

СОДЕРЖАНИЕ

АВТОМАТИЗАЦИЯ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Иванов А.Г., Бойков В.В. Движение жидкости в поле центробежных сил инерции	3
Чертов Е.Д., Носов О.А., Васечкин М.А. Математическая модель объекта «сферическая заслонка – цилиндрическое сопло – несущая газовая прослойка»	7
Сироткин А.В. Автоматизация предпроектного анализа информационных процессов в системах управления	10
Фортинский Ю.К. Реализация проблемно-ориентированного обеспечения автоматизации проектирования	16

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Чернышев А.Б. Исследование абсолютной устойчивости нелинейных распределенных систем	21
Кузнецов А.В. Методика комплексной оценки оптимальности технических объектов и её применение к оценке беспилотных систем	27
Баканов В.М. Визуальная среда для разработки параллельных программ на языке НОРМА	31
Васин В.А., Ивашов Е.Н., Лучников А.П., Степанчиков С.В. Перспективные устройства на основе многостепенных приводов в оборудовании электронной техники	34

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ НАУЧНОЙ И ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Ирзаев Г.Х. Выбор количественного состава экспертной группы при оценке свойств промышленных изделий	44
---	----

ВЫСТАВКИ И ПРЕЗЕНТАЦИИ

Softcloud – новое имя в технологиях «облачных вычислений»	47
---	----

ОБЗОР ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ПЕЧАТИ

По страницам журналов	48
-----------------------------	----

CONTENTS

AUTOMATION OF SCIENTIFIC-RESEARCH AND PRODUCTION

Ivanov A.G., Boykov V.V. Liquid movement in the field of centrifugal inertia forces	3
Chertov E.D., Nosov O.A., Vasechkin M.A. Mathematical model of the object «spherical oven-door – cylindrical nozzle - carrier gas interlayer»	7
Sirotkin A.V. Predesigned analysis automation of the informational processes in the control systems	10
Fortinskiy Yu.K. Problem-oriented securing realization of a designing automation	16

MODERN TECHNOLOGIES

Chernyshev A.B. Absolute steadiness research of the nonlinear distributed systems	21
Bakanov V.M. Visual surroundings for parallel programs development with sublanguage НОРМА	27
Kuznetsov A.V. Complex valuation methodology of the engineering objects and its application for unmanned systems valuation	31
Vasin V.A., Ivashov E.N., Lychnikov A.P., Stepanchikov S.V. Perspective facilities based on the multiphase drives in the electronic engineering equipment	34

ECONOMICS AND ORGANIZATION OF SCIENTIFIC AND ECONOMIC AKTIVIES

Irzaev G.Kh. Chose of an authority group numerical composition for industrial articles characteristics valuation	44
--	----

EXHIBITION AND PRESENTATIONS

Softcloud – new name for «cloud calculation» technology.....	47
--	----

SURVEY OF PERIODICALS

Periodicals review	48
--------------------------	----

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

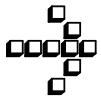
Художественный редактор Галицина Т.Н.
Компьютерный набор Путинов В.Н.
Компьютерная верстка Тугаринов А.А.

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

Сдано в набор 29.01.10. Подписано в печать 29.03.10.
Формат 60×88 1/8. Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 5,88. Уч. изд. л. 6,85. Заказ 279. 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 несет рекламодатель**



УДК 621.816-251-404.1

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

vitboikov@gmail.com

ДВИЖЕНИЕ ЖИДКОСТИ В ПОЛЕ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ СИЛ ИНЕРЦИИ

Представлено аналитическое описание движения жидкости в гидравлической системе, в которой действуют дополнительные центробежные силы инерции. Разложение геометрии движения в многомерном пространстве соответствует сумме отдельных гармоник, периодических функций.

Ключевые слова: центробежный регулятор, параболоид вращения, корректирующая жидкость, пространственная геометрия, эквивалентная схема движения, фазовые превращения, гидравлические системы.

Analytical description of the liquid movement in the hydraulic system with additional centrifugal inertia forces is introduced. Movement geometry decomposition in the multidimensional space corresponds to sum of periodical functions separate harmonics.

Key words: centrifugal regulator, paraboloid of revolution, correction liquid, space geometry, equivalent movement scheme, phase transformation, hydraulic systems.

Рассмотрим моделирование движения жидкости в гидравлической системе, в которой действуют дополнительные центробежные силы инерции, а также возникают другие зоны истечения жидкости под напором, описываемые классическими методами с помощью дифференциальных уравнений, формулировки граничных условий, приближённых аналитических и численных расчётов. Однако эти методы не позволяют получить результаты, соответствующие реально наблюдаемому движению, и по характеру, совпадающему с другими процессами, т. е. возникает некоторое несоответствие аналитического расчёта с ожидаемым.

Известны устройства (центрифуги, сепараторы, отжимные экстракторы, стиральные машины, автобалансирующие устройства шлифовальных машин, дробилок, CD, DVD-приводов), в которых используется центробежное поле жидкости и регулирование которых улучшает технические характеристики устройств, качество их регулирования и потребительские свойства.

Доказано возникновение параболоида вращения на основе решения дифференциального уравнения движения Эйлера, учитывающего напор и давление в трубопроводе, а также возникновение центробежных сил инерции, приложенных к частицам жидкости (Калекин А.А. Основы гидравлики и технической гидромеханики. М.: Мир, 2008. 280 с.).

Рассмотрим моделирование колебаний параболоида вращающейся жидкости в системе с корректирующей жидкостью, которые находятся в одном неуравновешенном резервуаре. Будем учитывать передачу импульса движущейся жидкости от других слоёв жидкости, соседних частиц жидкости, стенок цилиндрического барабана. Также необходимо учитывать сопротивление среды (жидкости).

На рис. 1 показано пространственное изменение параболоида в двух плоскостях $z0x$ и $z0y$ и возникновение углов α и β . Соответственно, та часть жидкости, которая не входит в состав параболоида, является другой поверхностью, образованной линиями тока жидкости (касательными к векторам местных скоростей разных частиц жидкости в данный момент времени t). Образуется массивная струя обтекания подвижного параболоида вращения, постоянно меняющего свою ориентацию в пространстве. Эта струя непрерывно обтекает подвижный параболоид, фактически смешиваясь. Частицы жидкости либо остаются в струе истечения из резервуара, либо в параболоиде вращения. Соответственно изменяются скорость и ускорение частиц. Таким образом, одновременно существуют два вида движения жидкости в центробежном регуляторе, которое можно идентифицировать геометрически в виде отдельных зон, имеющих разный объём V_1 и V_2 . Причём эти зоны постоянно

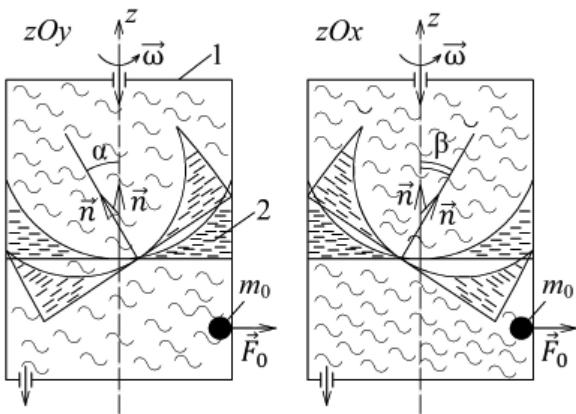


Рис. 1. Пространственное изменение параболоида вращения в плоскостях zOx и zOy :

1 – цилиндрический барабан центробежного регулятора; 2 – виртуальный параболоид вращения; α, β – углы наклона параболоида вращения к оси ротора z ; n – нормаль к поверхности параболоида; $\dot{\omega}$ – угловая скорость движения жидкости в параболоиде; m_0 – дисбалансная масса; $\vec{F}_0 = m_0 \dot{\omega}^2 \vec{r}_0$ – центробежная сила инерции

изменяют ориентацию в пространстве, перемещаются относительно друг друга и взаимосвязаны.

Рассмотрим центробежный регулятор, который постоянно работает в режимах разгона и торможения в условиях статической неуравновешенности ротора (дисбалансный груз размещается на одном уровне с центром тяжести регулятора).

Сформулируем допущения при выборе расчётной схемы:

корпус центробежного регулятора неподвижен; при рассмотрении нестационарных процессов будем считать, что скорость вращения жидкости после завершения разгона уменьшается под действием торможения привода;

дисбаланс вращающейся части не считаем постоянным, на стадии разгона дисбалансная масса жёстко закреплена на стенке барабана и при вращении воздействует на неё под влиянием сил инерции;

линия действия центробежной силы инерции, приложенной к дисбалансному массе, лежит на уровне центра тяжести подвижной части регулятора;

жидкость внутри регулятора перемещается под давлением, создаваемым в гидравлической системе. При вращении жидкости отсутствуют ограничения и препятствия внутри барабана центробежного регулятора;

период колебаний параболоидов вращения под действием динамических нагрузок считаем неизменным, так как высота размещения дисбалансной массы и высота приложения центробежной силы инерции не изменяются;

среда изотропна, т. е. обладает одинаковыми изотропными свойствами в разных направлениях; исследования проводятся на отрезке времени $0 - t_2$ (период разгона неуравновешенного ротора); ротор вращается от электродвигателя синхронного типа с регулированием частоты вращения, привод жёстко закреплён на корпусе центробежного регулятора;

центр тяжести внутренней подвижной части лежит на вертикальной оси инерции неуравновешенного ротора;

центр масс частиц жидкости определяет положение параболоида вращения;

жидкость на этапе разгона движется под действием жидкостного трения со стороны соседних слоев жидкости, которые, в свою очередь, активируются за счёт момента силы трения со стороны стенок цилиндрического барабана и дна;

в кольцевом ёлобе на этапе разгона ротора присутствует трение, коэффициент жидкостного трения зависит от скорости движения;

сопротивление среды, возникающее при движении, учитывается.

Выберем эквивалентную схему движения, с которой будем сравнивать фазы движения жидкости в центробежном регуляторе. Представим поступательное движение массивного эквивалентного параболоида, как вращающейся жидкости, относительно вертикальной оси. Эквивалентный параболоид совершает сложное поступательное движение под действием силы тяжести и центробежных сил инерции, приложенных к неуравновешенным и корректирующим массам жидкости. Так же действуют силы сопротивления среды и момент сил жидкостного трения.

Представленный на рис. 2 массивный параболоид обладает меньшим объёмом жидкости, чем рассчитанный параболоид вращения, находящийся в гидростатическом равновесии [1].

Уравнение данного параболоида запишется в виде

$$z = c_1 + \frac{\omega^2 r^2}{2g},$$

где c_1 – константа, определяющая семейство параболоидов.

Параболоид совершает поступательные движения в пространстве, описываемом углами α и β (наклона подвески в плоскостях $z0x$ и $z0y$), но в отличие от параболоида, представленного на рис. 1, ось его вращения не изменяется. Эквивалентный параболоид имеет ту же массу, что и теоретический. Поэтому плотность его жидкости превышает плотность жидкости центробежного регулятора, изображённого на рис. 1.

В каждой фазе движения центры масс обоих параболоидов (теоретического и эквивалентного)

совпадают, но имеют разную траекторию движения. Однако в каждой фазе эти траектории согласуются, описывая пространственное поступательное движение массивного параболоида под действием силы тяжести и центробежных сил инерции, имеющих составляющие \vec{F}_{ni} и \vec{F}_{ti} , которые возникают при разгоне и торможении. Далее можно моделировать движение теоретического параболоида, в каждый момент времени определять фазу его движения как совпадающую с фазами качения массивного параболоида, причём инерционные характеристики обоих параболоидов совпадают. Однако массивный параболоид представляет собой движущиеся неуравновешенные части жидкости.

Определение фаз движения массивного параболоида становится собственной задачей теоретического расчёта фаз движения искомого параболоида. Синхронизация движений в теоретической и эквивалентной схемах, в соответствии с законами перемещения твёрдого тела в пространстве в поле сил тяжести, является основой модели представления движущегося параболоида в поле центробежных сил инерции.

В динамических уравнениях движения жидкости масса рассматривается как инерционная характеристика движения. Силы, возникающие внутри, эквивалентны силам в динамической системе, представленной на рис. 1.

Рассмотрим параметрическое описание в приращениях вращения жидкости как корректирующей массы, выравнивающей положение параболоида вращения в пространстве. Запишем уравнение приращения для следующих функций: $f(r, \theta)$, где r – радиус вращения центра корректирующей массы; θ – фаза вращения, соответствующая определённой форме течения виртуального жёлоба; $g(\alpha, \beta)$, где α и β – углы наклона вращающегося параболоида к оси ротора z .

Начальные условия, соответствующие динамическому равновесию жидкости, записутся в виде:

$$\begin{aligned} &\text{при } r = r_0, \theta = \theta_0 \text{ и } t = t_0, f(r, \theta) = f(r_0, \theta_0), \\ &\text{при } \alpha = \alpha_0, \beta = \beta_0, g(\alpha, \beta) = g(\alpha_0, \beta_0). \end{aligned} \quad (1)$$

Функции f и g являются непрерывными и дифференцируемыми при $\alpha, \beta \rightarrow \min(\alpha, \beta)$: $\lim_{e \rightarrow 0} \min(\alpha, \beta) = 0$, т. е. метрика фазового пространства скалярных произведений $\bar{r}\bar{\theta}$ определяется метрикой пространства скалярных произведений $\bar{\alpha}\bar{\beta}$.

Значение функционала $\min(\alpha, \beta)$ зависит от параметра e , с увеличением которого увеличивается непрерывно и коэрцитивно значение $\min(\alpha, \beta)$, соответствующее величине e_{kp} :

$$\lim_{e \rightarrow e_{kp}} \min(\alpha, \beta) = \sqrt{\alpha_{10}^2 + \frac{\dot{\alpha}_{10}}{k^2}}.$$

В произвольный момент времени при $t = t_0 > 0$, $f(r_0, \theta_0) = g(\alpha_0, \beta_0)$ и $t = t_1 > t_0 > 0$ справедливо соотношение

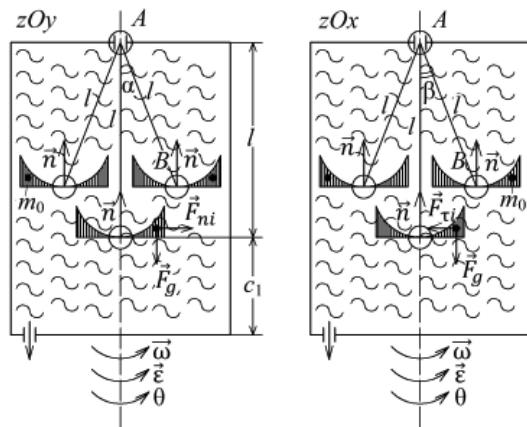


Рис. 2. Эквивалентная схема пространственного поступательного движения массивного параболоида:

\vec{F}_{ni} и \vec{F}_{ti} – нормальная и тангенциальная составляющие центробежной силы инерции, применённой к неуравновешенной массе; ε – угловое ускорение движения жидкости в параболоиде; θ – фазовая координата параболоида вращения; m_0 – эквивалентная масса; A, B – виртуальные сферические шарниры

$$\begin{aligned} f(r_0, \theta_0) + \frac{\partial f(r, \theta)}{\partial r} + \frac{\partial f(r, \theta)}{\partial \theta} = \\ = g(\alpha_0, \beta_0) + \frac{\partial g(\alpha, \beta)}{\partial \alpha} + \frac{\partial g(\alpha, \beta)}{\partial \beta}, \end{aligned} \quad (2)$$

причём $\alpha = \alpha(t)$, $\beta = \beta(t)$, $r = r(t)$, $\theta = \theta(t)$.

Таким образом, основным задающим параметром множества решений, получаемых в выражении (2), является параметр e и начальные условия (1). Метрика пространства (2) определяется метрикой функционала $\min(\alpha, \beta)$. Функция $g(\alpha, \beta)$ удовлетворяет условиям при $\alpha \leq \alpha_{kp}$, $\beta \leq \beta_{kp}$:

1. $g(\alpha, \beta) = g(t) = 0$ при $t < 0$;
2. $g(\alpha, \beta) = g(t)$ непрерывна при $t \geq 0$; $g(\alpha, \beta)$ – непрерывна; $f(r, \theta)$ – кусочно непрерывна;
3. $|g(t)| \leq M e^{\chi t}$, где M и χ – постоянные для каждой точки фазового пространства, построенного на координатах $\alpha, \beta, \dot{\alpha}, \dot{\beta}$.

Так как функции вида $f(r, \theta)$ являются функциями времени, дополнительно разложим $\frac{d\theta}{dt}$ на две составляющие. Фазовую координату θ представим в виде суммы $\theta = \theta_{jk} + \theta_{kj}$, где θ_{jk} – угловая координата, описывающая фазу жидкости как основной массы, по положению совпадающей с угловой координатой ротора; θ_{kj} – угловая координата, описывающая фазу корректирующей жидкости, которая перемещается по жёлобу при наличии колебательных движений параболоида вращения в направлении углов α и β .

Продифференцируем θ по t :

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{d(\theta_{\text{кж}} + \theta_{\text{ж}})}{dt} = \frac{d\theta_{\text{кж}}}{dt} + \frac{d\theta_{\text{ж}}}{dt}, \quad (3)$$

$$\frac{d\theta_{\text{кж}}}{dt} = \frac{\sqrt{a_1}}{\sqrt{a_2}} \operatorname{tg}(\sqrt{a_1 a_2} t + c_1); \quad (4)$$

$$\frac{d\theta_{\text{ж}}}{dt} = \frac{\sqrt{a_3}}{\sqrt{a_4}} \operatorname{th}(\sqrt{a_3 a_4} t + c_2), \quad (5)$$

где a_1, a_2, a_3, a_4 – параметры для решения вариационных задач: $\frac{d\theta_{\text{кж}}}{dt} = a_1 t + c_{1\alpha}$, $\frac{d\theta_{\text{ж}}}{dt} = a_3 t + c_{2\beta}$; $c_{1\alpha}, c_{2\beta}$ – константы.

Так как функция $\theta(t)$ непрерывна при малых α и β , то некоторую непрерывную вектор-функцию $\bar{\phi}(t)$ можно представить как сумму векторов в разложении по базису $\{\vec{e}_r, \vec{e}_{\text{ж}}, \vec{e}_{\text{кж}}\}$: $\bar{\phi} = \theta_r \vec{e}_r + \theta_{\text{ж}} \vec{e}_{\text{ж}} + \theta_{\text{кж}} \vec{e}_{\text{кж}}$.

Координата $\theta_{\text{кж}}$ характеризует изменение формы течения жидкости в виртуальном жёлобе при изменении формы жёлоба. Представленные функции первых производных подтверждают, что базис $\{\vec{e}_r, \vec{e}_{\text{ж}}, \vec{e}_{\text{кж}}\}$ является подвижным с изменением времени t , и эта подвижность регулируется метрикой $g(\alpha, \beta)$.

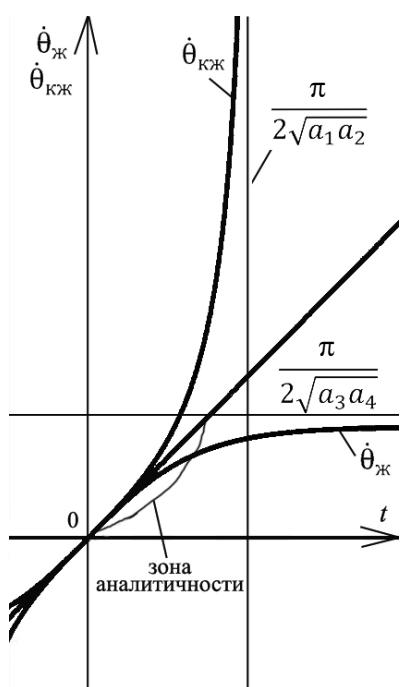


Рис. 3. Многомерная пространственная геометрия в сечении $t\dot{\theta}_{\text{кж}}$

Число линейно независимых векторов $\theta_{\text{ж}}$ и $\theta_{\text{кж}} = \theta_{\text{кж}1} + \theta_{\text{кж}2} + \dots + \theta_{\text{кж}m}$ определяет подвижный базис для произвольной функции $\theta(t)$, в котором каждый базисный вектор соответствует одному направлению изменения $\theta_{\text{ж}}$ и $\theta_{\text{кж}}$, идентифицируется (распознаётся) гармониками в разложении $c_{1\alpha}(t)$ и $c_{2\beta}(t)$, соответствующих линейным формам

$$\frac{d\theta_{\text{кж}}}{dt} = a_1 t + c_{1\alpha}(t);$$

$$\frac{d\theta_{\text{ж}}}{dt} = a_3 t + c_{2\beta}(t).$$

Таким образом, каждый новый набор гармоник разложения $c_{1\alpha}(t)$, $c_{2\beta}(t)$ соответствует определённой области аналитичности $\theta_{\text{кж}}$ и $\theta_{\text{ж}}$. Примечательно, что геометрически разложение $\theta_{\text{кж}}$ представляет собой многомерное пространство, каждое направление измерения которого соответствует отдельной гармонике $\theta_{\text{кж}}$. Причём свойства нового пространства таковы, что в классе дифференцируемых функций $C^{(1)}$ существует производная $\dot{\theta}_{\text{кж}}$ являющаяся суммой периодических функций, определённых в классе вторых производных $C^{(2)}$.

На фазовой плоскости $t\dot{\theta}_{\text{кж}}$ обнаруживается закономерность, представленная на рис. 3.

Система отсчёта $t\dot{\theta}_{\text{кж}}$ – подвижная система отсчёта с постоянно изменяющимися масштабами осей $\dot{\theta}_{\text{кж}}$. Линейная зависимость $\theta_{\text{кж}}(t)$ остаётся инвариантной. Для каждой фазы подвижной системы отсчёта $t\dot{\theta}_{\text{кж}}$ существует своя область аналитичности.

Вновь подбираемые гармоники $c_{2\beta}(t)$ имеют смысл только в этой подвижной системе отсчёта. Определение подвижного базиса соответствует определению подвижной системы отсчёта, так как все изменения отображаемые в плоскости $t\dot{\theta}_{\text{кж}}$ имеют место в форме нового множества базисных векторов.

Таким образом, в центробежных регуляторах при изменении дисбалансной массы m_0 и при её установке к внутренней стенке барабана, изменяется эксцентрикситет вращающейся системы. Эта область устойчивого движения системы изменяется в фазовом координатном пространстве, причём периодическое, механическое, неуравновешенное движение жидкости вблизи положения равновесия совпадает с симметрично вращающейся системой.

Колебательное движение жидкости в центробежном регуляторе описывается углами α и β вращающегося параболоида к оси ротора. В одной фазе движения жидкости, определяемой мгновенно, всегда можно представить устойчивый параболоид, имеющий определённый период колебаний и частоту.

УДК 663.916.23

Е.Д. Чертов, д-р техн. наук, проф., **О.А. Носов**, д-р техн. наук, проф., **М.А. Васечкин**, канд. техн. наук, доц. (Воронежская государственная технологическая академия)

mihalbob@inbox.ru

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОБЪЕКТА «СФЕРИЧЕСКАЯ ЗАСЛОНКА – ЦИЛИНДРИЧЕСКОЕ СОПЛО – НЕСУЩАЯ ГАЗОВАЯ ПРОСЛОЙКА»

Разработана математическая модель объекта «Сферическая заслонка – цилиндрическое сопло – несущая газовая прослойка», позволяющая характеризовать распределение давления газа в последней.

Ключевые слова: математическая модель, несущая газовая прослойка, дискретная подача газа, распределение давления.

Mathematical model of the object «spherical oven-door – cylindrical nozzle - carrier gas interlayering» is devised. This model makes it possible to describe of a gas pressure distribution in the carrier gas interlayering.

Key words: mathematical model, carrier gas interlayering, discrete gas discharge, pressure distribution.

В ряде отраслей промышленности возникает необходимость мягкого (щадящего) воздействия на полуфабрикат (изделие) в процессе обработки, а часто можно считать оптимальными и вовсе бесконтактные воздействия. Особо следует выделить случаи, когда обработке подвергаются вязкие химические и пищевые массы с высокой адгезионной способностью [1].

Единственным на сегодняшний день способом избежать контакта с изделием является создание под его опорной поверхностью несущей газовой прослойки, образованной за счёт истечения рабочей среды сквозь отверстия перфорации несущих поверхностей (газораспределительных решёток) технологического оборудования [2]. Распространены два типа решёток – с отдельными соплами и выполненные в виде пористых перегородок.

Первые дёшевы в изготовлении и просты в эксплуатации, однако имеют существенный недостаток: поле давления в прослойках, созданных при их использовании, чрезвычайно неоднородно, имеет многочисленные пики и провалы. В последних может наблюдаться даже отрицательное давление рабочей среды, что приводит к возникновению эффекта пневмозахвата. Возможно и прошивание легкодеформируемого полуфабриката струями газа, приводящее к неизбежным дефектам готовой продукции.

Перечисленных недостатков лишены пористые газораспределительные решётки [3]. При их использовании реализуется режим «рассеянного» запитывания прослойки (газ подаётся через множество хаотично расположенных каналов переменной формы и размеров), что приводит в конечном счёте к созданию выровненного поля давления в прослойке. Это особенно важно при

удержании на прослойке химических и пищевых масс. Пористые решётки изготавливают методами порошковой металлургии с использованием дорогостоящих материалов и технологий, что сказывается на их цене. Таким образом, область применения устройств с пористой газораспределительной решёткой в значительной степени ограничена.

Целесообразно совместить достоинства обоих типов решёток, используя «рассеянный» режим запитывания прослойки и решётки с простыми цилиндрическими соплами. Это возможно за счёт применения дискретной подачи газовой среды в прослойку с высокой частотой, реализуемой в системе (рис. 1) и включающей сферическую заслонку 1 радиусом R_c , жёстко закреплённую на коромысле 2 длиной L_k , установленном на валу электродвигателя 3, пневмокамеру с цилиндрическим соплом 4 радиусом r_0 и удерживаемое на несущей газовой прослойке изделие 5 радиусом R_u . Сферическая заслонка перемещается по окружности и проходит через «зону чувствительности» радиусом R_q . Пневмокамера оснащена перепускным клапаном (на рис. 1 не показан) с порогом срабатывания при давлении в камере, превышающем величину, необходимую для удержания изделия при полностью открытой заслонке.

Очевидно, что сфера влияет на течение газа в прослойке лишь в том случае, когда в какой-то мере перекрывает впускное отверстие сопла:

$$S_{\pi} < \pi r_0^2 ,$$

где S_{π} – пропускная площадь канала, образованного поверхностью сферы и газораспределительной решёткой, м^2 .

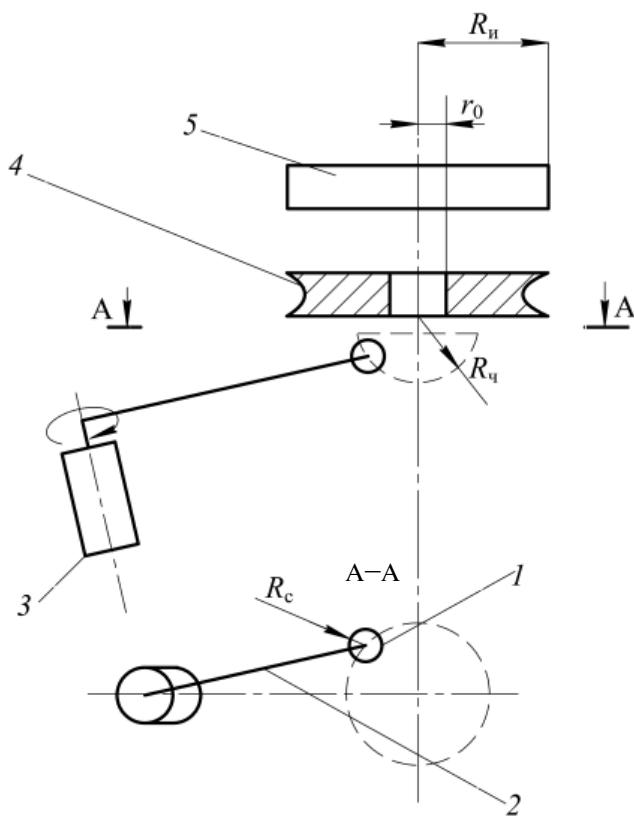


Рис. 1. Система «Сферическая заслонка – цилиндрическое сопло – несущая газовая прослойка»

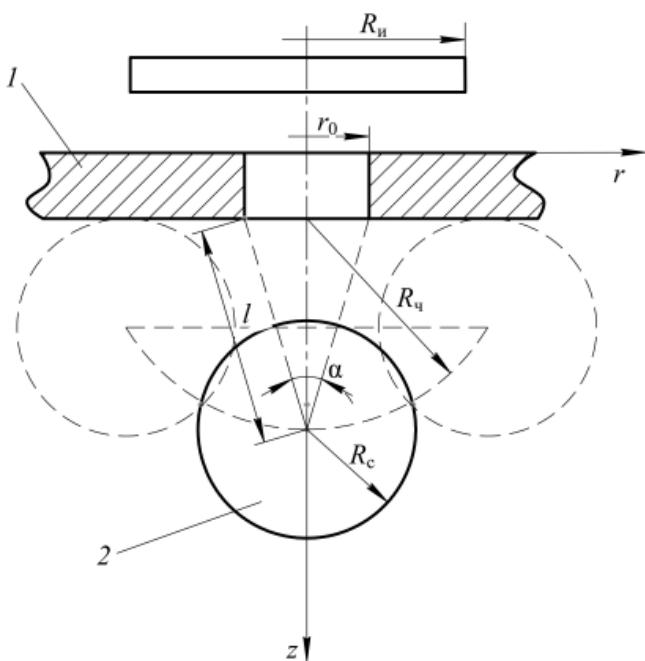


Рис. 2. «Зона чувствительности» системы «Сферическая заслонка – цилиндрическое сопло – несущая газовая прослойка»:

1 – стенка пневмокамеры; 2 – сфера

В этом случае можно говорить о некоторой «зоне чувствительности» системы (рис. 2), радиус которой легко определить по выражению

$$R_q = \frac{r_0}{\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}.$$

При пересечении центром сферической заслонки «зоны чувствительности» изменяется характер течения газовой среды сквозь сопло и через воздушную прослойку; также изменяется характер распределения давления газа вдоль оси r .

Минимальная площадь пропускного сечения (рис. 3), образованного поверхностями заслонки и решётки, определяется из выражения [4]

$$S_{\Pi} = S_k - S_{kc},$$

где S_k – площадь боковой поверхности конуса с основанием радиусом r_0 и вершиной в точке A , мм^2 ; S_{kc} – площадь боковой поверхности конуса с основанием, являющимся частью поверхности сферы, и вершиной в точке A , мм^2 .

Площадь боковой поверхности конуса с основанием радиусом r_0 и вершиной в точке A в общем случае определяется из выражения

$$S = \frac{1}{2} \int_0^{2\pi} l r_0 d\lambda,$$

где l – образующая конуса, м; r_0 – радиус основания конуса, равный радиусу цилиндрического сопла, м; λ – параметр интегрирования.

После ряда преобразований выражение для определения площади боковой поверхности конуса с основанием радиусом r_0 и вершиной в точке A , примет вид

$$S = \frac{1}{2} \int_0^{2\pi} r_0 \sqrt{z^2 + r^2 + r_0^2 + 2r r_0 \cos \lambda} d\lambda, \quad (1)$$

где z и r – координаты центра сферы по вертикали и горизонтали.

Площадь конуса с основанием, являющимся частью поверхности сферы, и вершиной в точке S , определяется из выражения

$$S_{kc} = \pi R_c^2 \sin \frac{\alpha}{2}. \quad (2)$$

С учётом уравнений (1) и (2) выражение для определения минимальной площади пропускного сечения, образованного поверхностями сферы и газораспределительной решёткой, примет вид

$$S_{\Pi} = \frac{1}{2} \int_0^{2\pi} r_0 \sqrt{z^2 + r^2 + r_0^2 + 2r r_0 \cos \lambda} d\lambda - \pi R_c^2 \sin \frac{\alpha}{2}.$$

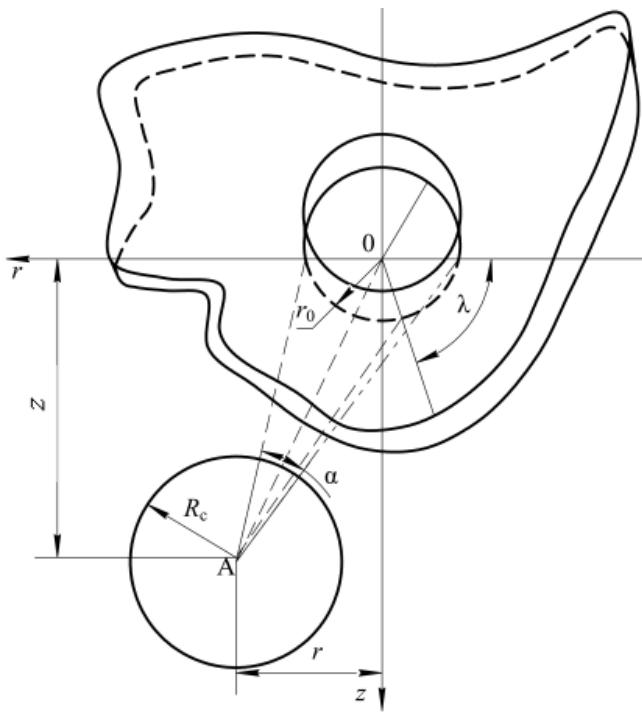


Рис. 3. К определению минимальной пропускной площади

Для определения характера распределения давления газа в несущей газовой прослойке при чередовании периодов, когда выпускное отверстие сопла перекрывается сферой, с периодами свободного истечения газа для системы, изображённой на рис. 4, воспользуемся уравнениями Навье – Стокса и неразрывности [2]:

$$\begin{cases} \rho \frac{\partial U}{\partial t} + \rho U \frac{\partial U}{\partial r} = - \frac{\partial P}{\partial r} + \mu \frac{\partial^2 U}{\partial z^2}; \\ \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{1}{r} \frac{\partial (\rho r U)}{\partial r} = 0, \end{cases} \quad (3)$$

где P – давление в воздушной прослойке, Па; μ – динамическая вязкость воздуха, Па·с; U – скорость воздуха в прослойке, м/с; ρ – плотность воздуха, кг/м³.

Для исключения неизвестного значения плотности ρ воспользуемся уравнением состояния газа:

$$\frac{P}{\rho^\chi} = \frac{P_a}{\rho_a}, \quad (4)$$

где χ – показатель политропы, для изотермического процесса $\chi = 1$; P_a – атмосферное давление, Па; ρ_a – плотность газа при атмосферном давлении, кг/м³.

Преобразуя уравнение (4), получим выражение для определения значения плотности ρ

$$\rho = \frac{P \rho_a}{P_a}. \quad (5)$$

Определим осреднённое значение скорости воздуха в прослойке:

$$\bar{U} = -\frac{c_2 h^2}{6}, \quad (6)$$

где c_2 – константа интегрирования; h – высота несущей прослойки, м.

Подставив в уравнение (3) выражения (5) и (6), получим следующую систему уравнений:

$$\begin{cases} \frac{P \rho_a}{P_a} \frac{\partial \left(-\frac{c_2 h^2}{6} \right)}{\partial t} + \frac{P \rho_a}{P_a} \left(-\frac{c_2 h^2}{6} \right) \times \\ \times \frac{\partial \left(-\frac{c_2 h^2}{6} \right)}{\partial r} = -\frac{\partial P}{\partial r}; \\ \frac{\partial \left(\frac{P \rho_a}{P_a} \right)}{\partial t} + \frac{1}{r} \frac{\partial \left(\frac{r P \rho_a}{P_a} \left(-\frac{c_2 h^2}{6} \right) \right)}{\partial r} = 0. \end{cases} \quad (7)$$

После ряда преобразований системы (7) получим выражение, характеризующее распределение поля давления в прослойке:

$$\frac{\partial P}{\partial t} - P \left(\frac{\rho_a}{P_a} \left(\frac{Q_{cp}}{2\pi r h^2} \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{Q_{cp}^2}{4h^2\pi^2 r^3} \right) \frac{Q_{cp}^2}{2\pi r h} \right) = 0.$$

Данная зависимость может быть использована для определения качественных и количественных характеристик распределения давления газа в несущей газовой прослойке, образованной поверхностями изделия и газораспределительной решёткой, при его дискретной подаче.

Библиографические ссылки

1. **Реология пищевых материалов** / К.П. Гуськов, Ю.А. Мачихин, С.А. Мачихин, Л.Н. Лунин. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1970. 257 с.
2. **Битюков В.К., Колодежнов В.Н., Кущев Б.И.** Пневматические конвейеры. Воронеж: Изд-во ВГУ, 1984. 164 с.
3. **Белов С.В.** Пористые материалы в машиностроении. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1981. 247 с.
4. **Носов О.А., Павловский М.Ю., Хабарова Н.В.** Математическая модель объекта «сферическая заслонка – цилиндрическое сопло» // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ–19: Сб. тр. XIX Междунар. науч. конф. В 10 т. Т. 10. Секция 11 / Под общ. ред. В.С. Балакирева. Воронеж. гос. технол. акад., 2006. 250 с.

УДК 658.012.011.56

А.В. Сироткин, канд. техн. наук, доц. (Северо-Восточный государственный университет,
г. Магадан)

andrew_sirotkin@mail.ru

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРЕДПРОЕКТНОГО АНАЛИЗА ИНФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ

Рассмотрены вопросы предпроектного анализа информационных процессов при разработке автоматизированных систем управления. Актуальность исследования обосновывается соображениями эффективности этих систем. Предложена методика предпроектного исследования, включающая в себя анализ информационных потоков реальной системы и моделирование процессов оптимального обслуживания. Разработаны и апробированы программы, реализующие данную методику.

Ключевые слова: информационное обслуживание, передача данных, информационные процессы, анализ потоков, процессы управления, средства анализа.

Predesigned analysis questions are considered when automatic control systems development. Research actuality is based on the consideration of this systems efficiency. Predesigned research methodology is proposed includes of a real system informational flow analysis and optimum maintenance processes modeling. Implement programs of this methodology are devised.

Key words: informational maintenance, date transmission, informational processes, flow analysis, control processes, analysis means.

Интенсификация процессов управления в современном обществе требует применения новых организационных и технических средств для достижения необходимого качества информационного обеспечения. Одним из таких средств является автоматизация взаимодействия компонентов систем управления в течение всего процесса информационного обмена, включая выполнение запросов на информационное обслуживание централизованными источниками данных.

Создание автоматизированных информационных систем (АИС), играющих роль обеспечивающих подсистем в автоматизированных системах управления (АСУ), производится в соответствии с принятыми моделями жизненного цикла, одним из этапов которого является предпроектный анализ. На этом этапе анализируют требования к функциональным возможностям и архитектуре создаваемой системы, которые в дальнейшем являются исходными критериями для непосредственного проектирования технических и программных средств комплекса. На последующих этапах проектирования и реализации сформированные требования реализуются с помощью компьютерных программ с использованием средств аппаратного обеспечения, которые обычно представляют собой типовые технические решения автоматизации.

Существующая практика проектирования и выбора технических средств не всегда учитывает особенности эксплуатации создаваемого комплекса, в частности иногда не анализируется воз-

можность возникновения и влияния дефицита ресурсов обслуживания в системах с выделенным источником данных. Это может быть, например, следствием междисциплинарного разрыва между проектированием функционально-структурной архитектуры информационной системы и созданием программно-технических средств формирования и передачи данных. Более того, в современной методологии недостаточно развиты средства анализа иерархического влияния обеспечивающих подсистем передачи данных на эффективность информационного обмена и, вследствие этого, на эффективность АСУ. Поэтому разработка средств, обеспечивающих подобный анализ, достаточно актуальна.

Простые примеры из производственной практики, когда приобретённая и внедрённая система автоматизации не обеспечивает требуемого качества работы в результате её низкой производительности, наглядно иллюстрируют, к чему приводят отсутствие анализа эксплуатационных характеристик автоматизированной системы и, в частности, информационной инфраструктуры на предпроектном этапе. Основной причиной низкой производительности являются задержки обслуживания, возникающие в централизованных инфраструктурах с выделенным источником данных, относящихся к классу систем массового обслуживания. Избежать возникновения проблемы позволяет наличие методики, средств и опыта исследования информационных процессов при проведении предпроектных работ.

Исправить это положение интенсивным наращиванием мощностей аппаратной части уже работающей системы удаётся редко, поскольку при этом не анализируются и не регулируются порядок возникающих очередей информационного обслуживания и характер их влияния на эффективность системы.

Для того чтобы исправить описанное положение необходим тщательный предпроектный анализ всех эксплуатационных характеристик системы, включая скорость обслуживания запросов и передачи данных, характеризующих информационный обмен в системе. Отметим, что в настоящее время рынок программных средств не предлагает достаточно широкой номенклатуры унифицированных изделий для решения подобной задачи, а отсутствие универсальной методики анализа и формализации параметров информационного взаимодействия вынуждает разработчиков проводить исследования в этом направлении.

В современных разработках формализация информационного взаимодействия в АСУ не определена как инструмент исследования информационных процессов. Работы в этой области находятся в стадии научных исследований, при этом наблюдается большое разнообразие методов и подходов к анализу и описанию характеристик информационного обслуживания [1–2], а также критериев, используемых для оптимизации процессов передачи данных [3–4]. Системы передачи данных рассматриваются как конечный объект, без учёта того, что каждая из них, по сути, является обеспечивающей подсистемой некоторой АСУ. В соответствии с этим управление процессами обслуживания производится без учёта эксплуатационных характеристик системы и не является обоснованным с точки зрения её эффективности.

Для обеспечения максимальной эффективности информационных процессов в системе управления следует прежде всего учитывать конечные характеристики системы, т. е. эффективность системы управления, для которой информационная система выступает в качестве обеспечивающей подсистемы. В силу этого при анализе эксплуатационных характеристик подсистемы передачи данных целесообразно учитывать те параметры информационных процессов, которые непосредственно влияют на эффективность системы. Проведение оптимизации процессов или информационного реинжиниринга на предпроектном этапе сопряжено как со сбором информации о текущем состоянии системы, так и с проведением экспериментальных исследований, связанных с изменением очерёдности обслуживания клиентов источниками данных и подбором наилучшего варианта. При проведении таких иссле-

дований следует руководствоваться двумя положениями:

не всегда возможно и эффективно проведение экспериментальных исследований на реальном производственном объекте, вмешательство в состояние которого может повлиять на его работу и вызвать неоправданные затраты;

проведение анализа без применения автоматизированных средств обработки и визуализации, ускоряющих получение результатов и снижающих затраты на исследования, неэффективно.

Согласно сформулированным положениям актуальна задача разработки автоматизированных средств, предназначенных для анализа процессов информационного взаимодействия на предпроектном этапе жизненного цикла системы управления. Наиболее актуальные разработки в этой области направлены на моделирование процессов управления, например, с использованием технологий *CASE (Computer Aided Software Engineering)* [5–6] без анализа работы обеспечивающих информационных подсистем и исследования инфраструктуры передачи данных. Между тем именно отсутствие анализа нагрузки на информационную инфраструктуру или её компоненты может явиться причиной возникновения описанных выше проблем, что требует не только разработки соответствующей методологии и математической базы, но и автоматизации процессов исследования. Для решения этих задач на предпроектном этапе предлагается использовать автоматизированные средства анализа и моделирования информационных процессов.

Специфика процессов взаимодействия в АИС обуславливает два направления исследований:

разработку средств анализа и мониторинга информационных потоков в однородной широковещательной инфраструктуре;

разработку модели для формализации и исследования процедур информационного взаимодействия с целью выработки критериев управления обслуживанием в системах с выделенным источником данных.

Концепция подобных исследований, основанная на иерархической связи уровней обеспечения управления (данные → информация → управление), предусматривает оптимизацию подсистемы передачи данных для повышения эффективности АСУ путём регулирования информационных потоков в процессах обслуживания [7]. Формализация информационных процессов позволяет определить между субъектами системы направленные потоки данных, для регулирования которых используются критерии, описывающие состояние системы управления. С этой целью потоки рассматриваются в виде процедурно-дискретных информационных объектов, диф-

ференцированных по уровню воздействия на систему.

Решение задачи формализации процессов информационного взаимодействия в реальной производственной системе значительно затруднено. Несмотря на функциональное структурное описание системы и количественное описание объёмов передаваемых данных, сформулированные в результате предпроектного анализа, предсказать эксплуатационные характеристики информационной системы, имеющей характер приоритетной системы массового обслуживания (СМО), можно только с использованием теории вероятности, а выполнить превентивное описание состояния очередей обслуживания, задержек, размеров информационных фрагментов формируемых потоков и прочего весьма сложно. Тем не менее автоматизация документооборота предприятий приводит к тому, что процессы управления становятся повторяющимися, в определённой степени интегрированными и документированными. В основе информационного обеспечения лежат общие классификаторы, формализация формата данных и документов в целом, используемых для взаимодействия, что позволяет осуществить декомпозицию потоков на объектно-ориентированные процедуры обслуживания. Дополнение подобной формализации исследованиями реальных процессов обслуживания даёт возможность провести полноценный анализ информационного взаимодействия и сформировать модель действующей АИС.

Эффективность работы СМО следует определять с помощью критериев управления, для выработки и численной оценки которых предлагается методология исследований, включающая в себя последовательные этапы:

анализ потоков данных, их формальных параметров в работающей информационной инфраструктуре в реальном режиме времени путём мониторинга процессов обслуживания;

моделирование и проведение экспериментов по управлению процессами взаимодействия в информационной системе на основе параметров, полученных в результате анализа.

Для автоматизации данных этапов был разработан программный комплекс, включающий в себя следующие модули:

программу *InfoPainter* для анализа и визуализации информационных потоков в среде *Ethernet 802.3*;

программу *PMODII* (*Priority Model of Optimization of Information Interaction*) для моделирования взаимодействия в инфраструктуре АИС с выделенным источником данных.

Программа *InfoPainter* предназначена для предпроектного анализа информационного обслуживания в инфраструктуре реально работающей

системы. Информационные потоки формируются из последовательностей кадров данных *Ethernet 802.3*, имеющих определённую направленность «источник–получатель», поступающих на сетевой интерфейс сервера, содержащего установленную и работающую программу. Источник и получатель данных идентифицируются по адресам соответствующих сетевых интерфейсов субъектов. Регистрируется время получения каждого захваченного кадра, рассчитываются параметры информационных потоков.

В качестве параметров потоков выбраны плотность и концентрация, формализованные в работе [8]. Плотность r_i информационного потока, сформированного в среде *Ethernet*, рассчитывается как отношение объёма W_i данных, переданных по выбранной связи «источник–получатель», зарегистрированного за время t , к «объёму канала», определяемому произведением ширины q полосы пропускания канала на время t :

$$r_i(t) = \frac{W_i}{q t}; W_i = \sum_{j=1}^n w_{ji}; t \in [0, T], \quad (1)$$

где T – предельное время регистрации кадров захватываемого потока; n – число зарегистрированных кадров i -го потока за время t ; w_{ij} – объём j -го захваченного кадра i -го анализируемого потока.

Плотность информационного потока характеризует загрузку (занятость) канала анализируемым потоком, что позволяет исследователю получить представление о состоянии ресурсов, используемых для его передачи, а также о динамике обслуживания конкретного субъекта системы, что может служить основанием для принятия решения об изменении соответствующих приоритетов взаимодействия.

Концентрация информационного потока характеризует содержание данных исследуемого потока в композитном сетевом трафике. Концентрация d_i i -го потока рассчитывается как отношение объёма данных W_i , зарегистрированного за время t , к общему объёму W_Σ :

$$d_i(t) = \frac{W_i}{W_\Sigma}; W_\Sigma = \sum_{j=1}^m w_j, \quad (2)$$

где m – общее число зарегистрированных кадров за время t ; w_j – объём j -го произвольно захваченного кадра сетевого трафика.

Возможности программы по отображению результатов анализа предусматривают визуализацию зависимостей параметров исследуемых потоков. Подобное средство позволяет не только регистрировать параметры взаимодействия для их

дальнейшего анализа, но и проводить мониторинг реального состояния подсистемы с целью формирования адекватного представления о ходе обслуживания и принятия оперативных решений для управления им.

Параметры из выражений (1) и (2) можно изобразить в виде функций $r(m)$ и $d(m)$. Выбранное в качестве аргумента функции число переданных кадров m уплотняет график, исключает разрастание области изображения, не сопоставимой с масштабами графика, отображает только значимые участки наблюдения.

Состояние канала контролируется визуальным представлением композитного сетевого трафика. Для его отображения выбран параметр скорости передачи данных V , рассчитываемый как отношение размера захваченного кадра L к времени его поступления ΔT :

$$V_i = \frac{L_i}{\Delta T_i}; \quad \Delta T_i = T_i - T_{i-1}; \quad i = \overline{1, m}.$$

График отображается в базовом окне программы *InfoPainter* в системе координат $V(m)$ соответственно с графиками плотности и концентрации (рис. 1), что позволяет оператору осуществлять

мониторинг состояния системы и управлять потоками. Зарегистрированные характеристики информационных потоков используются для анализа процедур взаимодействия, на основе которых в дальнейшем формируется модель процессов обслуживания в АИС, применяемая для их оптимизации. Моделирование приоритетной оптимизации дискретных процессов информационного обслуживания в инфраструктуре АСУ производится с использованием программы *PModII*.

В качестве модели задаётся система процедур информационного обслуживания, формализующая работу источника (сервера) по формированию и передаче данных, подключённого к широковещательной среде, например *Ethernet* 802.3 [9]. Все процессы информационного взаимодействия подвергаются декомпозиции до уровня процедур передачи $p \in P$ множества P семантически formalizованных объектов между субъектами системы, в качестве которых выступают автоматизированные рабочие места ответственных исполнителей. Управление обслуживанием осуществляется на основе приоритетов, формируемых в результате анализа аргументов оптимизирующей функции, таких как ранг субъекта и объекта (фрагмента данных) информационного взаимодействия. Оба ранга образуют ранг процедуры обслуживания.

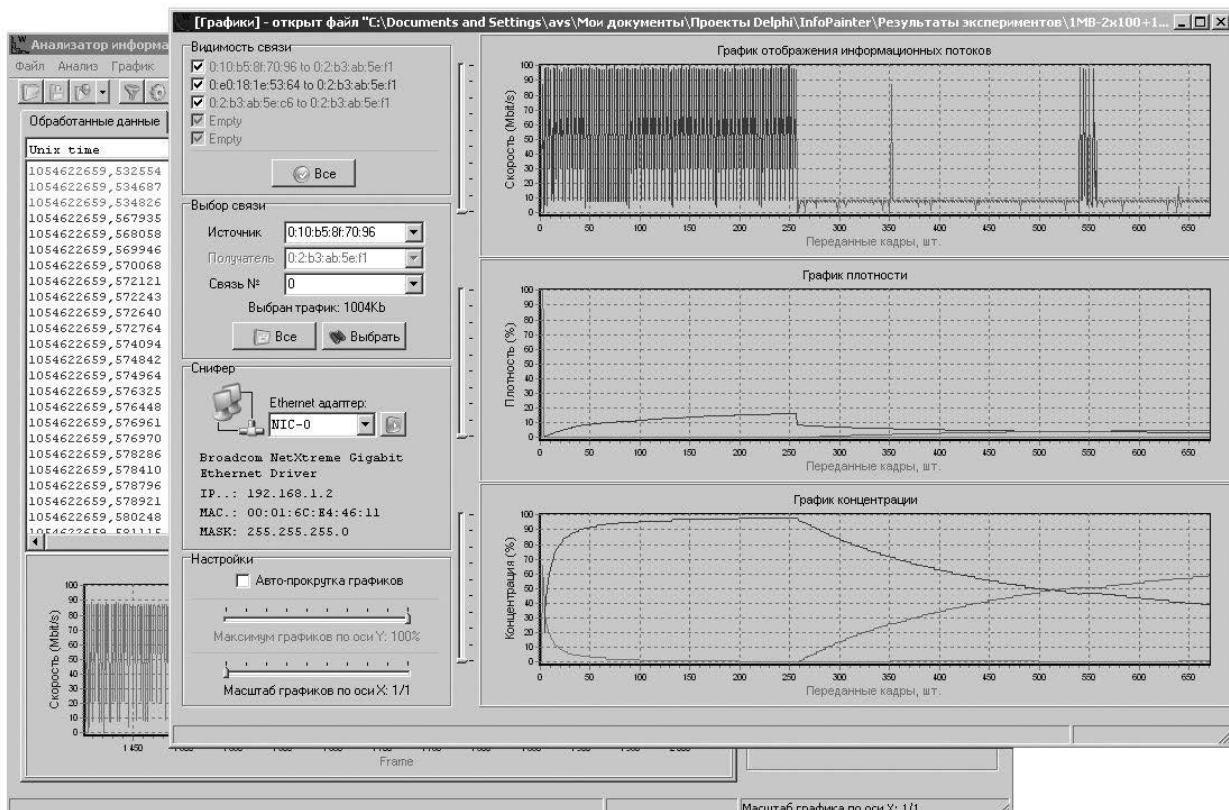


Рис. 1. Вид основных окон программы *InfoPainter*

Оптимизация моделируется на основе дискретного характера передачи данных в среде *Ethernet* с учётом приоритетного обслуживания. Анализ очереди обслуживания и выбор соответствующей процедуры p_{ij} : $i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m$, где n и m – число субъектов и объектов соответственно, проводится после «передачи» каждого *Ethernet*-кадра данных. Процедура выбирается на основе анализа оптимизирующей функции, учитывающей ранги субъекта и объекта, в совокупности составляющие приоритет обслуживания, и накопленную задержку для каждой процедуры.

Для расчёта модели анализируют следующие параметры:

требуемое время T_{ij} начала выполнения процедуры p_{ij} ;

объём W_{ij} соответствующей процедуры p_{ij} , определяемый объёмом S_i передаваемого q_i -го информационного объекта в байтах.

Объем W_{ji}^* в кадрах можно определить из выражения

$$W_{ji}^* = \left\lceil \frac{S_i}{W} \right\rceil + 1; \quad i = \overline{1, n}; \quad j = \overline{1, m}; \quad p_{ij} = 1,$$

где W – фиксированный объём датаграммы кадра *Ethernet*, например 1500 байт; n – число объектов, участвующих в полном процессе взаимодействия; m – число субъектов.

Накопленную задержку σ_{ij} выполнения процедуры p_{ij} определяем из выражения

$$\sigma_{ij} = \sum_{y=1}^M \sigma_{ij}^{(y)},$$

где $\sigma_{ij}^{(y)}$ – абсолютная задержка передачи y -го кадра; M – число кадров, необходимых для инкапсуляции объекта процедуры p_{ij} .

Задержка σ_{ij} сформирована с учётом ожидания выполнения совпадающих по времени процедур, для которых

$$T_{kl} \leq T_{ij}, \quad (k, l) \neq (i, j), \quad k, l \in Q; \quad l, j \in S,$$

где T_{kl} – время начала произвольной процедуры обслуживания, не совпадающей с анализируемой; T_{ij} – время начала анализируемой процедуры, для которой рассчитывается задержка; Q – множество всех информационных объектов; S – множество всех субъектов управления; k, l – индексы объектов, идентифицирующие их на множестве Q ; i, j – индексы субъектов, идентифицирующие их на множестве S .

Кадровая дискретизация передачи данных в *Ethernet* 802.3 формирует представление о процедуре как о последовательности кадров относящихся к ней данных. Функция выполнения операции передачи кадра p^* соответствующей процедуры $p \in P$ вычисляется как

$$f(p_{ij}^*) = \sum_{\substack{s \in S, q \in Q \\ (s, q) \neq (i, j)}} (\sigma_{sq}^* + d_{sq} p_{sq}).$$

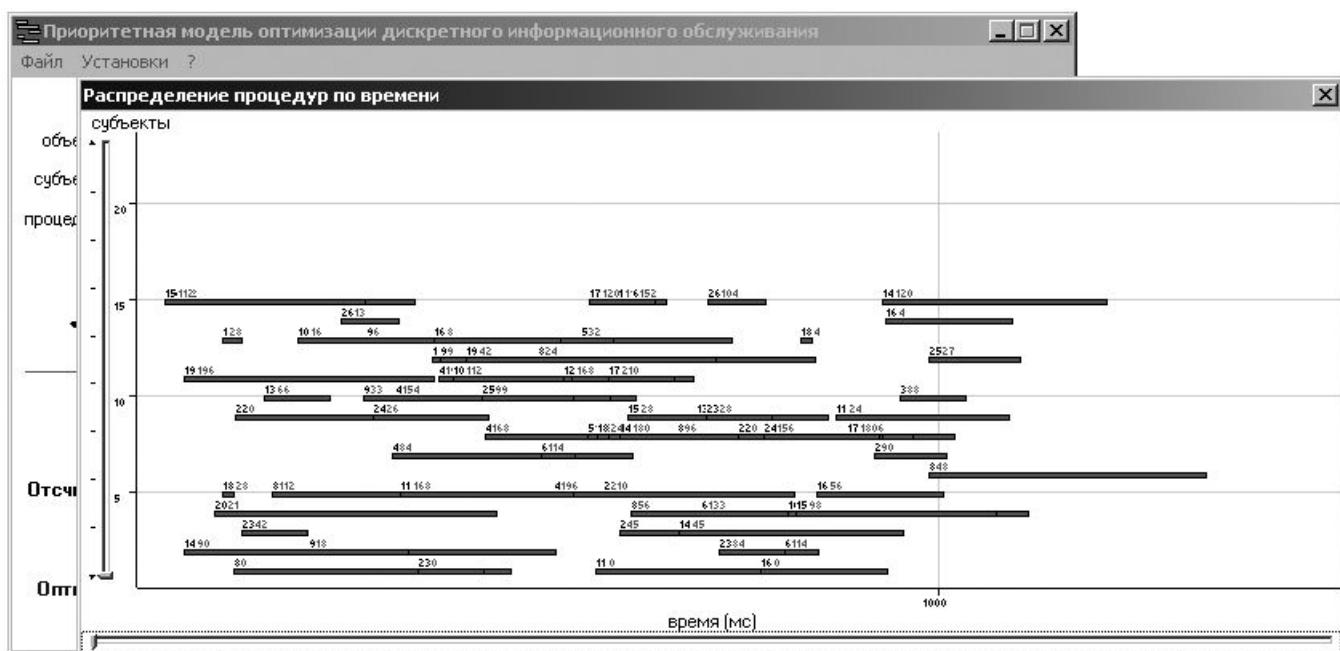


Рис. 2. Вид основных окон программы *PMODII*

Нормированная задержка обслуживания для процедуры p_{ij} определяется из выражения

$$\sigma_{ij}^* = f(\sigma) = \frac{\sigma_{ij}}{\sigma_F} d_{ij} p_{ij}, i \in Q; j \in S,$$

где σ_F – фиксированная задержка обслуживания, специфицированная временем передачи кадра *Ethernet*.

Для принятия решения о выборе той или иной процедуры к обслуживанию рассчитывается условие оптимизации как $(k, l) = \operatorname{Arg} \min f(p_{ij}^*)$, заключающееся в поиске индексов такой процедуры, при передаче кадра данных которой суммарная влияющая задержка σ_{kl} будет минимальной по сравнению с остальными, удовлетворяющими условию $(k, l) \neq (i, j)$.

После создания модели производится её оптимизация в соответствии с заранее выбранным критерием. В качестве такового могут быть использованы: параметр минимальной задержки, максимальный или минимальный ранги процедур, имеющих совпадающее время начала в пределах полного времени процесса, и пр. Ход оптимизации отражается соответствующими индикаторами в окне программы (рис. 2). Дальнейшие исследования предусматривают изменения рангов субъектов и объектов в установленных пределах, времени начала процедур, общего времени взаимодействия и пр. В результате исследования модели подбирают такие параметры процедур, которые позволяют обеспечить минимальные задержки обслуживания для процедур с наибольшими приоритетами (рангами). Полученная параметрическая карта процедур используется для формирования критерии управления трафиком *QoS* (*Quality of Service*) или иных критериев, устанавливающих приоритеты передачи данных в мультисервисных сетях.

Применение разработанных средств автоматизации с использованием предлагаемой методики позволит реализовать системный подход к выработке критериев управления потоками данных в однородной инфраструктуре информационной системы на предпроектном этапе. Программы могут использоваться как в комплексе, так и отдельно для мониторинга и прогнозирования работы системы. Параметры управления, выработанные с помощью данного комплекса средств, могут быть применены для формирования поли-

тиков информационного обмена в корпоративных информационных системах, основанных, например, на программно-аппаратных комплексах *Avaya Cajun Rules Policy Manager* или аналогичных, использующих технологию *QoS* для регулирования потоков данных в системах массового обслуживания. Возможно применение программы *InfoPainter* для мониторинга потоков в иных широковещательных средах, основанных на спецификации *IEEE 802.x*, с использованием соответствующих драйверов сетевых устройств.

Библиографические ссылки

1. **Вишневский В.М.** Теоретические основы проектирования компьютерных сетей. М.: Техносфера. 2003. 512 с.
2. **Денисов А.А., Колесников Д.Н.** Теория больших систем управления: Учеб. пос. для вузов. Л.: Энергоиздат, Ленингр. отд-е. 1982. 288 с.
3. **Павловская В.Ф.** Исследование эффективности приоритетного обслуживания заявок в системе управления сетью связи: Дис. ... канд. техн. наук. Новосибирск: СибГУТИ, 2005. 162 с.
4. **Ледовских Т.В.** Дискретная система массового обслуживания с групповым потоком фазового типа и пороговым управлением // Вестник РУДН. Сер. «Прикладная математика и информатика». 2002. № 1. С. 107–118.
5. **Прохоров И.В., Смирнов Г.Г., Шелястина Е.В.** Автоматизация процесса предпроектного обследования при построении корпоративных информационных систем [Электронный ресурс] // Сервер электронной библиотеки МИФИ. 2005. URL: <http://library.mephi.ru/data/scientific-sessions/2001/13/2160.html> (дата обращения 25.09.2009).
6. **Федоров Н.В.** Проектирование информационных систем на основе современных CASE-технологий. 2-е изд., стер. М.: МГИУ, 2008. 278 с.
7. **Баран Е.Д., Белова Т.В., Гребенникова Р.В. и др.** Информационные технологии: особенности применения и приоритетные направления развития. Новосибирск: ЦРНС – Изд-во «Сибпринт», 2008. 179 с.
8. **Сироткин А.В.** Исследование информационных потоков в инфраструктуре автоматизированных информационных систем. Ростов-на-Дону: СКНЦ ВШ АПСН. 2006. 155 с.
9. **Сироткин А.В., Старикова О.А.** Приоритетная модель оптимизации дискретного информационного взаимодействия по целевому критерию задержки обслуживания [Электронный ресурс] // Интернет-конф. по проблемам теории и практики управления. 2009. URL: http://ubs.mtas.ru/bitrix/components/bitrix/forum.interface/show_file.php?fid=1231 (дата обращения 25.09.2009).

УДК 629.78.05

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

nilit1@rambler.ru

РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОБЛЕМНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Рассмотрен разработанный комплекс, позволяющий оценить стойкость микросхем к статическим и импульсным видам радиации в процессе проектирования.

Ключевые слова: программное обеспечение, радиационное воздействие, автоматизация проектирования, электронная компонентная база.

Developed complex is considered, which makes it possible to evaluate microchips firmness over the pulse type radiation during designing.

Key words: software, radiation influence, designing automation, electronic component data base.

Введение. Для моделирования радиационных и электромагнитных эффектов разработан пакет программ ПРАД [1–3], учитывающий требования комплекса государственных стандартов (КГС) «Климат-7» в части характеристик воздействия специальных внешних факторов. Пакет программ позволяет прогнозировать показатели радиационной стойкости и параметрической надёжности в различных режимах эксплуатации, а также анализировать работоспособность большой интегральной схемы (БИС) для повышения стойкости.

С помощью данного пакета рассчитываются процессы, связанные с перераспределением тепла, неоднородным расширением и последующей деформацией материалов вследствие их нагрева, в том числе от радиационного воздействия. Определяется деградация электропараметров БИС при воздействии статических видов ионизационного излучения (ИИ). Рассматривается изменение параметров, как от естественного старения, так и от радиации, при этом учитывается мощность дозы, температура среды и режим работы БИС. Рассчитываются показатели стойкости цифровых комплементарных (КМОП) БИС при воздействии импульсного радиационного и электромагнитного излучения.

Структура комплекса, представленная на рис. 1, состоит из трёх модулей, управление которыми осуществляется с помощью базовой программы управления [1–3]. Информационное обеспечение представлено системой управления данными и банком данных (входных и выходных). Для формирования входных данных используется язык БИМОД [1]. Интеграция разработанной подсистемы в структуре САПР осуществляется через систему управления, библиотеку данных и процедуры. Разработанный комплекс подготавливает данные, необходимые для моделирования на схе-

мотехническом и функционально-логическом уровнях, например, параметры модели транзисторов, время задержек и т. п. Данный подход обеспечивает единство: расчёт, управление начальными и рассчитанными значениями и взаимодействием с другими программными средствами САПР. Кроме того, каждый из трёх модулей может работать автономно. Рассмотрим работу модулей более подробно.

Для расчёта тепловых и термомеханических эффектов в изделиях электронной техники и блоках разработан программный модуль IRBIC расчёта влияния радиации на структуру интегральных элементов.

Модуль состоит из основной программы IRBIC, в которой формируются начальные данные и проводится расчёт, а также модулей вывода OUT и поиска рассчитанных значений POISK.

Расчёт осуществляется для сечений элементов в четырёх режимах: одномерная и двумерная модель, перераспределение тепла, общий режим, включающий в себя все режимы. Стойкость изделия оценивается по двум уровням: пороговому и предельному. Структура программы изображена на рис. 2.

Для расчёта ионизационных эффектов при радиационном и электромагнитном воздействии разработан комплекс программ, состоящий из программы PRICIR, которая формирует начальные данные, систему уравнений и выходную информацию (кроме того, с её помощью определяются параметры макромоделирования). Блок MD_ION производит расчёт мощности дозы и ионизационного тока, а также её величину в зависимости от параметров электромагнитного импульса. Блок TRANZ формирует начальные данные, систему уравнений и выходную информацию, а также осуществляет расчёт переходного процесса. Блок

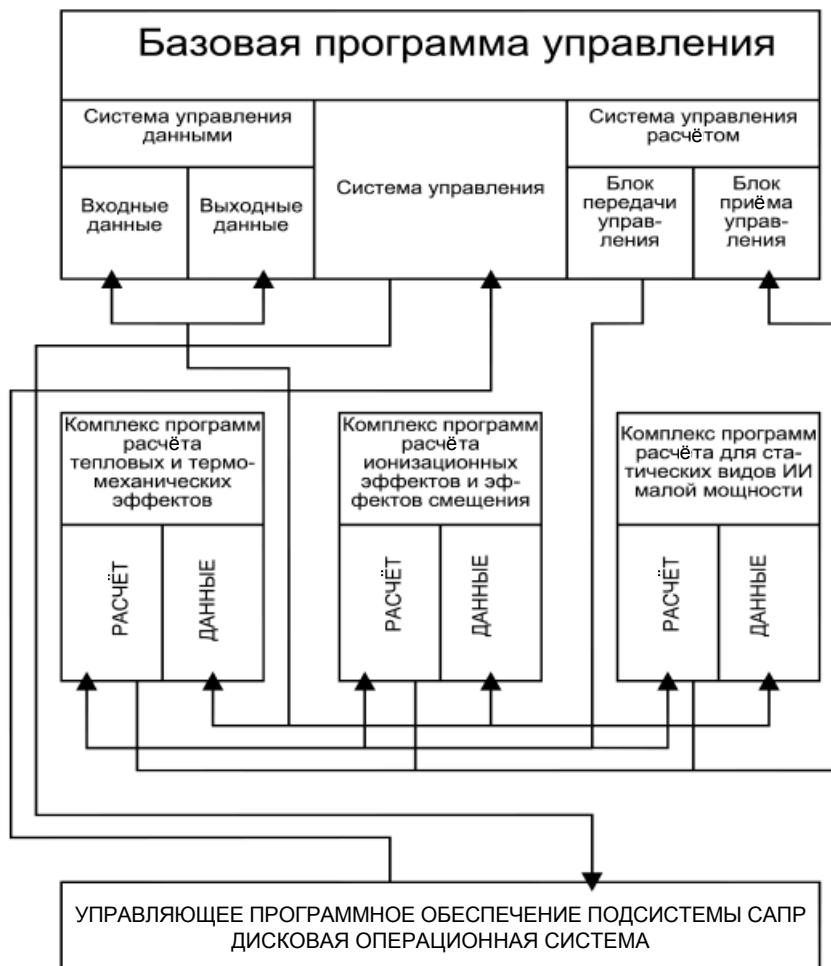


Рис. 1. Взаимодействие программ расчёта показателей стойкости и надёжности

REAK определяет реакцию микро- и макроэлемента, а блок OUT реализует вывод рассчитанных значений и программы поиска POISK (рис. 3).

Данный комплекс программ позволяет моделировать реакцию специализированных БИС на импульсное ИИ.

Автономное применение комплекса позволяет определить изменение критериального параметра в зависимости от времени при воздействии импульсного излучения. Расчёт проводится в двух режимах: статическом и динамическом.

Электромагнитный импульс моделируется по оригинальной модели, основу которой составляет определение величины ионизационных токов в зависимости от напряжённости магнитного и электрического поля, учитывающей не только параметры активных элементов микросхемы, но и влияние длины металлизации и выводов внутри БИС.

Для определения временной потери работоспособности (ВПР) рассчитывается переходная характеристика критериального параметра для заданной мощности излучения с указанием вре-

мени, в течение которого параметр находится за пределами норм ТУ.

Уровень бессбойной работы (УБР) определяется аналогично ВПР на первом этапе. Затем варьируется мощность дозы, для которой определяется переходная характеристика. Величина мощности дозы, для которой изменение параметра укладывается в норму ТУ с заданной погрешностью, определяется как УРБ.

Для моделирования работоспособности БИС в условиях воздействия статических видов ИИ (с учётом низкой интенсивности), а также определения минимальной наработки и предельной дозы отказа разработан программный комплекс RAPNIS (расчёт показателей надёжности и стойкости).

При работе в составе САПР данный комплекс программ рассчитывает параметры, необходимые для определения стойкости изделия. При работе в автономном режиме он прогнозирует изменение среднего значения и среднеквадратичного отклонения показателя — критерия пригодности ИС или блока в зависимости от времени или дозы воздействия излучения.

Комплекс прикладных программ IRBIC

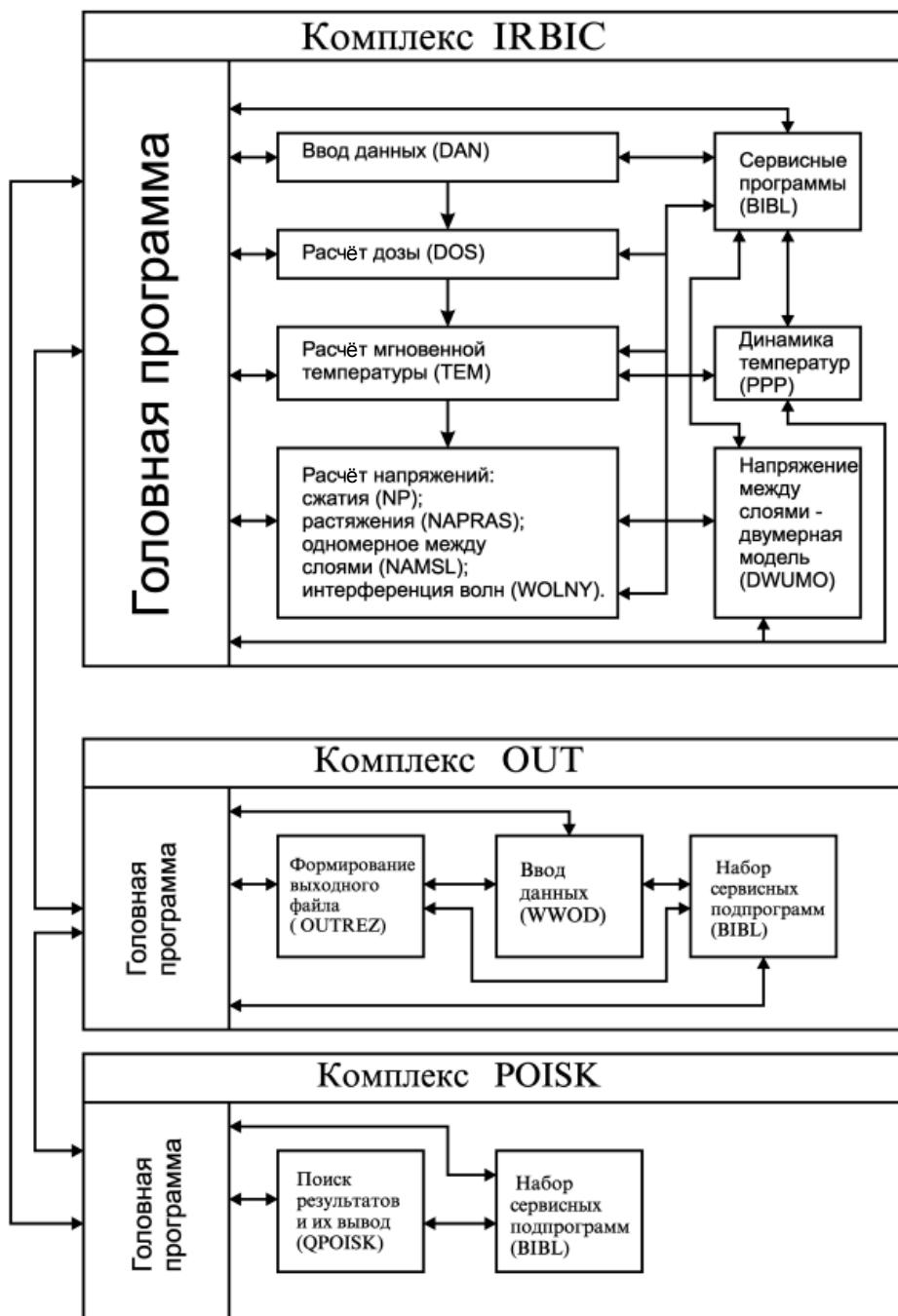


Рис. 2. Структура программ расчёта тепловых и термомеханических эффектов

Структура комплекса программ приведена на рис. 4. Программный комплекс работает в двух режимах: оперативном с более быстрым расчётом без использования БД результатов испытаний микросхем по упрощённым формулам и точном с использованием БД. Следует отметить, что предусмотрен и смешанный режим расчёта, когда в БД присутствует только часть данных.

Заключение. Таким образом, применение данного комплекса программ в составе подсистемы САПР позволило определить все необходимые характеристики для прогнозирования стойкости и надёжности специализированной элементной базы. К таким характеристикам относятся значения электропараметров компонентов от времени и дозы, величина коэффициента усиления компонентов и нагружочная способность компонентов.

Комплекс прикладных программ PRICIR

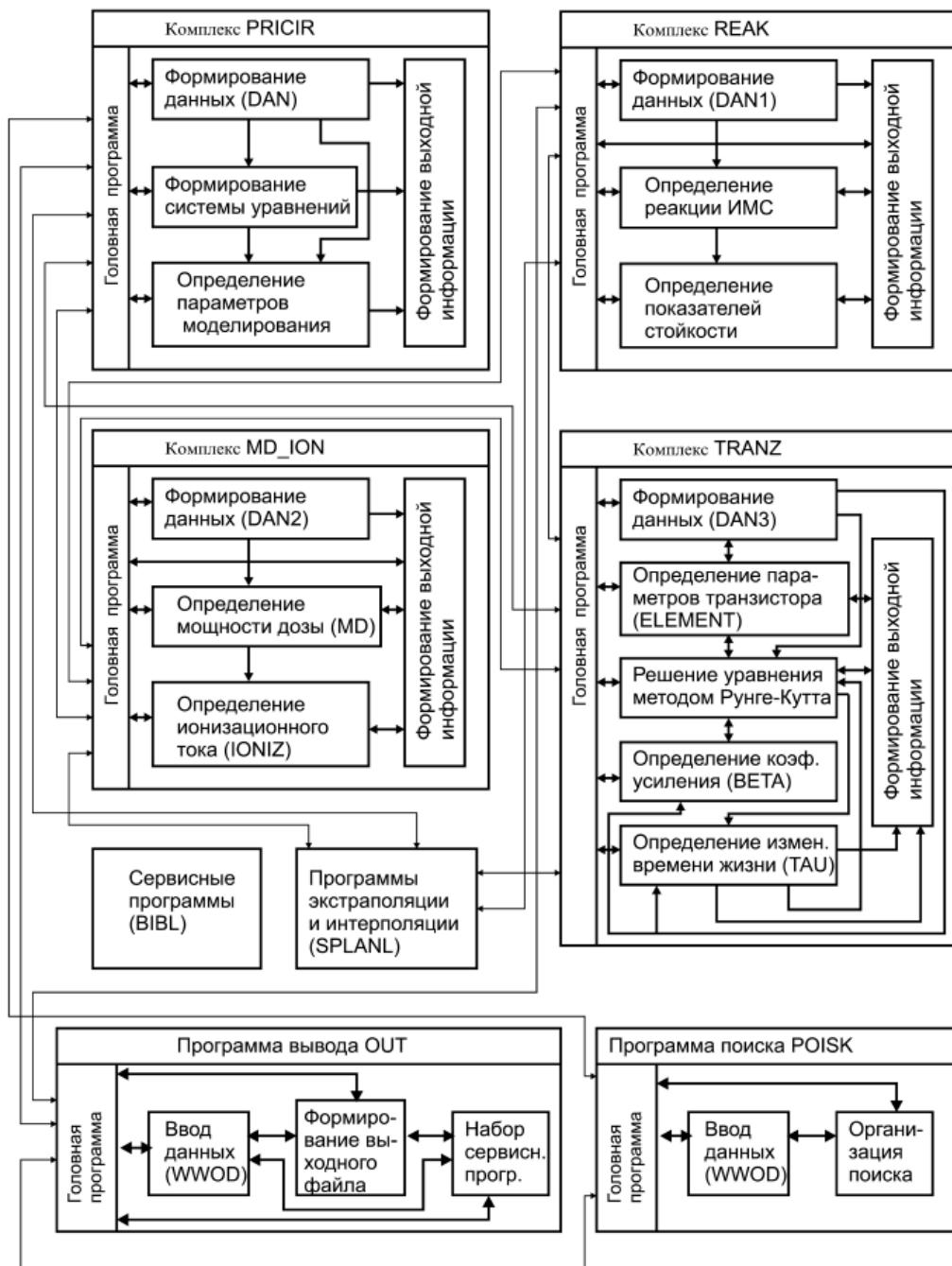


Рис. 3. Структура комплекса программ PRICIR

Автономное применение данного комплекса определяет основные показатели стойкости и надёжности ИС: предельную дозу отказа, минимальный гамма-процентный ресурс, средний ресурс и т. п. Комплекс работает в диалоговом режиме с использованием библиотек как начальных, так и рассчитанных данных.

Рассчитанные программными модулями величины находятся в БД, которую также можно авто-

номно просмотреть. Общий просмотр результатов для рассчитываемых изделий позволяет оперативно находить и сравнивать результаты расчёта для различных изделий.

Оценка точности математического моделирования радиационных эффектов проверялась сравнением результатов расчёта с экспериментальными данными, полученными на моделирующих установках, а также по результатам ис-

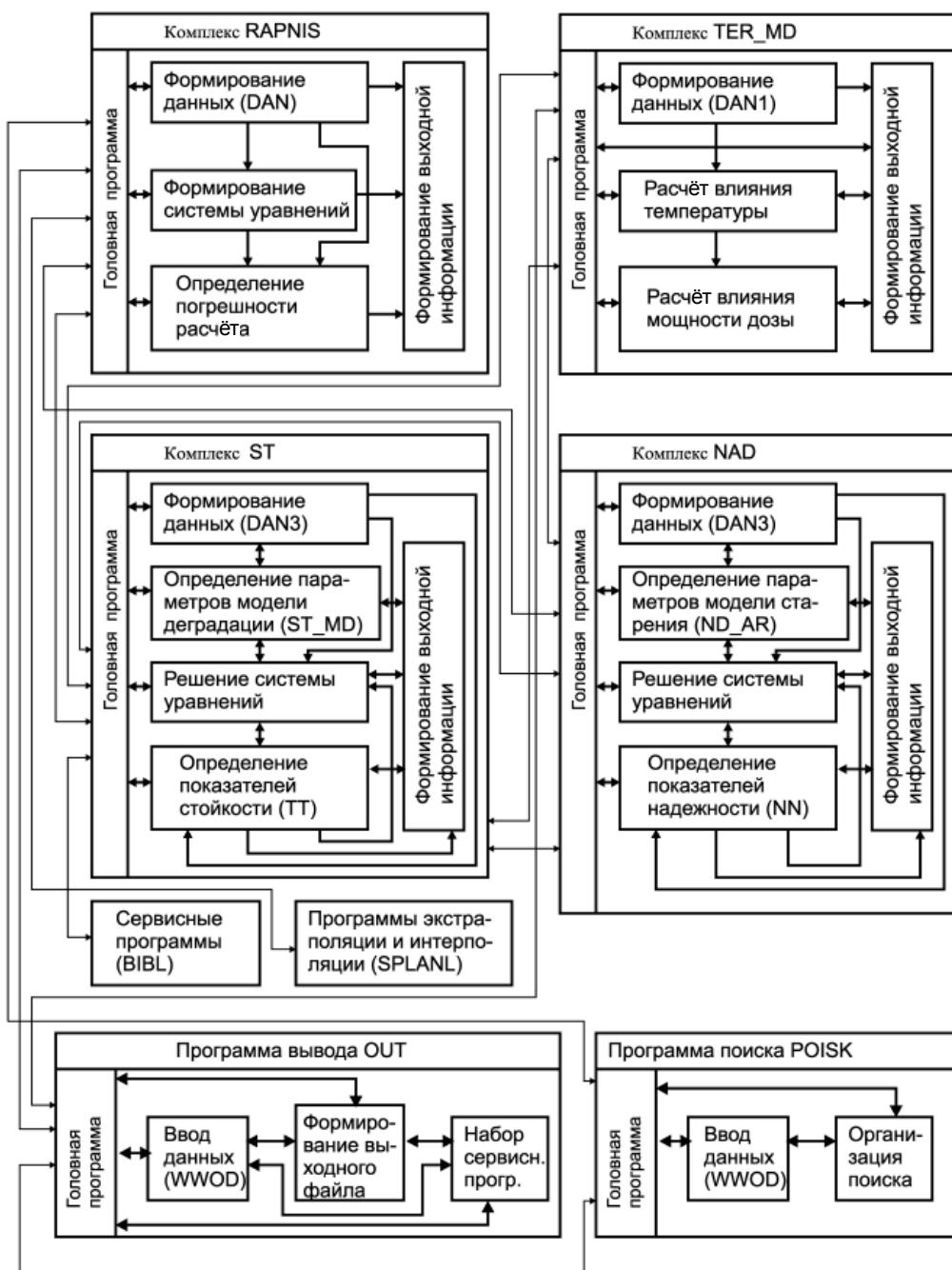


Рис. 4. Структура комплекса RAPNIS

пытаний в реальных условиях эксплуатации изделий. Расчёт проводился на ряде серий БИС, а также на транзисторах и транзисторных сборках (всего более 400 изделий). Результаты расчёта в сравнении с экспериментальными показали хорошее совпадение.

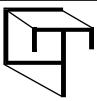
Библиографические ссылки

1. Ачкасов В.Н. Разработка средств автоматизации проектирования специализированных микро-

схем для управляемых вычислительных комплексов двойного назначения. Воронеж: Воронеж. гос. ун-т, 2005. 240 с.

2. Фортинский Ю.К. Автоматизация управления и проектирования в электронной промышленности. Воронеж: Воронеж. гос. ун-т, 2007. 275 с.

3. Кузьмин А.В. Система автоматизации проведения конкурсов и аудита выполнения специальных проектов создания микросхем двойного применения. Воронеж: Воронеж. гос. ун-т., 2008. 137 с.



УДК 681.5

А.Б. Чернышев, канд. техн. наук, доц.
 (Северо-Кавказский государственный технический университет,
 г. Ставрополь)

chalbor@rambler.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ АБСОЛЮТНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ НЕЛИНЕЙНЫХ РАСПРЕДЕЛЁННЫХ СИСТЕМ

Приведена классификация распределённых нелинейных характеристик. Рассмотрены условия применения критерия абсолютной устойчивости для распределённых систем управления. Получено уравнение поверхности, ограничивающей сектор абсолютной устойчивости распределённых нелинейных характеристик. Сформулирован критерий абсолютной устойчивости нелинейных систем с распределёнными параметрами, предложена его геометрическая интерпретация.

Ключевые слова: нелинейные характеристики, абсолютная устойчивость, частотный критерий.

Non-linear distributed behaviors classification is adduced. Application conditions of the absolute steadiness criteria for the distributed systems are considered. Surface equation is derived that absolute steadiness sector of the non-linear distributed behaviors restricts. The absolute steadiness criteria is formulated for the non-linear systems with distributed parameters and its geometrical interpretation is offered.

Key words: non-linear behaviors, absolute steadiness, frequency criteria.

Введение. Большинство результатов, полученных в теории систем с распределёнными параметрами, в том числе и анализ их устойчивости, относится к линейным системам. Класс нелинейных моделей очень широк, что затрудняет их единообразное описание, использование универсальных методов анализа и синтеза. Поэтому при разработке методик исследования автоматических систем управления по нелинейным моделям выбираются некоторые расчётные формы моделей, к которым по возможности пытаются привести исходные модели. Рассмотрим класс нелинейных систем управления, структурная схема которых представляется последовательным соединением нелинейного блока и линейной части [1]. В этом случае можно использовать аппарат передаточных функций линейной части системы.

Классификация нелинейных элементов для систем с распределёнными параметрами. Для систем с распределёнными параметрами входной сигнал зависит не только от времени, но и от пространственных координат. Функция выхода нелинейной части системы в общем виде может быть представлена соотношением

$$z = \varphi(x, t, \sigma(x, t)),$$

где функция $\sigma(x, t)$ – входное воздействие; $x \in [0; l]$ – пространственная координата; l – геометрический параметр объекта; t – время.

Не нарушая общности рассуждений, рассмотрим нелинейные элементы для распределённых объектов с одной пространственной координатой:

нелинейная функция вида $\varphi(\sigma(t))$. В каждой точке $x \in [0; l]$ входное воздействие одинаково, характеристика нелинейного элемента статическая, одного и того же типа;

нелинейная функция вида $\varphi(\sigma(x, t))$. В различных точках $x \in [0; l]$ входное воздействие различно, характеристика нелинейного элемента статическая, одного и того же типа;

нелинейная функция вида $\varphi(x, \sigma(t))$. В каждой точке $x \in [0; l]$ входное воздействие одинаково, характеристика нелинейного элемента статическая, тип нелинейной характеристики, как реакции на это входное воздействие, в каждой точке различный;

нелинейная функция вида $\varphi(x, \sigma(x, t))$. Входное воздействие различно во всех точках $x \in [0; l]$, характеристика нелинейного элемента статическая, тип нелинейной характеристики в каждой точке различный;

нелинейная функция вида $\varphi(x, t, \sigma(x, t))$. Входное воздействие различно во всех точках $x \in [0; l]$, типы нелинейных характеристик в каждой точке $x \in [0; l]$ и в каждый момент времени различны, т. е. нелинейная характеристика динамическая.

Условия применимости критерия абсолютной устойчивости для распределённых систем управления. Для интерпретации критерия абсолютной устойчивости при анализе систем управления с распределёнными параметрами можно предположить выполнение следующих условий [2]:

нелинейное звено представлено в виде последовательного соединения нелинейного элемента и линейной части;

линейный блок системы может быть представлен бесконечной совокупностью независимых контуров;

линейная часть системы является устойчивой; нелинейная характеристика, зависящая от пространственных координат, может быть представлена в виде ряда Фурье по пространственным координатам.

При выполнении указанных условий возможно применение модифицированного критерия для исследования абсолютной устойчивости определённого класса нелинейных систем с распределёнными параметрами.

Критерий абсолютной устойчивости для не зависящей от пространственных координат нелинейной характеристики. Пусть задано изображение по Лапласу при нулевых начальных условиях входного воздействия $\sigma(x, y, s)$. Входное воздействие может быть представлено в виде ряда Фурье:

$$\sigma(x, y, s) = \sum_{\eta, \gamma=1}^{\infty} \sum_{\xi=1}^4 C_{\eta, \gamma, \xi}(s) B_{\eta, \gamma, \xi}(x, y),$$

где $B_{\eta, \gamma, 1}(x, y) = \cos(\psi_{\eta} x) \cos(\tilde{\psi}_{\gamma} y)$;

$B_{\eta, \gamma, 2}(x, y) = \sin(\psi_{\eta} x) \cos(\tilde{\psi}_{\gamma} y)$;

$B_{\eta, \gamma, 3}(x, y) = \cos(\psi_{\eta} x) \sin(\tilde{\psi}_{\gamma} y)$;

$B_{\eta, \gamma, 4}(x, y) = \sin(\psi_{\eta} x) \sin(\tilde{\psi}_{\gamma} y)$;

η, γ – номера составляющих ряда Фурье по пространственным координатам x и y соответственно; ξ – номер вида функции $B(x, y)$, зависящей от набора тригонометрических составляющих; $C_{\eta, \gamma, \xi}(s) = q_{\eta, \gamma, \xi} \exp(s)$ – заданные функции.

В свою очередь

$$\psi_{\eta} = \frac{\pi \eta}{l_x}; \quad \tilde{\psi}_{\gamma} = \frac{\pi \gamma}{l_y},$$

где l_x, l_y – геометрические параметры объекта; s – оператор преобразования Лапласа.

Введём в систему координат ось $\tilde{G} = \psi_n^2 = \left(\frac{\pi n}{l} \right)^2$ при $n = \eta = \gamma$ ($n = 1, 2, 3, \dots$). Тогда $\tilde{G}(n)$ – дискретная функция с областью изменения от \tilde{G}_H до \tilde{G}_K , где $\tilde{G}_H = \frac{\pi^2}{l^2}$ – значение функции при $n = 1$; $\tilde{G}_K \rightarrow \infty$ – значение функции при $n \rightarrow \infty$. Заменим дискретную функцию $\tilde{G}(n)$ непрерывной функцией G с областью определения $[\tilde{G}_H; \infty)$ [3].

Предположим, что нелинейная характеристика объекта не зависит от функции $\tilde{G} = \frac{\pi^2 n^2}{l^2}$, т. е. от параметра n . Другими словами, вид и форма нелинейной характеристики остаются неизменными для каждой составляющей разложения передаточной функции в ряд Фурье.

При введённых допущениях критерий абсолютной устойчивости для систем с распределёнными параметрами может быть интерпретирован следующим образом [4].

Для абсолютной устойчивости нелинейной распределённой системы при условии, что нелинейная характеристика не зависит от пространственных координат, достаточно, чтобы модифицированный пространственный годограф разомкнутой системы располагался справа от плоскости, проходящей через линию $L : \{\omega \operatorname{Im}(W) = 0; \operatorname{Re}(W) = -\frac{1}{k}; G\}$ под углом $\alpha = \operatorname{arctg} \frac{1}{q}$ к плоскости $\{\operatorname{Re}(W); G\}$.

В этом случае частотная характеристика каждого контура системы управления будет лежать правее прямой $\operatorname{Re}(W) - q\omega \operatorname{Im}(W) + \frac{1}{k} = 0$, где W – передаточная функция линейной части системы; $\operatorname{Re}(W)$ – действительная часть; $\operatorname{Im}(W)$ – мнимая часть; q – некоторое действительное число; ω – круговая частота; k – угол абсолютной устойчивости.

Следовательно, каждый контур системы управления устойчив, а значит, будет устойчива и вся система.

Однако входной сигнал может зависеть не только от времени, но и от пространственных координат, тогда параметр k (угол абсолютной устойчивости), ограничивающий сектор нелинейной характеристики, будет зависеть от значения обобщённой координаты G .

Сектор абсолютной устойчивости пространственно-временной нелинейной характеристики. Пусть нелинейный элемент задаётся функцией $z(x, y, t) = \varphi(\sigma(x, y, t))$. Рассмотрим нелинейную систему с устойчивой линейной частью. Положим, что нелинейный элемент имеет однозначную статическую характеристику. Известно, что для систем с сосредоточенными параметрами статическая характеристика удовлетворяет условиям:

$$0 \leq \varphi(\sigma) \leq k\sigma; \quad \varphi(0) = 0,$$

т. е. характеристика нелинейного элемента должна принадлежать сектору $[0; k]$.

Применимально к системам с распределёнными параметрами рассмотрим коэффициент k как коэффициент усиления пространственно-усилильного звена:

$$k(G) = E_1 \left[\frac{n_1 - 1}{n_1} + \frac{1}{n_1} G \right], \quad 0 \leq G \leq \infty,$$

где E_1 – общий коэффициент усиления (заданное число); n_1 – весовой коэффициент ($n_1 \geq 1$).

Уравнение прямой, ограничивающей сектор нелинейной характеристики сверху, для каждого контура можно записать в виде

$$z_n = E_1 \left[\frac{n_1 - 1}{n_1} + \frac{1}{n_1} G_n \right] \sigma_n,$$

где n – номер контура.

Уравнение поверхности, ограничивающей сектор нелинейной характеристики, выраженное через частные производные, может быть записано в виде

$$\begin{aligned} z &= E_1 \left[\frac{n_1 - 1}{n_1} - \frac{1}{n_1} \nabla^2 \right] \sigma = \\ &= E_1 \left[\frac{n_1 - 1}{n_1} - \frac{1}{n_1} \left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \right) \right] \sigma(x, y, t) = \\ &= E_1 \left[\frac{n_1 - 1}{n_1} \sigma(x, y, t) - \frac{1}{n_1} \left(\frac{\partial^2 \sigma(x, y, t)}{\partial x^2} + \right. \right. \end{aligned}$$

$$\left. \left. + \frac{\partial^2 \sigma(x, y, t)}{\partial y^2} \right) \right], \quad (1)$$

где $\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}$ – оператор Лапласа.

Если нелинейное входное воздействие не зависит от пространственных координат x, y , то выражение (1) примет вид

$$z = E_1 \frac{n_1 - 1}{n_1} \sigma(t),$$

$$\text{где } k = E_1 \frac{n_1 - 1}{n_1},$$

т. е. уравнение прямой $z = k\sigma(t)$ не зависит от значения обобщённой координаты G . Значение углового коэффициента k зависит от заданного коэффициента усиления E_1 и весового коэффициента n_1 , подбор которых позволит минимизировать сектор, которому принадлежит нелинейная характеристика.

Зависимость углового коэффициента $k(G)$ от весового коэффициента n_1

Весовой коэффициент n_1	Угловой коэффициент $k(G)$
1	$k = G$
2	$k = 0,5 + 0,5G$
5	$k = 0,8 + 0,2G$
10	$k = 0,9 + 0,1G$
∞	1

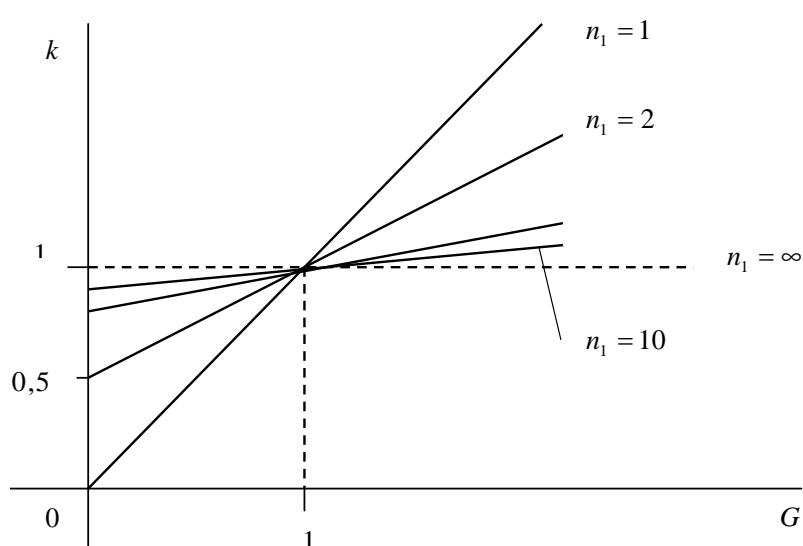


Рис. 1. Зависимость углового коэффициента от обобщённой координаты

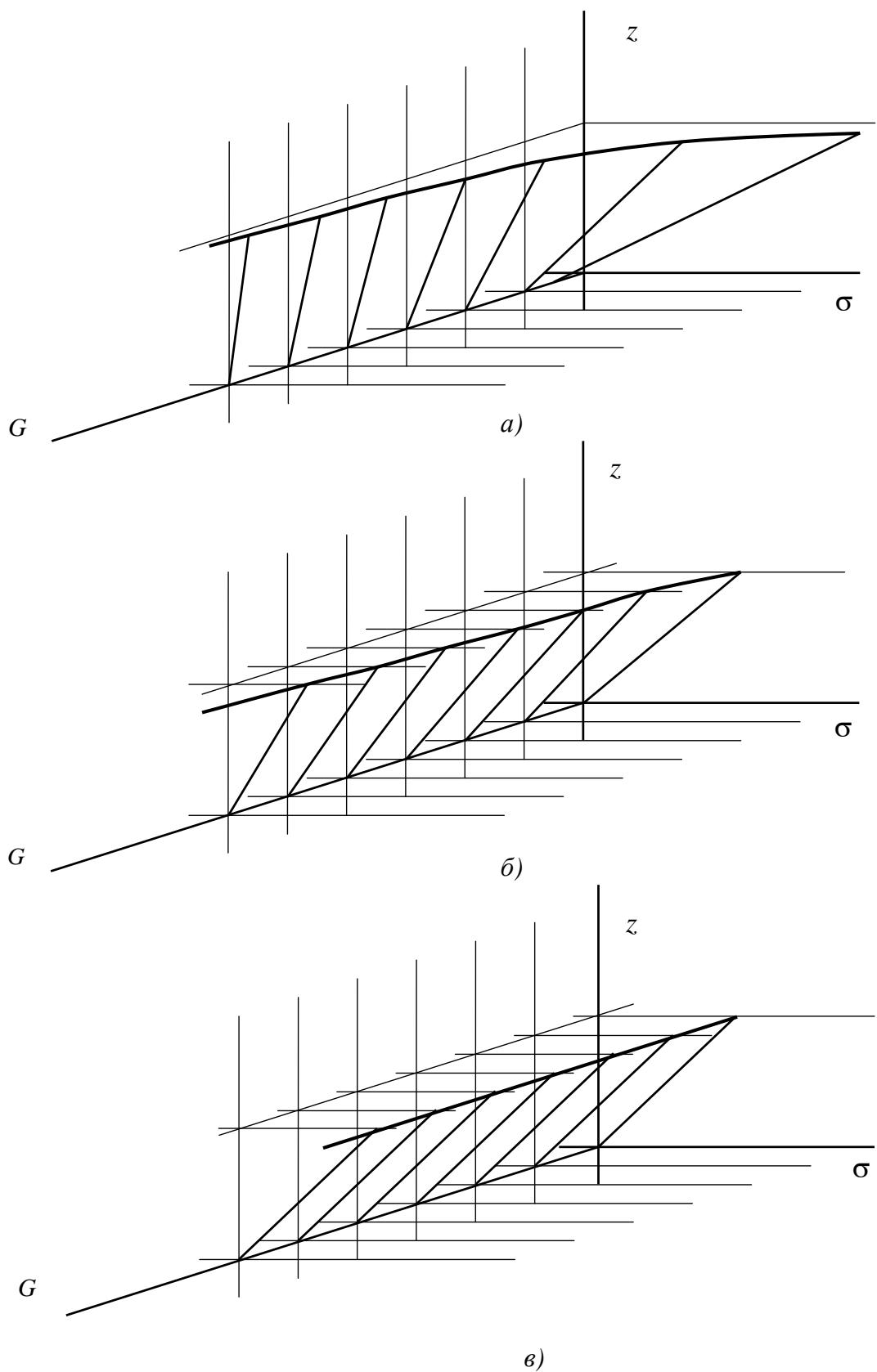


Рис. 2. Поверхность, ограничивающая сектор нелинейной характеристики:

$$\begin{aligned}
 a - E_1 &= 1; n_1 = 1; k = G; z = G\sigma; \delta - E_1 = 1; n_1 = 10; k = 0,9 + 0,1G; z = 0,9G + 0,1G\sigma; \\
 \sigma - E_1 &= 1; n_1 \rightarrow \infty; k = 1; z = \sigma
 \end{aligned}$$

Если входное воздействие, зависящее от пространственных координат, задано в виде изображения по Лапласу $\sigma(x, y, s)$, то поверхность, ограничивающая сектор $[0; k(G)]$ сверху, будет иметь вид

$$z = E_1 \left[\frac{n_1 - 1}{n_1} + \frac{1}{n_1} G \right] \sigma(x, y, s),$$

$$\text{где } k(G) = E_1 \left[\frac{n_1 - 1}{n_1} + \frac{1}{n_1} G \right].$$

Выражения углового коэффициента $k(G)$ при различных значениях весового коэффициента n_1 приведены в таблице. Зависимость углового коэффициента $k(G)$ от обобщённой координаты G (при $E_1 = 1$) показана на рис. 1. Если $E_1 \neq 1$ (например, $E_1 = 10$), то при $n_1 = 5k = 8 + 2G$. Увеличение коэффициента E_1 увеличивает параметры \tilde{b} и \tilde{k} прямой $k = \tilde{b} + \tilde{k}G$ в E_1 раз, т. е. прямая будет сдвигаться вверх и увеличивать угловой коэффициент \tilde{k} .

Для систем с распределёнными параметрами поверхность, ограничивающая сектор абсолютной устойчивости нелинейной характеристики сверху, будет иметь вид, показанный на рис. 2. При возрастании весового коэффициента n_1 гиперболическая поверхность выпрямляется, при $n_1 = \infty$ представляет собой плоскость. При увеличении общего коэффициента усиления E_1 увеличивается угловой коэффициент $k(G)$ для каждого из значений G .

Модифицированный критерий абсолютной устойчивости нелинейных распределённых систем управления. Пусть выполняются условия:

все полюсы передаточной функции линейной части системы имеют отрицательные действительные части (т. е. линейная часть разомкнутой системы устойчива);

характеристика нелинейного элемента $z = \varphi(\sigma(x, y, t))$ принадлежит области, ограниченной плоскостью $z = 0$ и поверхностью

$$z = E_1 \left[\frac{n_1 - 1}{n_1} \sigma(x, y, t) - \frac{1}{n_1} \left(\frac{\partial^2 \sigma(x, y, t)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \sigma(x, y, t)}{\partial y^2} \right) \right],$$

$$\text{т. е. } \varphi(0) = 0, 0 \leq \frac{\varphi(\sigma(x, y, t))}{\sigma(x, y, t)} \leq$$

$$\leq E_1 \left[\frac{n_1 - 1}{n_1} - \frac{1}{n_1} \left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \right) \right]$$

при всех $\sigma(x, y, t) \neq 0$.

Если входное воздействие задано в виде изображения по Лапласу $\sigma(x, y, t)$, то поверхность, ограничивающая сектор сверху, будет иметь вид

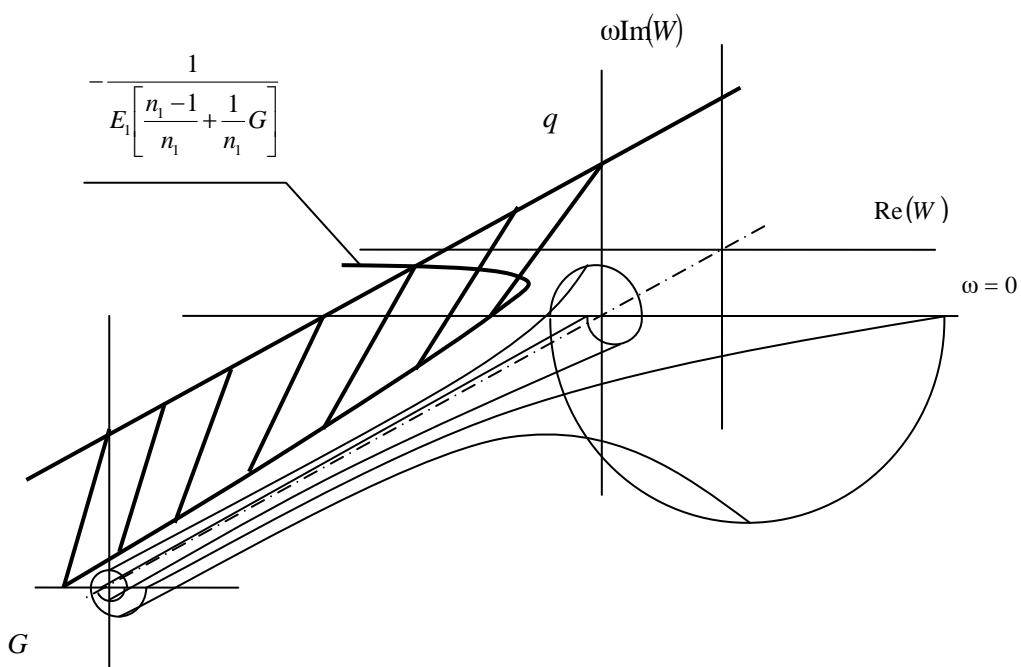


Рис. 3. Графическая интерпретация анализа абсолютной устойчивости

$$z = E_1 \left[\frac{n_1 - 1}{n_1} + \frac{1}{n_1} G \right] \sigma(x, y, s),$$

$$\varphi(0) = 0, \quad 0 \leq \frac{\varphi(\sigma(x, y, s))}{\sigma(x, y, s)} \leq E_1 \left[\frac{n_1 - 1}{n_1} + \frac{1}{n_1} G \right],$$

при всех $\sigma(x, y, s) \neq 0$, где

$$G = \left(\frac{n\pi}{l_x} \right)^2 + \left(\frac{n\pi}{l_y} \right)^2 = \frac{n^2 \pi^2 (l_y^2 + l_x^2)}{l_x^2 l_y^2};$$

существует такое действительное число q , что при всех $\omega \in [0; \infty)$ выполняется неравенство

$$\operatorname{Re}[(1 + j\omega q)W(j\omega)] > -\frac{1}{E_1 \left[\frac{n_1 - 1}{n_1} + \frac{1}{n_1} G \right]}.$$

Тогда при любых ограниченных начальных отклонениях от нулевого значения функция входного воздействия $\sigma(x, y, t)$ остаётся ограниченной, если $t > 0$ и $\sigma(x, y, t) \rightarrow 0$ при $t \rightarrow \infty$. Система будет асимптотически устойчивой, так как из ограниченности $\sigma(x, y, t)$ следует ограниченность отклонения управляемого параметра $Q(x, y, t)$, а при $\sigma(x, y, t) \rightarrow 0$ управляемый параметр $Q(x, y, t) \rightarrow 0$ при $t \rightarrow \infty$.

На рис. 3. представлена графическая интерпретация модифицированного критерия абсолютной устойчивости.

Если передаточная функция разомкнутой системы не имеет полюсов, лежащих в правой полу平面, то для абсолютной устойчивости

замкнутой системы достаточно, чтобы модифицированный пространственный годограф не пересекал поверхность, проходящую через линию

$$\left\{ \operatorname{Re}(W) = -\frac{1}{E_1 \left[\frac{n_1 - 1}{n_1} + \frac{1}{n_1} G \right]}, \operatorname{Im}(W) = 0 \right\}$$

и прямую $\{\operatorname{Re}(W) = 0; \operatorname{Im}(W) = q; G\}$.

Заключение. В результате применения методов теории систем с сосредоточенными параметрами и использования структуры передаточных функций, выраженных через обобщённую координату, получен аналог частотного критерия абсолютной устойчивости В.М. Попова для класса систем с распределёнными параметрами, что позволяет исследовать динамические характеристики нелинейных распределённых систем управления.

Библиографические ссылки

1. Рапорт Э.Я. Структурное моделирование объектов и систем управления с распределёнными параметрами. М.: Высшая школа, 2003. 299 с.
2. Чернышев А.Б. Определение класса систем с распределёнными параметрами для модификации частотного критерия абсолютной устойчивости // Инфоком-3: Междунар. науч.-техн. конф. Ставрополь, 2008. С. 284–288.
3. Першин И.М. Анализ и синтез систем с распределёнными параметрами. Пятигорск: Изд-во РИА-КМВ, 2007. 244 с.
4. Чернышев А.Б. Интерпретация критерия абсолютной устойчивости для нелинейных распределённых систем // Автоматизация и современные технологии. 2010. № 2. С. 28–32

Вниманию авторов!

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

УДК 629.7.019.3

А.В. Кузнецов, канд. техн. наук
(ОАО «Конструкторское бюро «Луч», г. Рыбинск)

klike@pochtamt.ru

МЕТОДИКА КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ ОПТИМАЛЬНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ И ЕЁ ПРИМЕНЕНИЕ К ОЦЕНКЕ БЕСПИЛОТНЫХ СИСТЕМ

Рассмотрены вопросы методологии оптимального выбора технических объектов, определены группы критерии оценки оптимальности, приведены методика оценки и результаты расчётов применительно к некоторым техническим объектам, в частности к системам с беспилотными летательными аппаратами.

Ключевые слова: оптимальность, оптимальный выбор, оценка оптимальности, оценка беспилотных систем.

Methodology questions of the engineering objects optimum choice are considered; criterion groups of the optimality valuation are defined; valuation methodology and calculating results are adduced for application to certain technical objects, and particular, to systems with unmanned flying devices.

Key words: optimality, optimum choice, optimality valuation, unmanned systems valuation.

Стремительное развитие рынка беспилотной техники на современном этапе привело к формированию различных функциональных классов систем с беспилотными летательными аппаратами (СБЛА) и значительному росту их многообразия внутри классов. Такие системы позволяют выполнять сложные задачи военного, специального и гражданского назначения: разведка и наблюдение, транспортировка боеприпасов и топлива, экологический мониторинг, поддержка спасательных операций. Во всем мире такие системы успешно зарекомендовали себя как неотъемлемая часть национальной оборонной и промышленной политики. Многие аспекты анализа СБЛА в настоящее время разрабатываются, а решение отдельных задач нашло отражение в ряде специальных работ [1]. Однако до настоящего времени отсутствует универсальная методика комплексной оценки оптимальности СБЛА, содержащая всю совокупность критериев и методов, необходимых для наиболее адекватной технико-экономической оценки оптимальных параметров проектируемых, создаваемых и эксплуатируемых СБЛА.

Разработана методика комплексной оценки оптимальности СБЛА, осуществлены её апробация при оценке разрабатываемых систем, а также «универсализация» и распространение на более широкие классы технических объектов (ТО).

В методике комплексной оценки оптимальности предусмотрено применение пяти групп основных критериев [2]. Каждая группа содержит ряд критериев, позволяющих наиболее полно количественно охарактеризовать те или иные свойства системы ТО. Это позволяет получать сопоставимые результаты при сравнении различных

систем одного класса, сходных по функциональному назначению и области применения, а также формулировать конкретные задачи и направления работ по их целенаправленному улучшению:

1. *Функциональные критерии* характеризуют свойства проектируемого или уже созданного изделия, определяющие его основные функции, и обусловливают область его применения. К ним относятся: (средний) коэффициент полезного действия системы, включающей исследуемый ТО; критерий габаритных размеров и массы; диапазон рабочих температур; критерий автоматизации системы с ТО и критерий точности.

Кроме того, методика оценки оптимальности предусматривает экспресс-оценку ТО по группе базовых функциональных критериев. Применительно к СБЛА в данную группу критериев входят точность определения координат объектов и проводки по маршруту, предельная продолжительность полёта, относительная масса целевой нагрузки.

2. *Технологические критерии* определяют технологическую эффективность, трудоёмкость изготовления и расходы на непосредственное обеспечение качества. К ним относятся критерии трудоёмкости изготовления, использования материалов и технологических возможностей.

3. *Критерии надёжности* характеризуют безотказность, долговечность, ремонтопригодность, сохраняемость устройства, т. е. те свойства, от которых принципиально зависит эффективность использования изделия потребителем. К ним относятся надёжность (закон распределения наработки до отказа), вероятность безотказной работы, параметр потока отказов, средняя наработка на отказ, коэффициент готовности, экономиче-

ский критерий эффективности методов повышения надёжности.

4. Эргономические и экологические критерии характеризуют соответствие ТО, технической системы, технологии или процесса экологическим требованиям (регламентированы международными стандартами серии ИСО 9000–14000), физическим и физиологическим возможностям человека, а также приспособленность ТО, технической системы, технологии или процесса к условиям эксплуатации с учётом требований санитарных норм. Это критерии эргономичности, безопасности и экологичности.

5. Экономические критерии включают непосредственно стоимостные показатели ТО, а также маркетинговый (рыночный) потенциал, который оценивается (прогнозируется) по данным маркетингового подразделения компании, и логистический потенциал, определяемый на основе данных подразделений материально-технического обеспечения и транспорта. К ним относятся критерии расхода материалов, расхода энергии, затрат на информационное обеспечение, затрат на гарантийное обслуживание, критерии затрат на обеспечение качества, а также относительная доля отечественного (мирового) рынка, эффективный период жизненного цикла, средняя приведённая цена, удельные расходы на продвижение товара.

В зависимости от характера решаемой задачи сравнение ТО одного функционального назначения и области применения (в частности СБЛА)

осуществляют по любой из приведённых выше групп критериев. Для экспресс-оценки функциональной ценности новой СБЛА можно использовать только группу базовых функциональных критериев. Для получения наиболее полной и адекватной комплексной оценки необходимо использовать все пять групп критериев: функциональные (базовые и общие), технологические, надёжности, эргономические, экологические и экономические.

Последовательность расчётов по методике:

1. Осуществляется выбор методики оценки: экспресс-оценка оптимальности по базовым функциональным критериям;

комплексная оценка по всем пяти группам критериев.

2. Из всей совокупности критериев эксперты выбирают значимые для оценки критерии или их группы. При необходимости на основе мнения экспертов совокупность критериев может быть дополнена как базовыми функциональными, так и общими.

3. Для каждой группы критериев собираются исходные данные для расчёта.

4. При оценке по каждой группе критериев осуществляются расчёты согласно табл. 1.

В таблице введены следующие обозначения: ТО – анализируемый технический объект (система); A_{n_1}, \dots, A_{n_n} – совокупность аналогов от 2 до n ; k_{A_j}, k_{X_j} – весовые коэффициенты, определяющие значимость каждого критерия внутри группы для показателей A_j и X_j (назначаются эксперта-

Таблица 1

Оценка оптимальности по одной группе критериев

Наименование критерия	ТО	Аналоги				Среднее значение	Соответствие показателя среднему значению	Идеальное значение (или средняя экспертная оценка)	Соответствие показателя идеальному (среднему экспертному) значению
		A_{n_1}	A_{n_2}	\dots	A_{n_n}				
Критерий 1	P_{11}	P_{12}	P_{13}	\dots	P_{1n}	$\frac{\sum_{1}^n P_{1n}}{n}$	$A_1 = \frac{P_{11}n}{\sum_{1}^n P_{1n}}$	p^u_1	$X_1 = \frac{P_{11}}{p^u_1}$
Критерий 2	P_{21}	P_{22}	P_{23}	\dots	P_{2n}	$\frac{\sum_{1}^n P_{2n}}{n}$	$A_2 = \frac{P_{21}n}{\sum_{1}^n P_{2n}}$	p^u_2	$X_2 = \frac{P_{21}}{p^u_2}$
...
Критерий m	P_{m1}	P_{m2}	P_{m3}	\dots	P_{mn}	$\frac{\sum_{1}^n P_{mn}}{n}$	$A_m = \frac{P_{m1}n}{\sum_{1}^n P_{mn}}$	p^u_m	$X_m = \frac{P_{m1}}{p^u_m}$
Комплексный показатель (среднее значение по группе показателей)						$U_A = \frac{\sum_{1}^m k_{A_j} A_j}{m}$			$U_X = \frac{\sum_{1}^m k_{X_j} X_j}{m}$

Таблица 2

Сводная таблица комплексных показателей оценки оптимальности

Наименование группы критериев	Соответствие показателя среднему значению по группе	Соответствие показателя идеальному (среднему экспертному) значению
Функциональные критерии (включая базовые)	U_{A_1}	U_{X_1}
Технологические критерии	U_{A_2}	U_{X_2}
Критерии надёжности	U_{A_3}	U_{X_3}
Эргономические и экологические критерии	U_{A_4}	U_{X_4}
Экономические критерии	U_{A_5}	U_{X_5}
Комплексная оценка оптимальности	$U_A^K = \frac{\sum_{i=1}^5 U_{A_i}}{5}$	$U_X^K = \frac{\sum_{i=1}^5 U_{X_i}}{5}$

ми), $0 \leq k_{A_j} \leq 1$, $j = \overline{1, m}$; p_{11}, \dots, p_{mn} – совокупность числовых значений показателей (если показатель должен быть максимальным, то его значения в строке m рассматриваются без изменений; если показатель должен быть минимальным, то расчёт проводится по величинам, обратным его значениям, т. е. $1/p_{j1}, \dots, 1/p_{jn}$, где $j = \overline{1, m}$); p''_{11}, \dots, p''_{m} – совокупность идеальных числовых значений показателей по строкам (по каждой из m строк выбирается наилучшее (максимальное) из значений p_{j1}, \dots, p_{jn} , где $j = \overline{1, m}$) или совокупность средних экспертных оценок.

5. При комплексной оценке по всем группам показателей составляют таблицы, аналогичные табл. 1. Затем на основе вычисления среднего по значениям величин U_A и U_X строят сводную таблицу (табл. 2) и рассчитывают комплексную оценку оптимальности по группам критериев.

6. На основе полученного общего показателя оценки оптимальности для анализируемого ТО делают выводы:

о наличии возможностей совершенствования изделия,

о целесообразности внедрения изделия в промышленность (целесообразности приобретения).

Соответственно, выводы могут быть следующими:

при ($U_A^K < 1$ и $U_X^K < 1$) ТО уступает среднему уровню, его дальнейшее развитие/внедрение нецелесообразно;

при ($U_A^K \approx 1$ и $U_X^K < 1$) ТО соответствует среднему уровню, возможно его дальнейшее развитие/внедрение;

при ($U_A^K > 1$ и $U_X^K < 1$) ТО превосходит средний уровень, рекомендуется его внедрение;

при ($U_A^K > 1$ и $U_X^K \geq 1$) ТО близок к идеальному уровню, представляет собой высокоэффективное изделие, рекомендуется его внедрение.

Экспериментальная реализация методики комплексной оценки оптимальности была осуществлена применительно к комплексам с беспилотными летательными аппаратами, разрабатываемым ОАО «Конструкторское бюро «Луч», г. Рыбинск (входит в состав ОАО «Концерн радиостроения «Вега»), в частности к базовому варианту исполнения комплекса с беспилотными летательными аппаратами «Типчак», который является представителем класса тактических СБЛА средней высоты и продолжительности полёта [3].

Комплекс воздушной разведки «Типчак» предназначен для ведения разведки и наблюдения в любое время суток в интересах различных силовых структур, в том числе для решения задач береговой охраны, для экологического мониторинга нефтегазовой инфраструктуры, контроля лесной инфраструктуры, воздушной поддержки спасательных операций. Комплекс обеспечивает получение разведывательной информации (видимого и инфракрасного диапазонов) в режиме реального времени на дальностях до 70 км от наземного пункта управления.

При использовании методики комплексной оценки оптимальности применительно к данной СБЛА получены следующие результаты:

для экспресс-оценки по базовым функциональным показателям

$$U_A^K = 1,228, U_X^K = 0,473;$$

для комплексной оценки по всем группам критериев

$$U_A^K = 1,013, U_X^K = 0,371.$$

На основании этих оценок сделан вывод об экономической целесообразности продолжения работ по совершенствованию комплекса, а также

о наличии рыночного потенциала комплекса (в качестве аналогов для сравнения использован ряд СБЛА иностранного производства).

При универсализации данной методики проведена оценка оптимальности ряда электротехнических устройств, в частности регулятора переменного напряжения и автоматизированного комплекса измерения параметров воды, разрабатываемых при участии специалистов ОАО КБ «Луч».

Оцениваемый регулятор переменного напряжения, применяемый в устройствах и системах регулирования параметров технологических процессов, обеспечивает равномерность регулировочной характеристики в широком диапазоне напряжений. Это делает эффективным его применение в цифровых системах управления, не критичных к форме выходного напряжения, в частности в электроприводах, прецизионных регуляторах температуры, регуляторах освещения.

При использовании методики комплексной оценки оптимальности на модели данного регулятора переменного напряжения были получены следующие результаты:

для экспресс-оценки по базовым функциональным показателям

$$U_A^K = 1,421, U_X^K = 0,536;$$

для комплексной оценки по всем группам критериев

$$U_A^K = 1,378, U_X^K = 0,439.$$

На основании этих оценок и принципов построения модели был сделан вывод о целесообразности разработки и подготовки производства данного изделия. На данное изделие получен патент на изобретение [4].

Автоматизированный комплекс измерения параметров воды «Уровень», оцениваемый по методике, используется для контроля уровня жидкости в открытых водоёмах, а также может найти применение в гидрологии. В данном комплексе использован новый способ измерения, обеспечивающий существенное повышение точности измерений уровня жидкости по сравнению с аналогами [5].

При использовании методики комплексной оценки оптимальности на модели данного комплекса были получены следующие результаты:

для экспресс-оценки по базовым функциональным показателям

$$U_A^K = 1,749, U_X^K = 0,788;$$

для комплексной оценки по всем группам критериев

$$U_A^K = 1,657, U_X^K = 0,681.$$

На основании оценок и принципов построения модели сделан вывод о целесообразности разработки и подготовки производства данного изделия. Опытные образцы разработаны, произведены, установлены и с 2005 г. проходят эксплуатацию на Рыбинской ГЭС Каскада Верхневолжских ГЭС. Все смоделированные и рассчитанные параметры совпали с предъявленными требованиями технического задания. Основным преимуществом комплекса является очень высокая точность измерений (± 1 см для столба жидкости 10 м). Полученный в процессе эксплуатации устройств результат подтверждает достоверность результатов расчётов и практическую ценность разработанной методики комплексной оценки оптимальности.

Проведённые исследования параметров СБЛА, других систем и устройств, а также влияния внешних и внутренних факторов на их работу позволили создать основу для разработки комплексной методики оценки оптимальности сложных ТО. С использованием разработанной методики создан программный продукт, позволяющий автоматизировать процесс принятия решения о развитии (внедрении в производство) новых разработок в области беспилотных систем. Программное обеспечение имеет встраиваемые модули расчёта каждого критерия, а также возможность дополнения групп критериев новыми критериями, необходимыми, по мнению экспертов, для более полной оценки анализируемого ТО.

В настоящее время проводятся мероприятия по доработке программного обеспечения и расширению области использования методики на более широкие классы ТО, в частности в системах автоматизированного управления газотурбинными двигателями и установками.

Библиографические ссылки

- Новичков Н.Н., Барковский В.А.** Основные направления развития беспилотных авиационных комплексов // Рынки вооружений. 2008. № 1. С. 1–38.
- Кузнецов А.В.** Аддитивные критерии оценки технических объектов // Машиностроитель. 2003. № 9. С. 1–6.
- Юдин А.В., Кузнецов А.В.** Моделирование информационных потоков в системах управления созданием технических объектов // Известия ТулГУ. Сер. «Технологическая системотехника». Тула, 2003. Вып. 1. С. 242–247.
- Юдин А.В., Гоголев Н.А., Кузнецов А.В.** Регулятор переменного напряжения. Патент России № 2246745. 2004. Бюл. № 5.
- Москвин О.А., Кузнецов А.В.** Автоматизированный комплекс измерения параметров воды «Уровень» для гидроэлектростанций // Изобретатели машиностроению. 2004. № 1. С. 21–22.

УДК 681.3.06+519.68

В.М. Баканов, д-р техн. наук, проф.

(Московский государственный университет приборостроения и информатики)

e881e@mail.ru

ВИЗУАЛЬНАЯ СРЕДА ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ НА ЯЗЫКЕ НОРМА

Обсуждены технология и соответствующее программное обеспечение для автоматизации разработки параллельных программ в технологиях MPI и DVM с использованием интерактивной среды языка сверхвысокого уровня НОРМА. Рассматриваемая технология исключает ручной ввод исходного текста и обеспечивает полную синтаксическую корректность исходных текстов

Ключевые слова: параллельное программирование, автоматизация разработки программ, функциональное программирование, визуальное программирование, язык НОРМА, технологии MPI и DVM, языки С и Fortran, производительность параллельных программ, рациональное использование кэша.

Technology and correspond software for parallel programs development automation are discussed in MPI and DVM technology with interactive surroundings utilization of ultrahigh level sublanguage HOPMA. Considered technology excludes manual input of the initial text and provides full syntactical correctness of the initial text.

Key words: parallel programming, programs development automation, functional programming, visual programming, sublanguage HOPMA, technology MPI and DVM, sublanguages C and Fortran, parallel programs efficiency, cache rational utilization.

В настоящее время отсутствуют методы эффективной (быстрой и свободной от ошибок) разработки параллельных программ. Одно из фундаментальных положений заключается в том, что рациональный размер зерна распараллеливания программы должен значительно превосходить характерный размер типичного оператора языка программирования. Негативным следствием этого положения является практическая сложность качественного распараллеливания имеющейся последовательной программы [1]. Однако совершенно не очевидно (кроме варианта принудительного распараллеливания ценных исходно-параллельных программ), что рационально сначала создавать последовательный вариант программы, а потом (на его основе) строить параллельный.

Реальный путь обхода этапа разработки традиционно-последовательной программы заключается в применении концепции функционального программирования (основоположники – Мозес Шенфинкель, Хаскелл Карри и Алонзо Чёрч) как противовес императивному – операторному – программированию (часто связываемому с именами Алана Тьюринга и Джона фон Неймана). В настоящее время существует множество языков функционального программирования, среди которых наибольшую известность получили Lisp, ML, Scheme, Gofer, Hope, Miranda, Clean, Caml, Haskell. Для создания параллельных программ широко используют-

ся, в частности, Т-язык (Т-система, Институт программных систем РАН, г. Переславль-Залесский) и язык НОРМА (Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН [2]).

Язык НОРМА можно отнести к функциональным языкам лишь с некоторыми допущениями, однако в нём реализованы важные особенности функциональных языков (непроцедурность, отсутствие побочных эффектов, управляющих операторов и повторного присваивания поскольку от программиста скрыта последовательность выполнения операторов) [2, 3]. Этот язык называют *декларативным* (описательным) вследствие упора именно на описание правил вычисления, а не на подробную конкретизацию алгоритма. Язык НОРМА ориентирован на решение задач математической физики сеточными методами (в основном *методом конечных разностей*), хотя и применяется для решения иных задач (например, при параллельной цифровой обработке изображений). Эффективный автоматический синтез параллельного кода на основе НОРМА-программы достигается определёнными ограничениями языка: отсутствием повторного присваивания и глобальных переменных, запретом рекурсии и др.

На рис. 1 приведена схема получения двоичного исполняемого кода по классической схеме с применением компиляции и редактирования связей (см. рис.1, а) и при использовании языка

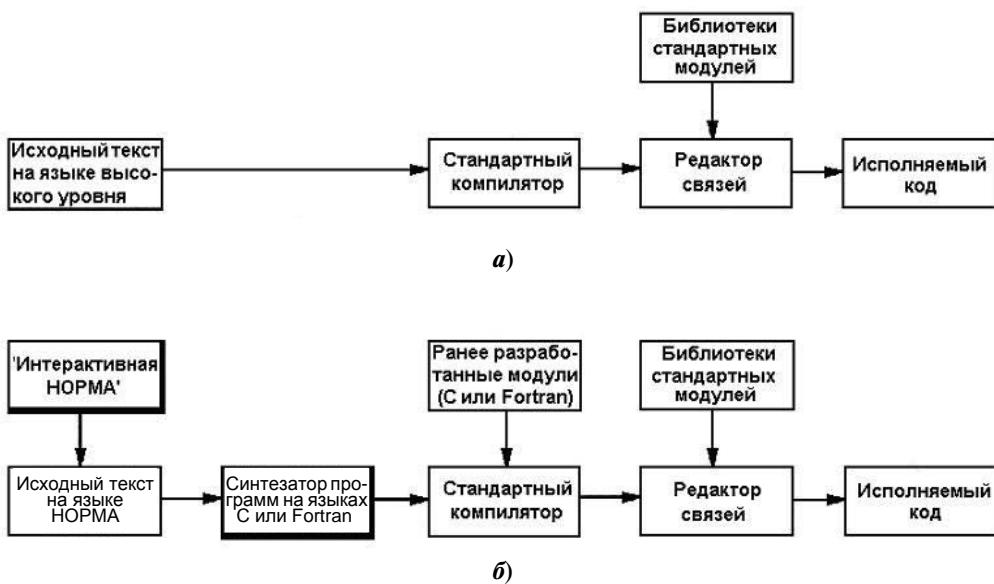


Рис. 1. Этапы создания исполняемых программ:

а – классический подход; *б* – использование НОРМА-программирования совместно с оболочкой «Интерактивная НОРМА»

НОРМА (см. рис.1, *б*); в последнем случае необходима дополнительная программа – преобразователь (синтезатор) исходного кода НОРМА-программы в Fortran или С-программу. В Московском государственном университете приборостроения и информатики ведётся разработка визуальной интерактивной среды автоматизированного создания НОРМА-программ. Выполненная в технологии web-сайта оболочка «Интерактивная НОРМА» дополняет схему на рис. 1, *б* лишним элементом, при этом фактически скрывая этап ручной подготовки текста НОРМА-программы.

При разработке НОРМА-программы классическим методом необходим программист, знакомый с правилами языка и формально «набивающий» исходный текст программы. Логично вообще отказалось от использования текстового представления программы и снабдить язык НОРМА интерактивной оболочкой, которая будет являться удобным интерфейсом для написания параллельных программ, значительно уменьшающим временные затраты специалиста на описание своей задачи в терминах языка НОРМА, и в то же время выполнять функции автоматической генерации НОРМА-текста с априори корректным синтаксисом. Таким образом, можно манипулировать программой на языке НОРМА как совокупностью объектов, отображённых в виде графики и гипертекста [1].

Одним из этапов подобного развития является ранее упомянутая оболочка «Интерактивная

НОРМА», выполненная в виде web-сайта. Работа сайта поддерживается только языками программирования PHP и СУБД MySQL, которые являются штатными для большинства компьютерных систем. Таким образом, созданная оболочка «Интерактивная НОРМА» платформенно независима.

Работа с интерактивной средой создания НОРМА-программ конечно требует от разработчика определённых навыков работы с ЭВМ, однако нет необходимости усвоения полного синтаксиса рассматриваемого языка программирования, а наличие дополнляемых шаблонов программного кода ещё упрощает работу.

В качестве конкретного примера применения системы «Интерактивная НОРМА» рассмотрим процедуру умножения матриц $C \leftarrow A \times B$; классический способ умножения матриц основан на выполнении следующих операций для каждого c_{ij} элемента результирующей матрицы:

$$c_{ij} = \sum_k a_{ik} \times b_{kj}$$

На рис. 2 приведён пример окна «Создание нового действия» в системе «Интерактивная НОРМА», в котором задаётся коллективная операция $c = \text{SUM}((Ok)a[ik] * b[kj])$ на области Ok (данная операция соответствует основной операции умножения матриц).

Условия задачи и формулы в системе «Интерактивная Норма» задаются в интерактивном ре-

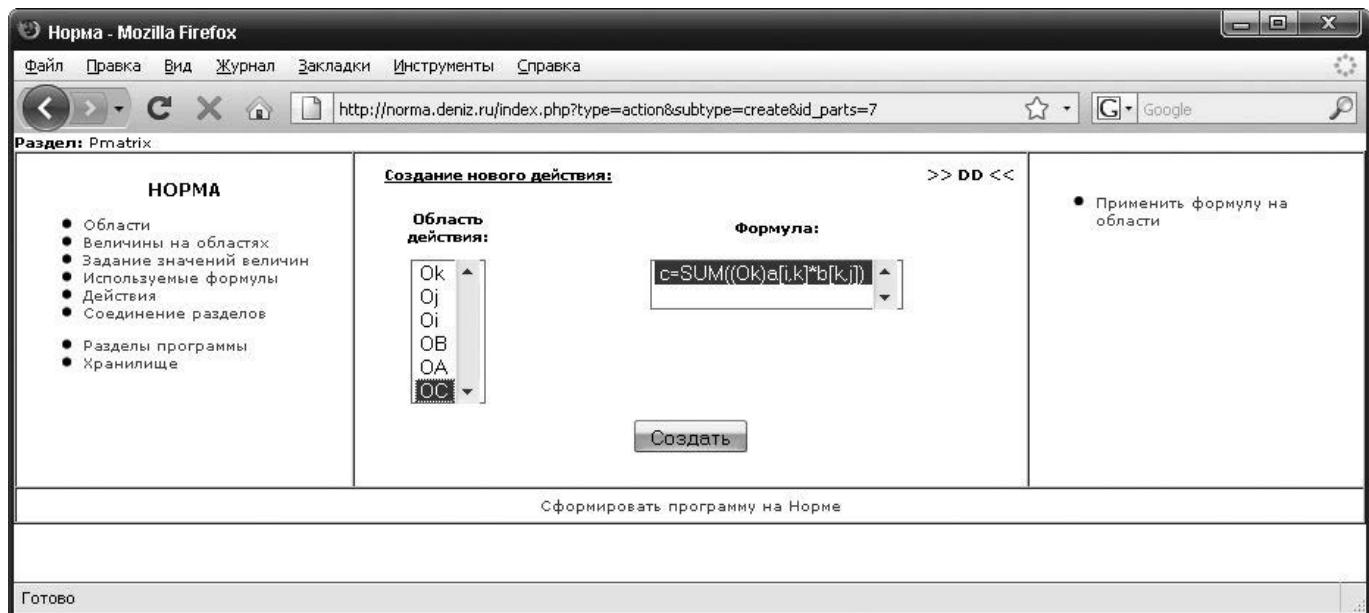


Рис. 2. Окно создания новой коллективной операции умножения матриц в системе «Интерактивная НОРМА»

жиме по очереди: сначала размеры матриц, затем значения в узлах матрицы, используемые формулы, число процессоров и метод распределения данных по ним.

Ниже приведена сформированная подобным образом программа на языке НОРМА (показана только основная функция, в которой выполняются все вычисления; данное решение распараллелено на семи процессорах):

```
PART Matrix.
  a, b RESULT c
BEGIN
  Oi: (i = 1...300).
  Oj: (j = 1...200).
  Ok: (k = 1...100).
  OA: (Oi; Ok).
  OB: (Ok; Oj).
  OC: (Oi; Oj).
  VARIABLE a DEFINED ON OA DOUBLE.
  VARIABLE b DEFINED ON OB DOUBLE.
  VARIABLE c DEFINED ON OC DOUBLE.
  FOR OC ASSUME c = SUM((Ok) a[i, k] * b[k, j]).
  DISTRIBUTION INDEX k = 1...7, j = 1.
END PART.
```

Дальнейшие действия по преобразованию сгенерированной НОРМА-программы в выполняемый файл (согласно рис.1, б) без труда автоматизируются (в простейшем случае путём разработки соответствующего пакетного файла).

Организация вычислений с учётом архитектуры конкретной ЭВМ (возможность параллель-

ной, векторной обработки и др.) является задачей транслятора (синтезатора) с языка НОРМА в конкретную систему параллельного программирования (например, С или Fortran с MPI-вызовами). Однако полностью автоматизировать процесс учёта архитектуры целевой ЭВМ сложно. Оператор **DISTRIBUTION INDEX** (см. приведённый выше листинг) и служит средством задания распределения элементов обрабатываемых матриц по матрице процессорных элементов, причём задаётся это распределение вручную на основе априорных представлений разработчика программы.

Автоматизация этого распределения для сложных (включающих много циклов различной глубины вложенности) программ представляется перспективной для повышения производительности путём соответствующего (различного для языков С и Fortran) использования возможностей кэширования; при этом производительность может быть повышена в несколько раз без каких-либо дорогостоящих специальных приёмов.

Заключение. Разработана платформенно-независимая графическая оболочка «Интерактивная НОРМА» к языку сверхвысокого уровня НОРМА, позволяющая пользователю в интерактивном режиме генерировать исходные тексты на указанном языке.

Генерация исходных НОРМА-текстов с использованием системы «Интерактивная НОРМА» требует от пользователя минимальных навыков в программировании, сгенерированная программа

за счёт встроенной системы формальной проверки синтаксиса является синтаксически корректной, вследствие чего уменьшается время цикла разработки программного обеспечения и расширяется круг специалистов, использующих параллельные вычисления в своей работе. Определены дальнейшие пути совершенствования системы «Интерактивная НОРМА», направленные на повышение быстродействия программ в результате учёта сочетания архитектурных особенностей ЭВМ и стандартов языков программирования.

Библиографические ссылки

1. **Лапис А.О.** Как построить и использовать суперкомпьютер. М.: Бестселлер. 2003. 240 с.
2. **Система** построения параллельных программ [Электронный ресурс]. М.: ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, 2009. Режим доступа: <http://www.keldysh.ru/pages/norma> (дата обращения 15.11.2009).
3. **Норма.** Описание языка. Рабочий стандарт. А.Н. Андрианов, А.Б. Бугея, К.Н. Ефимкин, И.Б. Задыхайло // Препринт ИПМ им. М.В. Келдыша РАН. № 120. М., 1995. 50 с.

УДК 621.315.592

В.А. Васин, канд. техн. наук, доц., **Е.Н. Ивашов**, д-р техн. наук, проф., **А.П. Лучников**,
С.В. Степанчиков, канд. техн. наук

(Московский государственный институт электроники и математики)

vacuumWa@list.ru

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ УСТРОЙСТВА НА ОСНОВЕ МНОГОСТЕПЕННЫХ ПРИВОДОВ В ОБОРУДОВАНИИ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ

Рассмотрены вопросы применения многокоординатных исполнительных устройств в оборудовании электронной техники. Показано, что существенное повышение эксплуатационных характеристик оборудования электронного машиностроения может быть достигнуто за счёт использования устройств на основе ℓ -координат, которые по сравнению с традиционными исполнительными устройствами могут одновременно выполнять функции манипуляторов, транспортных устройств, гасителей колебаний и др.

Ключевые слова: многокоординатные исполнительные устройства, оборудование электронной техники, многоступенчатые приводы, ℓ -координатные приводы.

Application questions of the multicoordinate efficient facilities in the electronic engineering equipment are considered. It is shown that essential operational behaviors growth of the electronic engineering industry can reach through the use of the facilities with G-coordinate. These facilities unlike other traditional efficient facilities can simultaneously fulfil functions of manipulators, transport facilities, dampers and etc.

Key words: multicoordinate efficient facilities, electronic engineering equipment, multiphase drives, ℓ -coordinate drives.

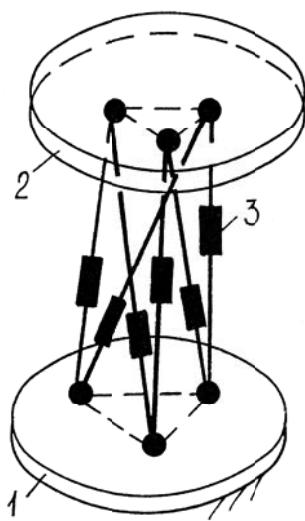
Положение твёрдого тела в пространстве относительно любой системы координат определяется шестью числами – угловыми и линейными величинами. В системе, построенной по структуре ℓ -координат [1], в качестве таких чисел используются длины $\ell_1, \ell_2, \dots, \ell_6$ шести отрезков, соединяющих выходное звено с неподвижным основанием таким образом, что при заданных значениях $\ell_1, \ell_2, \dots, \ell_6$ образуется геометрически неизменяемая структура. В отличии от общепринятых уравнений движения свободного твёрдого тела с использованием углов Эйлера, уравнения движения в ℓ -координатах описывают движение тела только в линейных величинах.

Общее свойство ℓ -координат заключается в том, что они образуют пространственные фермы,

стержнями которых являются отрезки $\ell_1, \ell_2, \dots, \ell_6$, а сферические шарниры расположены в точках выходного звена и неподвижного основания, соединенных этими отрезками.

Исполнительное ℓ -координатное устройство (рис. 1) содержит неподвижное основание 1 и выходное звено 2, соединенные между собой шестью тягами 3 переменной длины. Длина тяг регулируется приводами по командам программы, управляющей движением выходного звена относительно неподвижного основания. Тяги связывают неподвижное основание и выходное звено посредством шарниров.

В одном ℓ -координатном исполнительном устройстве реализуется три (плоский случай) и шесть (пространственный) степеней подвижности. При

Рис. 1. ℓ -координатное исполнительное устройство

их последовательном соединении число степеней подвижности определяется по формулам:

для плоского случая

$$W = K(3n - 2p_1 - p_2);$$

для пространственного случая

$$W = K(6n - 5p_1 - 4p_2 - 3p_3 - 2p_4 - p_5),$$

где n – число подвижных звеньев кинематической цепи; K – число ℓ -координатных модулей; p_1, p_2, \dots, p_5 – число пар соответствующего класса с одной, двумя, ..., пятью степенями подвижности.

Устройства на основе ℓ -координат используются в качестве исполнительных и информационных (табл. 1). Как исполнительные они используются в промышленных роботах (ПР), загрузочно-транспортных устройствах и устройствах гашения

Т а б л и ц а 1

Области использования ℓ -координатных исполнительных устройств в оборудовании электронной техники

Виды оборудования	Назначение			
	ИУ для сложных перемещений.	Прецизионно манипуляционные системы.	Транспортные системы	Виброзащитные системы
Оборудование субмикронной литографии				
Оборудование выращивания монокристаллов				
Оборудование вакуумно-плазменного травления				
Оборудование для осаждения плёнок термическим испарением в вакууме				
Оборудование катодного распыления				
Оборудование магнетронного распыления				
Оборудование ионно-плазменного травления				
Оборудование молекулярно-лучевой эпитаксии				
Оборудование ионно-лучевой эпитаксии				
Оборудование электронно-лучевого испарения				
Оборудование ОЖЕ-спектрального послойного анализа				
Шлюзовые устройства и системы вакуумного оборудования				
Оборудование зондового контроля				

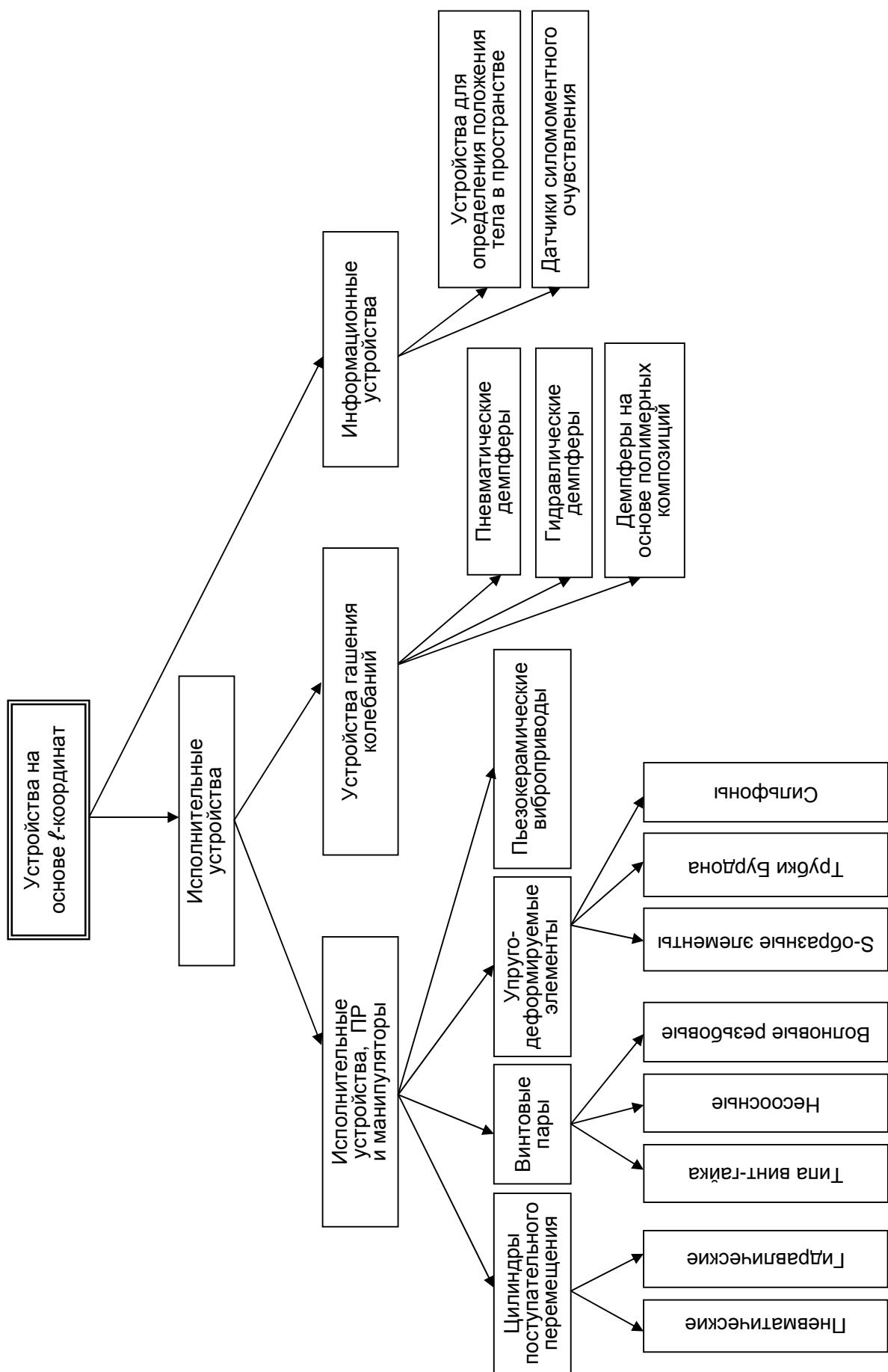


Рис. 2. Области применения l -координатных исполнительных устройств

колебаний [2, 3]. При этом в качестве привода используется любой из известных до настоящего времени приводов – пневмо- или гидропривод, электромеханический, магнитострикционный или на основе пьезоэффекта (рис. 2).

Как информационные они используются в качестве датчиков силомоментного чувствительности (тензометрические, струнные и т. д.), устройств для определения положения и перемещения тела в пространстве, в которых параметры ℓ_i определяются контактным или бесконтактным методами, например, ультразвуком.

Основные преимущества ℓ -координатных исполнительных устройств по сравнению с известными следующие: математическое описание положения и перемещения тела (выходного звена) только с помощью линейных величин; возможность построения исполнительных и информационных устройств на едином принципе ℓ -координат; идентификация приводов; возможность использования всех известных способов передачи движения в вакуумный технологический объём без узлов трения; повышенная жёсткость; высокая точность.

Во многих случаях в практических расчётах представляет интерес определение соответствующих длин отрезков (ℓ -координат) $\ell_1, \ell_2, \dots, \ell_6$ в зависимости от положения тела (выходного звена).

Положение тела P относительно неподвижного основания в декартовых координатах определяется для каждой структуры отдельно.

Рассмотрим конкретный пример. Пусть дана некоторая структура (рис. 3).

Положение основания определяется тремя точками $A\{0, a, 0\}, 0\{0, 0, 0\}, B\{\varepsilon, 0, 0\}$, а тела – точками $A'\{X_A, Y_A, Z_A\}, 0'\{X_0, Y_0, Z_0\}, B'\{X_B, Y_B, Z_B\}$, причем $AA' = \ell_1, OA' = \ell_2, A'B = \ell_3, 00' = \ell_4, 0'B = \ell_5, 0B' = \ell_6$.

Система уравнений для определения $X_A, Y_A, Z_A, X_B, Y_B, Z_B, X_0, Y_0, Z_0$ имеет вид:

$$\begin{cases} \ell_1 = \sqrt{X_A^2 + (Y_A - a)^2 + Z_A^2}, \\ \ell_2 = \sqrt{X_A^2 + Y_A^2 + Z_A^2}, \\ \ell_3 = \sqrt{(X_A - \varepsilon)^2 + Y_A^2 + Z_A^2}, \\ \ell_4 = \sqrt{X_0^2 + Y_0^2 + Z_0^2}, \\ \ell_5 = \sqrt{(X_0 - \varepsilon)^2 + Y_0^2 + Z_0^2}, \\ \ell_6 = \sqrt{(X_B - \varepsilon)^2 + Y_B^2 + Z_B^2}, \\ a = \sqrt{(X_A - X_0)^2 + (Y_A - Y_0)^2 + (Z_A - Z_0)^2}, \\ b = \sqrt{(X_B - X_0)^2 + (Y_B - Y_0)^2 + (Z_B - Z_0)^2}, \\ c = \sqrt{(X_B - X_A)^2 + (Y_B - Y_A)^2 + (Z_B - Z_A)^2}. \end{cases}$$

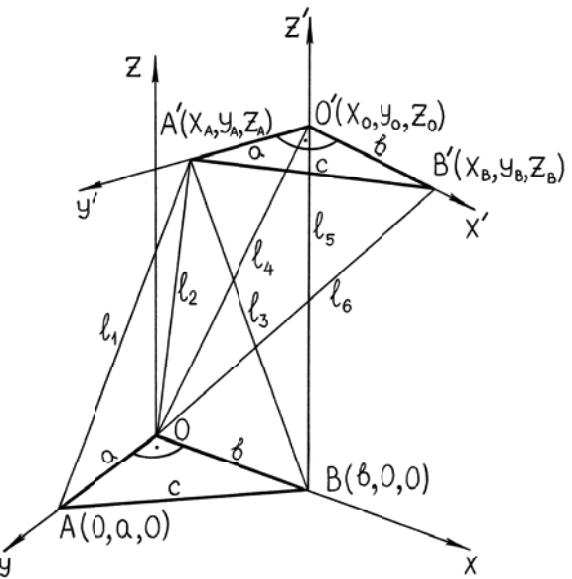


Рис. 3. К решению задачи положения

Не вдаваясь в подробности решения системы уравнений, покажем лишь последовательность действий:

1-й этап. Решаем систему:

$$\begin{cases} \ell_1 = \sqrt{X_A^2 + (Y_A - a)^2 + Z_A^2}, \\ \ell_2 = \sqrt{X_A^2 + Y_A^2 + Z_A^2}, \\ \ell_3 = \sqrt{(X_A - \varepsilon)^2 + Y_A^2 + Z_A^2}, \end{cases}$$

находим X_A, Y_A, Z_A .

2-й этап. Решаем систему:

$$\begin{cases} \ell_4 = \sqrt{X_0^2 + Y_0^2 + Z_0^2}, \\ \ell_5 = \sqrt{(X_0 - \varepsilon)^2 + Y_0^2 + Z_0^2}, \\ a = \sqrt{(X_A - X_0)^2 + (Y_A - Y_0)^2 + (Z_A - Z_0)^2}, \end{cases}$$

находим X_0, Y_0, Z_0 .

3-й этап. Решаем систему:

$$\begin{cases} \ell_6 = \sqrt{(X_B - \varepsilon)^2 + Y_B^2 + Z_B^2}, \\ b = \sqrt{(X_B - X_0)^2 + (Y_B - Y_0)^2 + (Z_B - Z_0)^2}, \\ c = \sqrt{(X_B - X_A)^2 + (Y_B - Y_A)^2 + (Z_B - Z_A)^2}, \end{cases}$$

находим X_B, Y_B, Z_B .

Таким образом, система (1) полностью решена.

Углы ϕ , ψ , θ между координатными осями $0X$ и $0'X'$, $0Y$ и $0'Y'$, $0Z$ и $0'Z'$ находят по правилам векторной алгебры как углы между соответствующими векторами $0\vec{A}$ и $0\vec{A}'$, $0\vec{B}$ и $0\vec{B}'$, $0\vec{D}$ и $0\vec{D}'$.

Так, например, угол ϕ находится из перемножения векторов $0\vec{A}$ и $0\vec{A}'$:

$$0\vec{A} = \{0, a, 0\},$$

$$0'\vec{A}' = \{X_A - X_0; Y_A - Y_0; Z_A - Z_0\},$$

$$0\vec{A} \cdot 0'\vec{A}' = |0A| \cdot |0'A'| \cos \phi,$$

$$a(Y_A - Y_0) =$$

$$= \sqrt{(X_A - X_0)^2 + (Y_A - Y_0)^2 + (Z_A - Z_0)^2} a \cos \phi.$$

Откуда $\phi = \arccos$

$$\times \frac{Y_A - Y_0}{\sqrt{(X_A - X_0)^2 + (Y_A - Y_0)^2 + (Z_A - Z_0)^2}}.$$

Угол ψ находится из перемножения векторов $0\vec{B}$ и $0'\vec{B}'$:

$$0'\vec{B}' = \{X_B - X_0; Y_B - Y_0; Z_B - Z_0\},$$

$$0\vec{B} = \{\varepsilon, 0, 0\},$$

$$0'\vec{B}' \cdot 0\vec{B} = |0'B'| \cdot |0B| \cos \psi,$$

$$\varepsilon(X_B - X_0) =$$

$$= \sqrt{(X_B - X_0)^2 + (Y_B - Y_0)^2 + (Z_B - Z_0)^2} \varepsilon \cos \psi,$$

$$\psi = \arccos$$

$$\times \frac{X_B - X_0}{\sqrt{(X_B - X_0)^2 + (Y_B - Y_0)^2 + (Z_B - Z_0)^2}}.$$

Угол θ находится из перемножения векторов $0\vec{D}$ и $0'\vec{D}'$:

$$0\vec{D} = |0A| \cdot |0B| \sin 90^\circ,$$

$$0'\vec{D}' = |0'A'| \cdot |0'B'| \sin 90^\circ,$$

$$0'\vec{D}' \cdot 0\vec{D} = |0'A'| \cdot |0'B'| \cdot |0A| \cdot |0B| \cos \theta,$$

$$0'A' = \{X_A - X_0; Y_A - Y_0; Z_A - Z_0\},$$

$$0'B' = \{X_B - X_0; Y_B - Y_0; Z_B - Z_0\},$$

$$0\vec{A} = \{0; a; 0\}, |0A| = a,$$

$$0\vec{B} = \{\varepsilon; 0; 0\}, |0B| = \varepsilon,$$

$$0\vec{D} = |0A| \cdot |0B| \sin 90^\circ,$$

$$0'\vec{D}' = (X_A - X_0)(X_B - X_0) + (Y_A - Y_0)(Y_B - Y_0) + (Z_A - Z_0)(Z_B - Z_0),$$

$$0\vec{D} \cdot 0'\vec{D}' = |0A| \cdot |0B| \cdot |0A| \cdot |0B| \cos \theta,$$

$$a\varepsilon [(X_A - X_0)(X_B - X_0) + (Y_A - Y_0)(Y_B - Y_0) +$$

$$+ (Z_A - Z_0)(Z_B - Z_0)] =$$

$$= \sqrt{(X_A - X_0)^2 + (Y_A - Y_0)^2 + (Z_A - Z_0)^2} \times$$

$$\times \sqrt{(X_B - X_0)^2 + (Y_B - Y_0)^2 + (Z_B - Z_0)^2} \cdot a\varepsilon \cos \theta,$$

$$\text{где } \theta = \arccos[(Y_A - Y_0)(Z_B - Z_0) - (Z_A - Z_0) \times$$

$$\times (X_B - X_0)]^2 + [(Z_A - Z_0)(X_B - X_0) - (X_A - X_0) \times$$

$$\times (Z_B - Z_0)]^2 + [(X_A - X_0)(Y_B - Y_0) - (Y_A - Y_0) \times$$

$$\times (X_B - X_0)]^{\frac{1}{2}} / [(X_A - X_0)^2 + (Y_A - Y_0)^2 + (Z_A - Z_0)^2] \times$$

$$\times [(X_B - X_0)^2 + (Y_B - Y_0)^2 + (Z_B - Z_0)^2]^{\frac{1}{2}}].$$

Полученные соотношения позволяют произвести переход от ℓ -координат к обычным декартовым координатам, открывают возможности к решению задач динамики и управления такими устройствами.

Основными параметрами работоспособности исполнительного устройства (рис. 4) и его элементов являются быстродействие B , виброустойчивость B , точность T , трение износа и газовыделение Γ , которые определяются временем срабатывания t , амплитудой A , погрешностью позиционирования Δ , коэффициентом трения f , интенсивностью изнашивания J_h и газовым потоком q , которые связаны с процессом выхода годных F и производительностью оборудования в целом Q .

Структурная модель сложных процессов в исполнительной системе, состоящей из N исполнительных устройств, каждое из которых обладает определенной совокупностью внутренних свойств F_G на каждое действие совокупность внешних возмущений U_j , входящих параметров R_i и выходных X_k имеет вид (рис. 5).

Исходя из запаса работоспособности по быстродействию K_t , виброустойчивости K_A , точности K_p трению K_f , износу K_h , газовыделению K_q , суммарный запас работоспособности K_Σ равен:

$$K_\Sigma = \frac{1}{\sum_{i=1}^6 \frac{a_i}{K_i}},$$

где a_i – весовые коэффициенты по каждому параметру; K_i – соответствующий запас работоспособности по каждому параметру: $K_t = \frac{t_p}{t}$; $K_A = \frac{A_p}{A}$;

$$K_{\Delta} = \frac{\Delta_p}{\Delta}; K_f = \frac{f_p}{f}; K_J = \frac{J_p}{J}; K_q = \frac{q_p}{q};$$

Здесь $t_p, A_p, \Delta_p, J_p, q_p$ – допустимые значения времени срабатывания, амплитуды колебаний, погрешности, коэффициента трения, изнашивания и газового потока в исполнительном устройстве; T, A, Δ, f, J, q – фактические значения указанных выше величин.

Наиболее существенные параметры работоспособности исполнительных устройств для различного оборудования ЭТ представлены в табл. 2.

Работоспособность всего исполнительного устройства будет сохраняться до $K_{\Sigma} = 1$.

Исполнительные устройства на основе ℓ -координат по всем параметрам работоспособности: быстродействию, виброустойчивости, точности, характеристикам газовыделения, трения и изно-

са, превосходят аналогичные конструкции, построенные на классических координатных системах, что отражено в табл. 3, 4.

Рассмотрим примеры применения ℓ -координатных устройств для конкретного оборудования электронной техники (табл. 4).

Оборудование для выращивания монокристаллов. Наряду с высокой точностью поддержания выбранных скоростей перемещения деталей установки, отсутствием загрязнений расплава и выращиваемого монокристалла, стабильностью тепловых условий, основным требованием является отсутствие вибраций, которое достигается за счет применения специальных шестистепенных виброгасителей на основе ℓ -координат. В результате повышается процент выхода годных изделий.

Оборудование вакуумно-плазменного травления. Вакуумно-плазменное травление предназначено

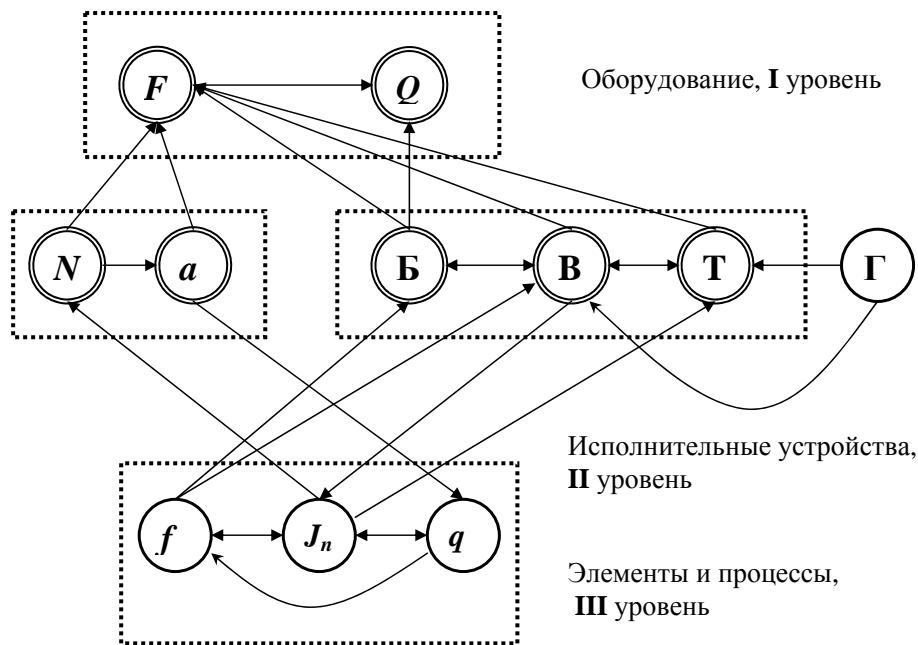


Рис. 4. Структурная схема взаимосвязи основных параметров исполнительного устройства и его элементов с параметрами оборудования:

N – количество элементов; a – параметры генерируемых микрочастиц износа

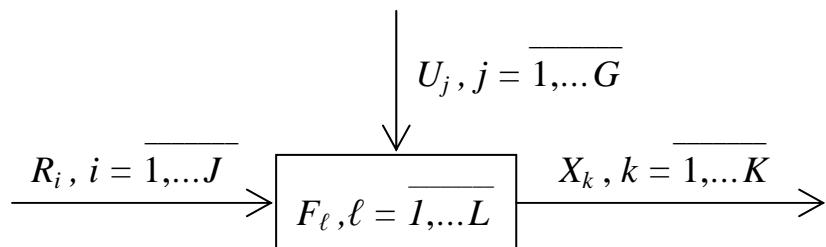


Рис. 5. Структурная модель сложных процессов в исполнительном устройстве

Т а б л и ц а 2

Наиболее существенные параметры работоспособности ℓ -координатных исполнительных устройств для различного оборудования электронной техники

Виды оборудования	Параметры					
	Быстродействие	Виброустойчивость	Точность	Трение	Износ	Газовыделение
Оборудование субмикронной литографии						
Оборудование выращивания монокристаллов						
Оборудование вакуумно-плазменного травления						
Оборудование для осаждения плёнок термическим испарением в вакууме						
Оборудование катодного распыления						
Оборудование магнетронного распыления						
Оборудование ионно-плазменного травления						
Оборудование молекулярно-лучевой эпитаксии						
Оборудование ионно-лучевой эпитаксии						
Оборудование электронно-лучевого испарения						
Оборудование ОЖЕ-спектрального послойного анализа						
Шлюзовые устройства и системы вакуумного оборудования						
Оборудование зондового контроля						

для обработки многослойных плёнок с несовместимыми в условиях химической очистки свойствами слоёв. Для повышения качества поверхности столик с подложками должен иметь шесть степеней подвижности, что может быть обеспечено за счёт использования ℓ -координатных устройств с электромеханическим приводом.

Оборудование для зондового контроля. Структура установок зондового контроля представляет собой комплекс двух устройств: электромеханического и электронного. Электромеханическое устройство содержит координатную систему, на которой размещается поворотный столик для ориентации закреплённой на нём полупроводниковой пластины с механизмом вертикального перемещения для контакта с зондами. Применение в этих условиях ℓ -координатных устройств однозначно.

Особое внимание уделяется виброзащите оборудования в целом. В случае наличия вибраций возможно разрушение плёнки при контакте с зондом, совершающим колебательное касательное движение. Когда усилие воздействия зонда на контактную площадку велико, возникает «прокол». Наиболее эффективна в этом случае виброзащита по всем шести степеням подвижности на основе ℓ -координат.

Оборудование для осаждения пленок термическим испарением в вакууме. К вакуумному оборудованию для осаждения пленок предъявляют следующие требования: высокая скорость откачки газов из рабочей камеры, высокая скорость испарения веществ и возможность регулирования её в широких пределах за счёт изменения подводимой к испарителю мощности, высокая производительность при групповой загрузке и обработке

Таблица 3

**Основные характеристики ℓ -координатных исполнительных устройств и их применение
в оборудовании электронной техники**

Основные параметры	Назначение			
	Пневматические	Электро-механические	Пьезоэлектрические	Магнитострикционные
Быстродействие, с	0,01–0,1	0,05–03	0,001–0,01	0,001–0,01
Диапазон частот собственных колебаний, Гц	5–20	20–200	200–2000	200–2000
Погрешность позиционирования, мкм	5–100	0,5–10	0,005–1	0,01–2
Количество узлов трения в вакууме	6	—	—	—
Ход исполнительного устройства, мм	100–200, 1–5	50–150	1–5	1–3
Масса устройства (без системы управления), кг	3–10	5–15	0,1–0,5	0,2–0,7
Назначение	Устройства перемещения; виброзащитные системы	Устройства перемещения	Прецизионные манипуляционные системы	Прецизионные манипуляционные системы
Габариты размеры, мм	100×150×100	100×150×150	20×50×70	50×70×90
Области применения в электронной технике	Оборудование выращивания моно-кристаллов; фотолитография; оборудование зондового контроля; ОЖЕ-спектральный анализ	МЛЭ; Вакуумно-плазменное травление; ионнолучевая обработка; установки ионно-плазменного травления; ОЖЕ-спектральный анализ	Установки электронной и рентгенолитографии; МЛЭ; оборудование зондового контроля	Установки электронной и рентгенолитографии; оборудование зондового контроля

подложек, возможность одновременно с осаждением пленки получать требуемую конфигурацию тонкоплёночных элементов пассивной части интегральных микросхем, возможность вести процесс как в высоком вакууме, так и в окислительной или восстановительной среде разряженного газа. Применение внутрикамерного ℓ -координатного устройства снижает до минимума узлы трения в вакууме, повышает равномерность покрытия, улучшает чистоту напыляемого слоя. Узлы трения в вакууме могут быть полностью устранены, если в качестве приводных элементов использовать упругодеформированные трубчатые элементы.

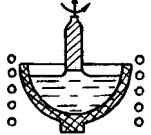
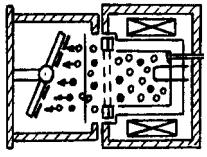
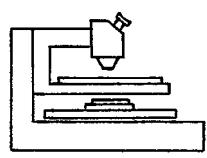
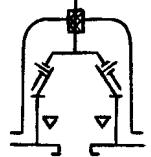
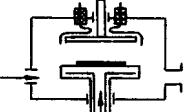
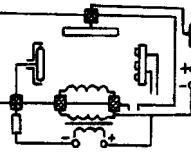
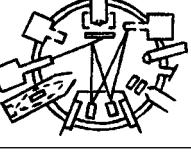
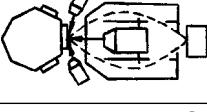
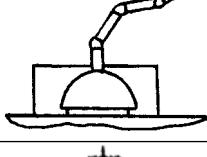
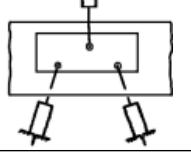
Оборудование для катодного распыления. Катодное распыление, по сравнению с термическим, имеет определённые преимущества: большая площадь поверхности распыления, возмож-

ность распыления тугоплавких металлов и сплавов без изменения состава, отсутствие разогретых деталей в вакуумной камере, возможность точной регулировки толщины плёнки путём изменения величины напряжения на электродах, возможность изготовления многослойных плёнок. Эффективность этого метода распыления можно ещё больше повысить, если внутрикамерное устройство выполнить по одной из структур ℓ -координат, при этом равномерность покрытия за счёт сложного движения подложкодержателя повышается.

Оборудование для ионно-плазменного напыления. Ионно-плазменное напыление проводят при давлении 10^{-1} – 10^{-2} Па, что на порядок меньше, чем при катодном распылении. Это обеспечивает более чистые условия осаждения пленок за счёт увеличения концентрации электронов с термо-

Таблица 4

Примеры использования и функциональное назначение ℓ -координатных исполнительных устройств

Примеры использования	Функциональное назначение	Среда	Схема	Достигаемый результат
Оборудование для выращивания монокристаллов	Виброзащита	Атмосфера		Повышение процента выхода годных изделий
Оборудование вакуумно-плазменного травления	Перемещение подложкодержателя по заданному закону движения	Вакуум и инертный газ		Повышение качества поверхности
Оборудование для зондового контроля	Виброзащита. Совмещение координатной и поворотной систем	Атмосфера		Снижение брака
Оборудование для осаждения пленок термическим испарением в вакууме	Внутрикамерное исполнительное устройство	Вакуум		Повышение равномерности покрытия
Оборудование для катодного распыления	Внутрикамерное исполнительное устройство	Вакуум		Повышение равномерности покрытия
Оборудование для ионно-плазменного напыления	Перемещение подложкодержателя по заданному закону движения	Вакуум		Создание покрытия с заданным законом распределения толщины
Оборудование молекулярно-лучевой эпитаксии	Перемещение подложкодержателя по заданному закону движения	Вакуум		Повышение процента выхода годных изделий
Оборудование ОЖЕ-спектрального послойного анализа	Виброзащита	Атмосфера		Повышение достоверности воспроизведения спектра
Многостепенные промышленные роботы и манипуляторы	Перемещение объекта с преодолением препятствия	Атмосфера, вакуум		Повышение кинематических возможностей
Гибкие производственные системы микроэлектроники	Информационно-измерительные устройства	Атмосфера		Определение текущих положений подвижных объектов

эмиссионного катода, что приводит к увеличению концентрации ионизированных атомов рабочего газа. С помощью магнитной системы происходит фокусировка и локализация плазмы вблизи мишени, ℓ -координатное исполнительное устройство в данном случае может обеспечивать перемещение подложкодержателя по заданному закону движения и, как результат, создание тонкоплёночного покрытия с заданным законом распределения толщины напыляемого слоя.

Оборудование молекулярно-лучевой эпитаксии.

Опыт эксплуатации многокамерных установок молекулярно-лучевой эпитаксии показал, что промышленное оборудование должно обеспечивать получение равномерных по толщине структур на диаметре подложки 76–100 мм и более, ультравысокую чистоту в рабочих камерах, более высокую производительность, расширение технологических возможностей установок, высокий уровень автоматизации основных и вспомогательных операций. Для улучшения однородности плёнки могут быть использованы методы перераспределения вещества, попадающего на подложку с помощью неподвижной или вращающейся диафрагмы или за счёт вращения подложки. Применение диафрагмы уменьшает процент использования рабочего вещества источника, а вращение подложки усложняет конструкцию устройства нагрева, поэтому наиболее целесообразно движение подложки по сложной траектории с тремя или шестью степенями подвижности, чему наиболее полно удовлетворяют исполнительные устройства на основе плоских и пространственных ℓ -координат.

Оборудование оже-спектрального послойного анализа. Метод электронной оже-спектроскопии (ЭОС) используется для химического анализа поверхности объекта в точке. С помощью растровой ЭОС возможно определение пространственного распределения химических элементов на поверхности, а при послойном анализе – трехмерного распределения элементов. Для получения высокой разрешающей способности необходима полная виброзоляция оборудования от пола, а также отдельных устройств от оборудования.

Для решения этой проблемы наиболее целесообразный подход – использование специальных многокоординатных демпферов, что может быть решено применением ℓ -координатных устройств гашения колебаний. В результате чего достоверность воспроизводимого спектра повышается.

Многостепенные промышленные роботы и манипуляторы. В промышленных роботах и манипуляторах устройства на основе ℓ -координат могут быть использованы в качестве исполнительных и информационных как для плоского, так и для пространственного движения. Принимая во вни-

мание, что ℓ -координаты одновременно являются и обобщенными координатами, т. е. независимыми, упрощается управление движением ПР, так как обеспечивается непосредственное измерение текущих значений ℓ -координат с учётом влияния деформаций звеньев руки промышленного робота на положение схвата в пространстве.

Гибкие производственные системы электронной техники. Здесь ℓ -координатные устройства могут быть использованы для определения положения и перемещения объектов в пространстве.

Перечисленное оборудование не исчерпывает всех возможных областей применения ℓ -координатных устройств.

В заключение следует отметить, что отличительной особенностью современного этапа электронного машиностроения является решение вопросов нахождения рациональных соотношений между возрастающими требованиями к производительности оборудования электронного производства и качеству выпускаемой продукции, которое во многом зависит от используемых в оборудовании исполнительных устройств.

Существенное повышение эксплуатационных характеристик оборудования электронного производства может быть достигнуто за счёт использования устройств на основе ℓ -координат, которые, по сравнению с традиционными исполнительными устройствами, могут одновременно выполнять функции манипуляторов, транспортных устройств, гасителей колебаний и др.

Разработанная система ℓ -координат, являясь сравнительно новым математическим аппаратом, открывает широкие возможности получения позитивных результатов при решении прикладных задач в различных областях науки и технологий, связанных с движением твёрдого тела в пространстве, в том числе в системах гибких автоматизированных и роботизированных производств, виброметрии, навигации, технической диагностики, механизмах для ориентации и перемещения изделий (например, [4]) и др.

Библиографические ссылки

1. Колискор А.Ш. разработка и исследование промышленных роботов на основе ℓ -координат // Станки и инструмент. 1982. № 12. С. 21–24.
2. Василенко Н.В., Ивашов Е.Н., Степанчиков С.В. и др. Расчёт и конструирование механических систем оборудования аэрокосмической и электронной техники: Учеб. пос. для вузов. Томск: МГП «РАСКО» при изд-ве «Радио и связь», 1999. 304 с.
3. Ивашов Е.Н. Устройства на основе ℓ -координат в оборудовании электронной техники: Учеб. пос. М.: МИЭМ, 1995. 35 с.
4. А.с. 1366389 СССР: МКИ 4 В25 J, 11/00. Механизм для ориентации и перемещения изделий.



УДК 658.512.2

Г.Х. Ирзаев, канд. техн. наук, доц.

(Дагестанский государственный технический университет, г. Махачкала)

irzajev@mail.ru

ВЫБОР КОЛИЧЕСТВЕННОГО СОСТАВА ЭКСПЕРТНОЙ ГРУППЫ ПРИ ОЦЕНКЕ СВОЙСТВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ИЗДЕЛИЙ

Предложены рекомендации по выбору количественного состава экспертной группы при первоначальном её формировании и организации повторной экспертизы. Обоснована необходимость учёта факторов, влияющих на количественный состав экспертной группы.

Ключевые слова: экспертная группа, надёжность оценок, погрешность оценок.

Guidelines for authority group numerical composition choice when primary forming and repeated examination arrangement are proposed. Factors accounting necessity that have an influence on authority group numerical composition is substantiated.

Key words: authority group, valuation safety, valuation error.

Введение. Эффективному исследованию экспертных методов для оценки и прогнозирования разнообразных свойств промышленных изделий препятствует слабая обоснованность теории и неизвестность практической методологии выполнения отдельных этапов экспертной оценки. В работе [1], посвящённой вопросам отбора компетентных экспертов и процедурам назначения ими оценок, затронуты эти проблемы. Кроме этого, недостаточно разработаны и требуют специальных научных исследований вопросы организации экспертиз и, в частности, правильный выбор количественного состава экспертной группы. Количество экспертов должно быть минимальным для уменьшения трудоёмкости процедур опроса и обработки информации, но достаточным, чтобы получить прогнозные оценки, точность и надёжность которых были бы выше некоторого предварительно заданного доверительного уровня. При большом количестве экспертов их мнения становятся несогласованными (в основном за счёт экспертов низкой квалификации) и возникают трудности в организации экспертизы.

Анализ рекомендаций и доводов из научной литературы по экспертным оценкам позволяет говорить о произвольном определении количества экспертов.

Методика определения количественного состава экспертной группы. При формировании экспертной группы на предварительном этапе выявляется и стабилизируется работоспособная сеть экспертов, которую считаем генеральной совокуп-

ностью специалистов, компетентных в предметной области решаемых производственных задач. Однако при практических ограничениях целесообразно выполнять репрезентативную выборку экспертов из генеральной совокупности.

Для научно обоснованной методики определения количества экспертов используем рекомендации, содержащиеся в теории вероятностей [2].

Из формулы предельной ошибки для повторной выборки

$$\Delta = \frac{t\delta}{\sqrt{n}},$$

где t – табулированное значение плотности функции распределения нормированной случайной величины для некоторой надёжности оценки α ; δ – среднее квадратическое отклонение в выборке; n – объём выборки,

определим число экспертов

$$n = \frac{t^2 \delta^2}{\Delta^2}. \quad (1)$$

Применительно к задаче оценки или прогнозирования свойств изделия δ означает среднее квадратическое отклонение прогнозируемой величины некоторого свойства (показателя), показатель t соответствует принятому уровню доверительной вероятности (чаще всего $t = 3$ при доверительной вероятности 99,7 %), а показатель Δ – абсолютной величине предельной ошибки (погрешности) результата.

Однако величина δ^2 , характеризующая дисперсию оценки, зачастую неизвестна, особенно когда экспертная группа формируется заново, её опрос ранее не проводился и эту величину невозможно определить по предыдущим экспертизам. В данном случае воспользуемся приближёнными методами оценки дисперсии результата:

проведём предварительный контрольный опрос экспертов, на базе которого определяется величина дисперсии оценки свойства:

$$\delta^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_{\text{контр}})^2}{n},$$

где x_i – оценка свойства изделия, данная i -м экспертом; $\bar{x}_{\text{контр}}$ – среднее арифметическое значение оценок по результатам контрольного опроса; n – число экспертов, участвовавших в контрольной оценке свойств промышленного изделия;

зададим погрешность не в виде абсолютной величины Δ , а в виде относительной погрешности Δ^* , выраженной волях от δ (даже если значение δ неизвестно). Тогда с учётом того, что $\Delta^* = \frac{\Delta}{\delta}$, формула (1) запишется в виде

$$n = \frac{t^2}{\Delta^{*2}}; \quad (2)$$

если возможно, то с достаточной точностью укажем максимально и минимально возможные значения прогнозируемой оценки свойства (показателя) среди экспертов, т. е. будем считать нормальным, а распределение значений оценок включим в промежуток $\bar{x} \pm 3\delta$, который содержит 99,7 % всех вариантов значений прогноза.

Тогда среднее квадратическое отклонение определится из выражения

$$\delta = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{6}.$$

Если данная экспертная группа ранее уже давала оценки свойств каких-либо других промышленных изделий, то используем дисперсию результатов δ^2 этих оценок для нахождения количества специалистов, привлекаемых к новой экспертизе. По результатам опроса можно определить и коэффициент вариации оценок:

$$V = \frac{\delta}{\bar{x}} 100 \%,$$

где \bar{x} – среднее значение экспертных оценок свойства изделия.

Тогда формула (1) запишется в виде

$$n = \frac{t^2 V^2}{\varepsilon^2},$$

где ε – относительная погрешность, задаваемая волях \bar{x} (обычно составляет 5 %).

Однако не следует исключать, что на выбор количества экспертов влияют не только надёжность и точность результатов экспертизы, но и трудоёмкость процесса опроса, управляемость группой, ограниченность количества квалифицированных специалистов на предприятии и др. Таким образом, в общем виде можно записать

$$n = f(\alpha, \Delta, K_{\text{тр}}, K_{\text{упр}}, K_{\text{пр}}),$$

т. е. количество экспертов есть функция от таких аргументов, как надёжность оценок α , точность (погрешность) Δ , допустимая трудоёмкость опроса $K_{\text{тр}}$, возможность управления экспертной группой $K_{\text{упр}}$, возможности предприятия по формированию экспертной группы $K_{\text{пр}}$.

Расчётные значения количественного состава экспертной группы в зависимости от надёжности и погрешности оценок

Плотность функции распределения нормированной случайной величины, t	Надёжность оценок, α	Предельная ошибка (погрешность) оценки, Δ								
		0,5	0,45	0,4	0,35	0,3	0,25	0,2	0,15	0,1
1,00	0,683	4	5	7	9	12	16	25	45	100
1,96	0,950	16	19	24	32	43	62	96	171	384
2,00	0,954	16	20	25	33	45	64	100	178	400
2,58	0,990	27	33	42	55	74	107	167	267	666
3,00	0,997	36	45	57	74	100	144	225	400	900

Рассчитаем рекомендуемое количество экспертов для формирования новой группы. Зададим интервал изменения относительной погрешности Δ от 0,1 до 0,5 от среднего квадратического отклонения. Тогда расчётные значения n для соответствующих величин a и Δ , полученных по формуле (2), можно отразить в виде таблицы, в которой представлены уровни надёжности оценок a для соответствующих значений t . Наиболее предпочтительные варианты количества экспертов с округлением в большую сторону выделены рамкой.

Трудоёмкость проведения опроса экспертов значительно снижается при автоматизированных методах и использовании вычислительной техники. Учёт влияния факторов $K_{\text{упр}}$ и $K_{\text{пр}}$ реализуется на основании обобщения практического опыта проведения экспертиз. Состав группы из 12–18 человек можно считать оптимальным по параметрам $K_{\text{упр}}$, $K_{\text{пр}}$, $K_{\text{тр}}$ и приемлемым по точности и надёжности результатов.

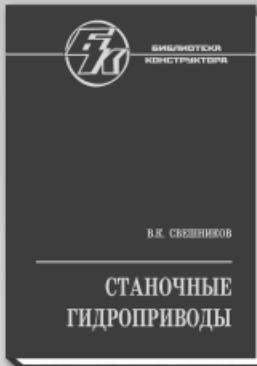
Заключение. Количество и качество исходной информации, используемой для получения обобщённого мнения, зависит от количества и качеств-

ва источников информации – экспертов. При определении количественного состава экспертной группы выдвигается требование достаточности числа экспертов для того, чтобы они в совокупности могли учесть существенные свойства задачи и предложить точное решение.

Довольно часто при формировании экспертных групп на предприятиях количество экспертов выбирается случайным образом, без обоснований и учёта действующих факторов. Разработаны рекомендации по повышению точности экспертных оценок за счёт оптимизации количественного состава экспертов как при формировании новых групп экспертов, так и при повторном привлечении экспертов к оценке.

Библиографические ссылки

- Ирзаев Г.Х.** Система отбора компетентных экспертов для решения проектно-производственных задач // Автоматизация и современные технологии. 2008. № 1. С. 40–46.
- Гмурман В.Е.** Теория вероятностей и математическая статистика. М.: Высшая школа, 2003. 479 с.



СТАНОЧНЫЕ ГИДРОПРИВОДЫ:

справочник (Библиотека конструктора).

В.К. Свешников

640 с.: ил. ISBN: 978-5-217-03438-3

Цена 770 р.

Приведены конструкции, основные параметры, габаритные и присоединительные размеры гидрооборудования главным образом стационарных машин, в том числе насосов, объемных гидродвигателей, гидроаппаратов, фильтров, аккумуляторов, теплообменников, приборов и сопутствующих товаров отечественного и частично зарубежного производства. Излагаются основы проектирования и расчета гидросистем, их монтажа и эксплуатации, а также основополагающие отечественные стандарты и стандарты ИСО. Справочник содержит максимум сведений, необходимых в практике проектирования и эксплуатации гидрооборудования, выполняя информационную и учебную функцию.

В 5-м издании (4-е изд. 2004 г.) существенно обновлены справочно-информационные сведения, проанализированы основные тенденции развития гидрооборудования мировых лидеров, дано описание ряда новейших зарубежных комплектующих изделий, чаще всего отсутствующих в отечественной номенклатуре (современные насосы и гидродвигатели, новая аппаратура, в том числе ввертного монтажа, аппараты связи с электронными системами управления, приборы и др.); приведены характеристики минеральных масел, размеры специальных резьб.

Для инженеров-конструкторов, изготовителей, а также обслуживающего персонала гидрооборудования стационарных машин (в том числе станков), может быть полезен преподавателям и студентам вузов.

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

по почте: 107076, г. Москва, Стромынский пер., 4; по факсу: (499) 269-48-97; по e-mail: realiz@mashin.ru

Дополнительную информацию можно получить по телефонам: (499) 269-66-00, 269-52-98 и на сайте WWW.MASHIN.RU



ВЫСТАВКИ И ПРЕЗЕНТАЦИИ

Softcloud – новое имя в технологиях «облачных вычислений»

В феврале этого года компания Softline, занимающая ведущие позиции в сфере лицензирования программного обеспечения, обучения и консалтинга, объявила о запуске в коммерческую эксплуатацию первого в России проекта, построенного на полноценной «облачной» SaaS-платформе, – Softcloud (www.softcloud.ru). Softcloud первый в России портал, предоставляющий клиентам большой выбор «облачных» решений, а разработчикам – платформу для разработки и полный цикл продвижения и продаж SaaS. Технологическим партнером проекта является компания Parallels.

«Российский рынок SaaS находится в самом начале своего пути, и нет ни одного по-настоящему сильного игрока. Наш проект Softcloud является единственным и ведущим проектом подобного рода в России, это первый полноценный «облачный» сервис, и мы планируем стать основной SaaS-площадкой в России, – сказал Игорь Борови-ков, председатель совета директоров Softline. – Стратегия компании Softline – это лидерство, и мы планируем занять не менее 50% рынка SaaS-услуг в странах своего присутствия (17 стран мира по состоянию на начало 2010 г.). Стратегическое сотрудничество с мировым лидером в области автоматизации «облачных» сервисов – компанией Parallels, делает эту цель реальной и достижимой. Мне особенно приятно, что две российские компании могут предлагать решения мирового уровня и занимать лидирующие позиции».

Проект Softcloud нацелен на то, чтобы свести воедино разработчиков и покупателей SaaS-услуг. Клиентам Softcloud предоставляется большой выбор SaaS-решений, а разработчикам предлагается полный цикл организации процесса продаж, включающий предоставление платформы компании Softline для размещения сервисов и продвижение конечным пользователям. Технологическим партнером проекта является компания Parallels, и проект Softcloud построен на базе платформы Parallels Automation. Доступность и безопасность сервисов обеспечивает хостинг в распределенной сети ЦОД высокого уровня в России, Белоруссии, Европе и США.

«Внедрение Parallels Automation в рамках Softcloud – это первый проект автоматизации, реализованный нами в России. Для нас партнерство тем более ценно, что демонстрирует понимание крупными компаниями необходимости использования специализированных софтверных продуктов, облегчающих оказание SaaS-сервисов, – заявил Сергей Белоусов, генеральный директор Parallels. – Применение этих продуктов имеет также принципиальное значение для ускорения перехода к новой модели продаж – White Label, когда провайдеры облачных услуг могут становиться любые компании, желающие диверсифицировать свой бизнес».

Вендорами проекта Softcloud уже являются такие крупные разработчики SaaS-решений, как LogneX Co, Microsoft Corp, Google Ins, Symantek Corp, ITooLabs Co, АУБИ-центр, MetaQuotes Software Corp, Ideomax Software, Мегаплан, Moodle Pty Ltd. В настоящее время в каталоге Softcloud уже находится более 20 SaaS-сервисов, позволяющих снизить стоимость поддержки ИТ-инфраструктуры за счет отсутствия необходимости приобретения программного и аппаратного обеспечения, а также его обслуживания и обновления.

«В первую очередь, нам необходимо познакомить клиентов с SaaS-решениями и популяризовать данную модель использования ПО, – отметил Антон Салон, руководитель отдела корпоративных Интернет-решений. – Мы накопили достаточный опыт по продвижению «облачных» сервисов среди бизнес-клиентов и рассчитываем, что через несколько лет SaaS-модель использования ПО станет основной в России».

Для разработчиков SaaS-решений Softline предлагает несколько видов сотрудничества в области распространения и продвижения SaaS-решений. Softcloud предлагает полный цикл организации процесса продаж, включающий предоставление платформы для размещения сервисов и их продвижение конечным пользователям. Партнерство с Softcloud даст разработчикам возможность без лишних усилий предоставлять клиентам свои сервисы в кратчайшие сроки и с минимальными инвестициями. Также разработана модель по взаимодействию с партнерами по модели White label – Softcloud открыт к сотрудничеству с телекоммуникационными компаниями, хостинг- и интернет-провайдерами, которые заинтересованы в продвижении на рынок «облачных» сервисов через свои сети. Модель White label предполагает создание кастомизированных электронных торговых площадок на базе платформы Softcloud с минимальными временными и финансовыми затратами для партнеров.

Softline имеет представительства в основных городах России (Москва, Санкт-Петербург, Екатеринбург, Ростов-на-Дону, Самара, Уфа, Хабаровск, Новосибирск, Нижний Новгород, Казань, Красноярск, Омск, Челябинск, Пермь, Краснодар, Владивосток, Иркутск, Калининград, Волгоград, Саратов, Барнаул, Ижевск, Тюмень, Архангельск, Кемерово, Сыктывкар, Оренбург, Воронеж, Томск, Ульяновск, Набережные Челны, Ярославль, Сургут, Пенза, Ставрополь), Украины (Киев, Харьков), Беларуси (Минск, Гомель, Витебск, Брест), Казахстана (Алматы, Астана, Караганда, Актобе), Узбекистана (Ташкент), Киргизстана (Бишкек), Таджикистана (Душанбе), Азербайджана (Баку), Монголии (Улан-Батор), Грузии (Тбилиси), Туркменистана (Ашхабад), Армении (Ереван), Турции (Стамбул), Венесуэлы (Каракас), Вьетнама (Ханой), Ирана (Тегеран).



ОБЗОР ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ПЕЧАТИ

УДК 621.002.51

По страницам журналов

Контактная прочность зубьев зубчатых колёс ГТД, изготовленных электроэррозионной обработкой с применением методов химико-термического упрочнения. Упрочняющие технологии и покрытия. 2009. № 9.

Проведены исследования контактной прочности, шероховатости и микроструктуры рабочих поверхностей зубьев колёс ГТД, изготовленных электроэррозионной обработкой с последующей химико-термической обработкой. Выполнен сравнительный анализ разработанной и серийной технологий изготовления зубьев цилиндрических зубчатых колёс внешнего зацепления.

Исследовано качество поверхности слоя рабочих поверхностей зубьев зубчатых передач ГТД, изготовленных электроэррозионной обработкой. Установлено влияние режимов электроэррозионной обработки на качество рабочих поверхностей и их взаимосвязь с шероховатостью. Выполнен химический анализ поверхностей, изготовленных по предлагаемой и серийной технологиям.

Исследование эффективности применения полупроводникового лазерного излучателя для передачи сверхвысокоскоростного цифрового сигнала. Нано- и микросистемная техника. 2009. № 9.

Описаны принципы и особенности экспериментального исследования параметров лазерного излучателя в СВЧ диапазоне и качества передачи с помощью такого излучателя сверхвысокоскоростных цифровых сигналов.

Предложен простой осциллографический метод анализа качества передачи цифрового сигнала, позволяющий рассчитать коэффициент ошибок по результатам измерения геометрических параметров глаз-диаграмм переданного цифрового сигнала. Приведены методика и результаты исследования характеристик формы псевдослучайного сигнала, а также его глаз-диаграммы и коэффициента ошибок, подтверждающие эффективность применения разработанного лазерного излучателя с производением средней мощности на полосу модуляции более 300 мВт·ГГц для передачи цифрового сигнала со скоростью до 10 Гбит/с.

Проблемы развития робототехники в восстановительной медицине. Мехатроника, автоматика, управление. 2009. № 9.

Рассмотрено состояние робототехники в восстановительной медицине и возможные перспек-

тивы её развития. Обсуждены проблемы расширения сферы применения робототехники в восстановительной медицине в направлении профилактики оздоровления, сохранения и повышения работоспособности населения. Показано, что для обеспечения высокого терапевтического эффекта, безопасности и сервиса необходимо использование адаптивной интеллектуальной робототехники.

Система контроля качества заготовок при отрезке от пруткового материала. Контроль. Диагностика. 2009. № 9.

Приведена информация о возможностях построения системы автоматизированного контроля качества заготовок, получаемых отрезкой пластическим сдвигом от пруткового материала, с использованием программных и технических средств, позволяющих выполнять проверку качества каждой заготовки.

Влияние технологий абразивной обработки на сопротивление усталости деталей машин. Инженерный журнал «Справочник». 2009. № 9.

В настоящее время одним из важнейших эксплуатационных свойств деталей является сопротивление усталости. На данный параметр оказывает влияние большое число факторов: вид обработки, шероховатость поверхности, остаточные напряжения в поверхностном слое детали. Было установлено, что вид и режимы абразивной обработки могут в большом диапазоне изменять предел выносливости детали. Предложена расчётная методика определения предела выносливости по технологическим условиям обработки.

Разработка и реализация двухуровневого метода голосового управления на основе скрытых марковских моделей. Информационные технологии. 2009. № 9.

Предложена система голосового управления на основе скрытых марковских моделей, использующая двухуровневый метод распознавания команды. Она включает в себя собственные разработки автора, а также современные методы и идеи из области речевых технологий. Предложенная система имеет достаточную скорость работы и хорошее качество, что позволяет использовать её на практике в режиме реального времени.