭРС; создание комиссии по ЭРС.

Четвёртый этап. Внесение изменений в должностные инструкции в части организации ЭРС и автоматизации управления.

Пятый этап. Обучение ответственных всех уровней:

- определение объектов для отработки порядка формирования системы управления и программы ЭРС;
- обучение ответственных представителей объектов.

Шестой этап. Обследование хозяйствующих субъектов района. Формирование энергетических паспортов и карт потребления энергоресурсов хозяйствующих субъектов района, поселения:

проведение обследования объектов предприятия;

составление карт потребления по объектам предприятия и предприятию в целом за прошедший год;

составление справки по объектам предприятия о наличии средств учёта энергоресурсов;

разработка первой части программы ЭРС по предприятию;

приёмка в опытную эксплуатацию необходимого программного обеспечения;

ввод в действие (разработка) на территории района нормативно-методических документов.

Седьмой этап. Формирование программ хозяйствующих субъектов района. Передача программ в управление района по подчинённости:

- приёмка в промышленную эксплуатацию необходимого программного обеспечения;
- рассмотрение и утверждение программ.

Восьмой этап. Формирование программ управления района:

- приёмка в промышленную эксплуатацию необходимого программного обеспечения;
- рассмотрение и утверждение программ;
- передача программы на уровень района.

Девятый этап. Формирование программы района:

- приёмка в промышленную эксплуатацию необходимого программного обеспечения;
- рассмотрение и утверждение программ.

Десятый этап. Формирование фонда ЭРС:

- утверждение положения о фонде ЭРС;
- отработка механизма возврата инвестиций по ЭРС контрактам;

разработка Положения по финансированию мероприятий.

Одиннадцатый этап. Утверждение программ всех уровней и контроль исполнения. Передача программ района в комитет по энергетике. Представление ежеквартального отчёта по ходу реализации программ всех уровней:

передача программы на уровень управления края;

осуществление приёмки в промышленную эксплуатацию необходимого программного обеспечения;

представление статотчётности всех хозяйствующих субъектов района.

Двенадцатый этап. Мониторинг экономии от внедренных мероприятий. Формирование ежегодного отчёта и предложений на следующий год. Информирование хозяйствующих субъектов и населения района о ходе реализации программы:

приёмка в промышленную эксплуатацию необходимого программного обеспечения;

осуществление мониторинга всех хозяйствующих субъектов района.

Коэффициент исполнительской дисциплины ($K_{ид}$) рассчитывается по формуле [3]

$$K_{ид} = 1 - \frac{H_{hb} + \Pi_b + K_{kb}}{H},$$

где H_{hb} – количество невыполненных документов (мероприятий) на заданный период; Π_b – коэффициент, учитывающий выполнение документов (мероприятий) с опозданием; K_{kb} – коэффициент, учитывающий категорию важности документа (мероприятия); H – количество документов (мероприятий), поставленных на контроль, по исполнителю (подразделению).

Коэффициент Π_B рассчитывается по формуле

$$\Pi_B = 1,2\Pi_1 + 1,3\Pi_2 + 1,5\Pi_3,$$

где Π_1 – количество документов, выполненных с опозданием (от одного до пяти дней); Π_2 – то же, в интервале 6–10 дней; Π_3 – то же, в интервале 11 и более дней.

Коэффициент K_{KB} рассчитывается по формуле

$$K_{KB} = 0,01K_1 + 0,02K_2 + 0,03K_3 + 0,05K_4,$$

где K_1 – количество документов, выполненных с опозданием по 1-й категории важности; K_2 – то же, по 2-й категории важности; K_3 – то же, по 3-й категории важности; K_4 – то же, по 4-й категории важности.

Категории важности документов имеют следующие значения: обычная (1-я), важная (2-я), особо важная (3-я), исключительной важности (4-я).

Расчёт коэффициента исполнительской дисциплины отдельного исполнителя и структурного подразделения позволяет объективно оценивать определение размера премирования и учитывать продвижение исполнителя по службе.

Таким образом, принцип системности обеспечивает централизованный контроль и управление всеми объектами энергоснабжения, что в свою очередь позволяет создавать АСУ ЭРС комплексов.

Методика оценки экономии от внедрения программы ЭРС обеспечивает расчёт затрат, планируемых для реализации внедрения ЭРС мероприятий.

Принцип системности, методику оценки и этапы автоматизации в совокупности необходимо рассматривать как часть методики при разработке и оценке программ по ЭРС.

Предложенный подход позволяет создать современную АСУЭР – фундамент всей системы энергоресурсосбережения.

Библиографические ссылки

1. **Андржиевский А.А.** Энергосбережение и энергетический менеджмент: учеб. пособие. Мн.: Высш. шк., 2005. 294 с.
2. **Гашо Е.Г.** Системность как важнейшая предпосылка территориального подхода в энергосбережении // Энергосбережение и водоподготовка. 2009. № 3. С. 20–27.
3. **Ракутко С.А.** Прикладная теория энергосбережения в энерготехнологических процессах: структура и основные положения // Энергосбережение и водоподготовка. 2009. № 4. С. 65–68.
4. **Линкин А.Г.** О комплексном подходе к энергосбережению // Автоматика и информационные технологии в энергетике. 2009. № 5. С. 38.
5. **Рубцов Ю.Ф.** Методологические основы создания составных элементов систем учёта и управления потреблением энергоресурсов / Наука, техника, производство: Моногр. Пермь: Изд-во ПГТУ, 1999. 105 с.
6. **Программа «Энергоресурсосбережение и автоматизация управления в Верещагинском районе Пермского края на 2006–2010 годы и на период до 2015 года».** Верещагино: 2005. 23с.
7. **Закиров Д.Г.** Управление энергоэффективностью в регионе. Пермь: Астер, 2007. 383 с.



ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ АВТОМОБИЛЕЙ И ТРАКТОРОВ: учебник

Ю.П. Чижков

656 с. ISBN: 5-217-03358-4

Цена 495 р.

Приведено описание конструкций, принципа работы и технических данных устройств и приборов электрического и электронного оборудования автомобилей и тракторов.

Отличительными особенностями учебника являются полнота охвата дисциплины и простота изложения, учет требований новых ГОСТов. Для лучшего усвоения материала учебник хорошо иллюстрирован.

Для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки "Транспортные машины и транспортно-технологические комплексы". Может быть полезен для студентов средних профессиональных учебных заведений, обучающихся по автотракторным специальностям, а также работникам автотранспортных предприятий и сервиса, лицам, интересующимся устройством электрооборудования автомобиля и трактора.

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 658.511

Ю.К. Фортинский, канд. техн. наук
(Воронежская государственная лесотехническая академия)

eanikeev@gmail.com

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАДАЧ УПРАВЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯМИ ЭЛЕКТРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Рассмотрены средства моделирования задач управления предприятиями электронной промышленности в соответствии с двухуровневой моделью. К нижнему уровню этой модели относятся физические процессы, а к верхнему – информационные процессы управления предприятием.

Ключевые слова: моделирование, управленческая система, информационные процессы.

Control modeling tasks means for electronic industry enterprises in accordance with two-level model are considered. Physical processes attribute to the lower level of this model, informational control processes of the enterprise – to the upper level.

Key words: modeling, management system, informational processes.

Введение. Анализ развития общей теории управления организационными системами [1] показывает, что современный этап теории характеризуется переходом на новый принцип управления, состоящий из двух основных взаимодополняющих положений.

Первое положение связано с необходимостью определённого отхода от управленческого рационализма. При традиционном подходе организация рассматривается как концептуально «закрытая» система, её цели, задачи и условия деятельности считаются известными, заданными и не изменяющимися в течение длительного (обозримого) периода. В новой управленческой системе организация рассматривается как концептуально «открытая» система, способная постоянно корректировать свое отношение к внешней среде и целенаправленно взаимодействовать с ней. При этом предполагается не только внутренняя самоорганизация, но и целенаправленная трансформация внешней сферы. Это означает, что задача рациональной внутренней организации при всей её важности и обязательном решении отходит на второй план. Основной проблемой устойчивой работы предприятия и соответственно его подсистем является разработка концептуальных основ организационного строительства и развития, выходящих за рамки внутренней области жизненно важных интересов.

Второе положение управления – принципиально новый взгляд на подсистему как субъект деятельности и на её роль в обеспечении жизнеспособности системы. Прежний механистический принцип управления исходил из того, что главным источником возмущения в системе яв-

лялись подсистемы. Перенос центра тяжести с оперативного управления на задачи стратегического планирования и развития предприятия обусловил необходимость расширения операторной (исполнительской) функции подсистем.

Таким образом, новый подход к проблеме подсистемы в организации требует отхода от тотального рационализма в моделях поведения и признания за подсистемой права творческой иррациональности.

Основная часть. Возможна декомпозиция качества функциональной активности подсистем предприятия на следующие основные проявления: возбуждать и планировать активность, нести ответственность, проявлять индивидуальность.

Способность возбуждать активность обусловлена системой потребностей, которые существуют либо в виде процессов «стимул – реакция», либо осознанных норм и ценностей («стимул – отклик»).

Способность планировать активность проявляется в свойствах:

осознании своих потребностей;

формировании системы потенциальных интересов;

анализе ресурсных возможностей, формирования актуальных интересов;

разработке и согласованных по целям, задачам, месту и времени способов претворения актуальных интересов в жизнь;

проявлении настойчивости в достижении цели; способности к самообучению.

В основе способности системы планировать активность лежит фундаментальный принцип [1], позволяющий спрогнозировать последствия различных действий, а затем выбрать из них дейст-

вия, обеспечивающие в конкретных условиях максимальную эффективность поведения при минимальных затратах.

Таким образом, концептуальная основа управления предприятием – понятие нормативно-ценностной системы. В данном случае кроме описательной модели действительности, представляющей собой модель «возможного», модель должна содержать также и нормативную составляющую, называемую моделью «должного». Эта модель задаётся в виде значимой (для предприятия в целом и подсистем в отдельности) совокупности норм и ценностей (полезностей), формируемых на всём пространстве информационно-предметной среды. Следовательно, можно считать, что модель как нормативно-ценностная система организует всю совокупность процессов (экономических, технологических и др.), протекающих в информационной области, и управляет этой совокупностью.

В соответствии с предложенным принципом разработана двухуровневая структурная модель управления предприятием. Нижний уровень модели описывает физические процессы, а верхний уровень – информационные процессы управления предметной области предприятием со стороны отдельных подсистем, входящих в структуру. Структурную модель предприятия можно представить в виде кортежа:

$$M^0 = \langle M_{\Pi}^0, M_i^0, R^0 \rangle, \quad (1)$$

где M_{Π}^0 , M_i^0 – модели предметной и информационной области; R^0 – модель взаимных отношений между подсистемами; 0 – индекс, обозначающий нулевой уровень стратификации (наиболее абстрактный уровень описания предприятия).

Модель M_{Π}^0 предметной области предприятия включает два типа моделей. К первому типу относится модель $M_{\Pi i}^0$, ($i = 1, n$), предметной области i -х подсистем, где n – число подсистем в структуре предприятия. Ко второму – модель $M_{\Pi 0}^0$ предметной области единой межсистемной среды, где $i = 0$ – условный номер факторов (социальных, техногенных и др.), которые не входят в структуру ни одной из подсистем.

В качестве концептуальной основы модели M_{Π}^0 предметной области предприятия примем введённое Дж. Форрестом [2] понятие «социально-техногенно-природный комплекс», под которым понимаются ресурсы, т. е. все средства (финансовые, материальные и др.), которые необходимы для достижения целей предприятия. Тогда структура модели M_{Π}^0 запишется в виде:

$$M^0 = \langle M_{\Pi i}^0 \rangle, \quad M_{\Pi i}^0 = \langle X_i^0, Y_i^0, Z_i^0, F_i^0 \rangle,$$

$$i = \overline{0, n}, \quad (2)$$

где X_i^0, Y_i^0, Z_i^0 – ресурсный капитал социальной, техногенной и природной составляющей i -й подсистемы предприятия; F_i^0 – вектор-функция, характеризующая затраты на воспроизведение (в процессе функционирования) потенциалов.

Необходимость прогнозирования последствий, связанных с принятием системных управленческих решений, с позиции их вклада в текущее индивидуальное поведение отдельных подсистем, а также влияния этих решений на уровень стратегической стабильности предприятия, требует увязки всех протекающих физических процессов с возможностью их контроля и технологического управления. Следовательно, все частные модели, входящие в состав макромодели (2), должны быть представлены как объекты управления, связанные с соответствующей информационной областью через ресурсные накопители, представляющие собой реализуемое управляющее решение. Модель M^0 информационной области предприятия можно записать в виде кортежа:

$$M^0 = \langle M_{Ii}^0, M_{I0}^0, M_{Ik}^0 \rangle, \quad i = \overline{0, n};$$

$$k = \overline{0, m}, \quad (3)$$

где M_{Ii}^0 – модель информационной области i -й подсистемы; M_{I0}^0 – модель информационной области межсистемной среды предприятия; M_{Ik}^0 – модель информационной области возможных объединений взаимодействия подсистем предприятия.

Структура модели M_{Ii}^0 информационной области i -й подсистемы должна включать две взаимосвязанные вертикали. Первая (производственная) вертикаль представляет собой совокупность подсистем, которые управляют независимыми технологиями, но связанными по входам и выходам процессами материального производства, протекающими в предметной области предприятия.

Вторая вертикаль обеспечивает целостность системы (вертикаль можно назвать административной) созданием условий так называемого «органического единства», выражающегося в способности всех подсистем осуществлять объединение труда, гармонично сочетающего интересы части и целого относительно целей, задач и способов групповых действий. Эта вертикаль должна также решать проблемные вопросы, направлен-

ные на защиту интересов системы от отдельных подсистем, которые наносят ущерб работе всей системы в целом.

С учётом сказанного выше, структуру модели информационной области i -й подсистемы можно записать выражением:

$$M_{\Pi i}^0 = \langle V_{\Pi i}^0, V_{Ai}^0 \rangle, \quad (4)$$

где $V_{\Pi i}^0$, V_{Ai}^0 – производственная и административная информационная вертикаль i -й подсистемы.

Производственная вертикаль $V_{\Pi i}^0$ i -й подсистемы включает следующие вектор-функции:

K_i^0 – вектор-функция, характеризующая модель технологического управления совокупностью процессов, осуществляемых в предметной области информационно-предметной среды, ресурсы которой являются собственностью i -й системы предприятия;

P_i^0 – вектор-функция, характеризующая модель организационно-технологического управления, направленная на удовлетворение совокупности производственных интересов i -й системы в условиях сложившейся материально- и информационно-производственной организации;

E_i^0 – вектор-функция, характеризующая модель формирования вектора производственных интересов, представляющая собой результат осознания множества физических потребностей в компонентах X_i^0 , Y_i^0 , Z_i^0 по всем составляющим вектор-функциям, осуществляющих производство материальных и информационных продуктов в составе информационно-предметной среды (включая внешних потребителей и поставщиков i -й подсистемы) в определённых условиях. Результатами выполнения подсистемой вектор-функции являются, в частности, плановые производственные задания и договоры о купле-продаже;

H_i^0 – вектор-функция, характеризующая модель организационного управления i -й подсистемы и определяющая возможности адаптивной трансформации материальной и информационно-производственной модели организационного механизма управления, в качестве которого можно выбрать семифакторную модель «7S» МакКинси [3]:

$$H_i^0 = \langle h_{li} \rangle, l = \overline{1,7}, \quad (5)$$

где h_{li} – организационные факторы основных элементов новых организационных технологий.

Структуру производственной вертикали можно записать в виде:

$$V_{\Pi i}^0 = \langle K_{\Pi i}^0, P_{\Pi i}^0, E_{\Pi i}^0, H_{\Pi i}^0 \rangle. \quad (6)$$

Для реализации содержащихся в кортеже (6) вектор-функций и управляемой им вектор-функции F_i^0 (2) материального воспроизведения и развития требуются определённого количества и качества ресурсы. Однако возникают проблемы построения модели предприятия оптимальным выбором и оптимальным распределением ресурсов в условиях их ограничения. Административная информационная вертикаль V_{Ai}^0 предназначена для формирования корпоративных интересов i -й подсистемы предприятия как целого и согласования интересов целого с интересами частей, к которым, в первую очередь, относится вся область производственных отношений, а также защита от деструктивных действий со стороны других подсистем. Проблема административной информационной вертикали состоит в том, что необходимо согласовать долгосрочные интересы, связанные с устойчивым функционированием i -й подсистемы в будущем, с текущим состоянием. Речь идет о согласовании текущих интересов («ближайшая перспектива»), которые образуют подынтегральную функцию интегральной составляющей в задаче оптимального управления, и нормативно-ценостной системы, которая соотносится с содержанием терминальной функции, входящей вторым слагаемым в единый функционал задачи Больца («отдалённая перспектива») [4].

Выбор варианта экономического и административного способов действия указывает на необходимость некоторой технологии управления, а также определённого потенциала социального, техногенного и природного ресурса, что означает присутствие в структуре модели административной вертикали также технологического, организационно-технологического и организационного уровней управления административной деятельностью.

Структуру административной вертикали можно задать кортежем вида:

$$V_{Ai}^0 = \langle K_{Ai}^0, P_{Ai}^0, E_{Ai}^0, H_{Ai}^0 \rangle. \quad (7)$$

Здесь каждая компонента соответствует аналогичной вектор-функции из состава производственной информационной вертикали (6). Причём вектор-функция P_{Ai}^0 включает, в частности, сравнительный анализ подсистем с использованием обоснованных информационно-математических показателей.

Модель $R^0 = \langle R_{\Pi}^0, R_{Ai}^0 \rangle$ взаимных отношений между подсистемами предприятия включает модель R_{Π}^0 физических отношений между ними в

предметной области информационно-предметной среды и модель R_{Π}^0 информационных отношений в информационной области.

Модель R_{Π}^0 физических отношений между подсистемами запишем в виде

$$R_{\Pi}^0 = \left\langle A_{ij}, B_{ij} \right\rangle, i, j = \overline{0, n}, \quad (8)$$

где A_{ij} – модель прямых и обратных экономических воздействий (потоков материальных ресурсов i -й подсистемы предприятия на j -ю или, при $j = 0$, на межсистемную область; равенство индексов $i = j$ соответствует внутреннему обмену в i -й подсистеме; B_{ij} – аналогичная модель нормативно-правовых воздействий.

При $i = 0$ воздействия исходят из межсистемной области предприятия ($i = j$ соответствует внутреннему нормативно-правовому конфликту в i -й подсистеме).

Модель R_{Π}^0 информационных отношений включает модели:

информационных отношений между подсистемами предприятия;

сбора осведомляющей информации i -й подсистемы о j -й подсистеме (информационной активностью обладают все три информационные вертикали подсистем);

информационных отношений между предприятием и внешней средой.

Заключение. Все модели взаимных физических и информационных отношений для своей реализации требуют определённых затрат социальных, техногенных и природных ресурсов. Модели управляются производственной и административной вертикалями, последняя из которых координирует и направляет всю межсистемную деятельность за счёт принадлежащих ей рычагов исполнительной и законодательной власти. Особенности разработанной структурной модели управля-

ния предприятием заключаются в следующем. Выражение (2) описывает динамику предприятия на физическом уровне, где основными регуляторами являются законы сохранения (физические, экономические и др.). Введение вектор-функции (8) взаимного ресурсного обмена, заданной на всём множестве параметров модели, позволяет говорить о том, что она включает также и базовые положения модели LINK [5] (проект «LINK» («Соединение») Л. Клейна). В качестве исходного положения, на основе которого возможна разработка имитационных моделей базовых (определяющих изменения состояния предметной области предприятия) вектор-функций F^0 и M_{Π}^0 , используется понятие «производственная функция». В качестве основного показателя экономического развития принимается объём валового национального продукта.

Введение в состав основных концептуальных положений модели информационной области значительно расширяет прогностические возможности предприятия и повышает достоверность полученных на её основе практических рекомендаций. Приведённая модель соответствует нулевому уровню стратификации, на котором абстрагируется модельное пространство, прежде всего от пространственно-географической компоненты.

Библиографические ссылки

1. **Марка Д.** Методология структурного анализа и проектирования. М.: Мета Технология, 1993. 240 с.
2. **Форрест Дж.** Мировая динамика. М.: Наука, 1978. 481 с.
3. **Карлофф Б.** Деловая стратегия. М.: Экономика, 1991. 236 с.
4. **Моисеев Н.Н.** Математические задачи системного анализа М.: Наука, 1981. 487 с.
5. **Клейн Л.** Проект ЛИНК. Экономика и экономические методы. Т. 13. 1977. Вып. 3. С. 43 – 72.

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

Эволюционный метод поиска оптимальных решений для задач со множеством экстремумов. Вестник компьютерных и информационных технологий. 2010. № 5.

Представлены описание и анализ возможностей созданного эволюционного метода поисковой оптимизации для задач, характеризующихся наличием множества оптимальных решений. Предложен эволюционный метод модификации генетического алгоритма с расширенной функциональностью на основе использования принципов кластеризации решений. Приведены результаты экспериментов, демонстрирующие возможности предлагаемой модификации генетического алгоритма.

Сравнение дискретного преобразования Фурье и модифицированного косинус-преобразования при сжатии аудиоинформации. Вестник компьютерных и информационных технологий. 2010. № 5.

Рассмотрена предпочтительность дискретного преобразования Фурье как способа отображения аудиоданных в частотную область при их спектральном сжатии. Проанализированы вычислительные затраты на отображение аудиоданных в частотную область для модифицированного косинус-преобразования, применяемого в системе спектрального кодирования Dolby AC-3. Показано, что взвешивание фрейма синусным окном даёт увеличение степени сжатия за счёт существенного улучшения уплотнения энергии спектра.

Эффективность снижения низкочастотных колебаний в гидравлических системах резонаторами Гельмгольца. Вестник машиностроения. 2010. № 5.

Представлены результаты исследований низкочастотных гасителей пульсаций давления в рабочей среде трубопроводной системы стенда – аналога IV контура атомной энергетической установки. Приведены расчёты акустических характеристик резонаторов Гельмгольца и результаты акустических испытаний по снижению уровней колебаний на лопастных частотах циркуляционного насоса. Показано, что эффективность таких конструкций зависит как от точности настройки частоты собственных колебаний резонатора на лопастную частоту источника колебаний, так и от места установки резонатора в трубопроводной системе.

Автоматизированный комплекс для оценки качества твёрдосплавных режущих пластин, комплектуемых в сборные многолезвийные инструменты. Сборка в машиностроении, приборостроении. 2010. № 5.

Предложено схемное решение автоматизированного комплекса для распределения по группам качества твёрдосплавных режущих пластин, комплектуемых в сборные многолезвийные инструменты, на основе определения их режущих свойств по величине коэрцитивной силы. Разработано программное обеспечение для статистического анализа результатов измерений и ведения базы данных по режущим свойствам пластин для автоматизированной системы технологической подготовки производства(АСТПП).

Моделирование характера течения технологической среды при комбинированной резке дисковым электродом-инструментом. Инженерный журнал «Справочник». 2010. № 5.

Авторам удалось найти принципиально новое направление совершенствования технологии обработки прецизионных деталей машин и приборов в процессе электроалмазной резки. Приведена математическая модель по расчёту и оптимизации процесса резания, при этом повышается производительность, качество обработки, точность и шероховатость поверхности. В основе рассматриваемой модели, качественно соответствующей процессу электроалмазной резки, заложено насыщение технологической среды газовой фазой и интенсивное её перемешивание. Центробежная прокачка такой газожидкостной смеси способствует «схлопыванию» газовой фазы и инициированию кавитационных явлений в контактной зоне.

Алгебраическая постановка задач и контроля системного вырождения сложных технических систем. Мехатроника, автоматизация, управление. 2010. № 5.

Рассмотрена проблема контроля системного вырождения сложных технических систем в алгебраической постановке. Поставленная задача решается количественно с помощью функционалов вырождения, сконструированных на спектре сингулярных чисел критериальных матриц. Представлены методы конструирования критериальных матриц сложной технической системы.

Теоретическое обоснование применения теории распознавания образов при конструировании химических мембран. Нано- и микросистемная техника. 2010. № 5.

Приведено теоретическое обоснование принципиальной применяемости теории распознавания образов при конструировании химических мембран для моделей с пространственными и геометрическими ограничениями. Показаны методы построения распознающего оператора и решающего правила для исследуемых моделей.

Особенности построения гибридных интеллектуальных систем обработки информации. Информационные технологии. 2010. № 5.

Исследованы принципы создания интеллектуальных гибридных систем, обеспечивающих решение разнообразных прикладных задач в условиях неполноты и нечёткости исходной информации. Показано, что дальнейшее направление исследований в этой области связано с созданием эволюционных, постоянно развивающихся динамических интеллектуальных систем, работающих в режиме on-line и подстраивающихся под конкретную решаемую задачу.

Определение оптимальных алгоритмов регулирования активно-управляемых пневмоподвесок. Грузовик. 2010. № 5.

Представлена математическая модель активно-управляемой пневмоподвески и результаты расчёта, на основании которых определены оптимальные алгоритмы регулирования для режимов вынужденных и свободных затухающих колебаний, возникающих при движении АТС по дорогам с неровным покрытием.

Оценка производительности выемочных машин непрерывного действия. Горное оборудование и электромеханика. 2010. № 5.

Предложен метод расчёта технической производительности выемочных машин непрерывного действия из условия баланса мощности двигателя, позволяющий обоснованно оценивать их работоспособность в конкретных горно-климатических условиях. При определении производительности учитываются распределение крепости породы по глубине массива и корреляционная связь между удельным сопротивлением резанию породы и коэффициентом крепости по шкале проф. М.М. Протодьякова.

Современные проблемы, связанные с технологическими остаточными напряжениями. Упрочняющие технологии и покрытия. 2011. № 6.

Рассмотрены основные причины образования, величина и характер распределения остаточных напряжений в деталях, особенности разработки теоретических методов прогнозирования технологических остаточных напряжений. Проанализированы экспериментальные данные, позволившие установить некоторые общие качественные

закономерности влияния обрабатываемых материалов, методов, инструментов, режимов и условий обработки на начальные напряжения в поверхностном слое деталей.

Влияние трения на несущую способность однослоинных топокомпозитов. Трение и смазка в машинах и механизмах. 2010. № 6.

Рассмотрена механика контактного взаимодействия сферического индентора с двухслойным упруго-пластичным полупространством, имитирующим твёрдое тело с поверхностным слоем. Исследован случай силового взаимодействия жёсткого сферического штампа при наличии трения в контакте. Нормальные и касательные напряжения в контакте связаны между собой законом Амонтона-Кулона. Анализируются зависимости несущей способности от коэффициента внешнего трения и толщины поверхностного слоя (покрытия) для всего диапазона возможных значений толщины. Особое внимание уделено анализу поведения слоистых систем, относящихся к топокомпозитам. Расчёты показывают, что увеличение коэффициента трения приводит к снижению максимального значения несущей способности поверхности однослоинных топокомпозитов. Для топокомпозитов снижение максимальной величины несущей способности сопровождается уменьшением критической толщины покрытия, при которой обеспечиваются эффективные защитные функции покрытия. Для твёрдых топокомпозитов в области малых значений толщины покрытия при коэффициентах трения 0,35 и выше исчезает область аномальной пластичности.

Автоматизированная стабилизация температуры на измерительных участках сборочных цехов. Сборка в машиностроении, приборостроении. 2010. № 6.

Разработаны математические модели, описывающие тепловые процессы в термоконстантном помещении, предназначенном для высокоточных измерений и сборки в цеховых условиях. На основе этих моделей разработана автоматизированная система стабилизации температуры на измерительных участках сборочных цехов, позволяющая поддерживать её с точностью $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ в помещениях площадью до 100 m^2 .

Способ технического диагностирования двигателей внутреннего сгорания с комплексной системой управления. Контроль. Диагностика. 2010. № 6.

Разработан способ технического диагностирования двигателей внутреннего сгорания с комплексной системой управления. Способ имеет уточнённые зависимости, связывающие составляющие углового ускорения коленчатого вала двигателя в переходных режимах с цилиндровыми мощностями в цикле его работы. В данном техническом решении устранены существующие ранее недостатки диагностирования (низкая точ-

ность определения технического состояния ДВС, вызванная несовершенством системы зажигания и разбросом цикловой подачи топлива между цилиндрами в цикле работы двигателя на разгоне из-за несовершенства работы системы питания; помехи при включении электродвигателя вентилятора системы охлаждения; сложность локализации неисправностей по показателям, определяемым данным способом).

Влияние отклонения формы поверхностей на работоспособность прессовых соединений буровых шарошечных долот. *Сборка в машиностроении, приборостроении.* 2010. № 6.

Исследовано влияние овальности поверхностей отверстий и прессуемых в них твёрдосплавных зубков на работоспособность соединений с натягом буровых шарошечных долот с использованием моделирования в программе Ansys.

Конечно-элементная модель для расчёта внутренних трещиноподобных дефектов в области сварного соединения патрубка с сосудом. Заготовительные производства в машиностроении. 2010. № 6.

Для упрощения задачи, выполняемой расчёtkом при моделировании конкретной конструкции, разработана универсальная модель, реализованная с использованием интерпретируемого языка APDL в конечно-элементном пакете Ansys. Модель применима для определения прочности такого распространённого конструктивного элемента, как сварной шов, соединяющий патрубок с сосудом, при наличии в сварном шве трещиноподобного дефекта. Для модели могут задаваться любые конкретные размеры и произвольная нагрузка. Расчёт по модели позволяет определить параметры механики разрушения.

Проектирование операций упрочняющей обработки деталей машин методами ППД. Упрочняющие технологии и покрытия. 2010. № 7.

Рассмотрены вопросы структурно-функционального моделирования и проектирования операций упрочняющей обработки деталей машин методами ППД. Изложены основные направления и задачи исследований в области технологий упрочняющей обработки деталей методами ППД, закономерности взаимодействия деформирующего элемента с поверхностью упругопластического тела, условия устойчивости технологической системы обработки деталей методами ППД.

Динамика истирания металлополимерных материалов в процессе эксплуатации. *Трение и смазка в машинах и механизмах.* 2010. № 7.

Рассмотрен процесс износа металлополимерных материалов с антифрикционным слоем в виде сетки в узлах трения. Приведён расчёт изменения конфигурации и площади контакта сетки с контроллером. Показано, что площадь контакта в процессе работы увеличивается до локального максимума, затем уменьшается до некоторой ве-

личины и далее возрастает. Полученные данные позволяют определить предельную величину износа и рассчитать значения удельных нагрузок разработанных материалов.

Моделирование течения вокруг вращающегося диска. *Трение и смазка в машинах и механизмах.* 2010. № 7.

Рассмотрена классическая задача течения вокруг вращающегося в неограниченном пространстве диска, предлагаются аналитические зависимости для расчёта составляющих скоростей течения; проведено моделирование процесса трения в системе Matlab-Simulink, подтвердившее хорошую сходимость с экспериментальными зависимостями.

Управление качеством неподвижных соединений за счёт нормирования конструктивно-технологических параметров. *Сборка в машиностроении, приборостроении.* 2010. № 7.

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.

Динамометрические упругие элементы весоизмерительных устройств. *Сборка в машиностроении, приборостроении.* 2010. № 7.

Рассмотрены структурные цепи весоизмерительных устройств, использующих упругие чувствительные элементы и предназначенных для работы в автоматизированных механизмах. Исследовано влияние параметров упругого кольца на величину его деформации. Выполнен анализ влияния производственных погрешностей на метрологические характеристики весоизмерительного устройства.

Построение автоматизированной системы управления оболочковыми техническими объектами с идентификацией множества состояний. *Вестник компьютерных и информационных технологий.* 2011. № 7.

Предложено проведение идентификации множества состояний на мультиграфах для технических объектов с повреждающимися в процессе эксплуатации оболочками. Разработаны структура автоматизированной системы управления (АСУ) оболочковыми техническими объектами и программный комплекс как блок АСУ, автоматизирующий выбор аналоговой переменной, характеризующей повреждения.



“ИЗДАТЕЛЬСТВО МАШИНОСТРОЕНИЕ”

представляет

А.Г. Суслов, В.Ф. Безъязычный,
Ю.В. Панфилов

ИНЖЕНЕРИЯ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ

М.: Машиностроение. 260 с.
ISBN: 978-5-217-03427-7

Цена 550 р.



Экономическая целесообразность комплексного обеспечения качества деталей на всех стадиях их жизненного цикла вызвала необходимость аналогичного подхода и к рабочим поверхностям деталей. Здесь впервые комплексно рассмотрено качество поверхностного слоя деталей на всех этапах их жизненного цикла (проектирование, технологическая подготовка производства, контроль, сборка, испытание, диагностика, эксплуатация, ремонт, восстановление и утилизация), в результате чего сформировано учение об инженерии поверхности, занимающее сейчас одно из ведущих мест в технике.

Данная книга является первой попыткой обобщения указанного учения и его применения в практике. В ней даны примеры по инженерии поверхности конкретных изделий.

Для инженерно-технических работников и специалистов промышленных предприятий, преподавателей, аспирантов и студентов технических вузов.

Приобрести книгу по цене издателя можно, прислав заявку
по e-mail: realiz@mashin.ru; по факсу: (499) 269-48-97;

по почте: 107076, г. Москва, Строгинский пер., 4.

Информация по тел.: (499) 269-52-98, 269-66-00
и на сайте WWW.MASHIN.RU