

ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ
ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ

ՏԵԴԵԿԱԳԻՐ ИЗВЕСТИЯ

АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

ՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՍԵՐԻԱ
СЕРИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

Журнал издается с 1948 г.
Выходит 6 раз в год на русском языке

Խ Մ Թ Ա Գ Ր Ա Կ Ա Ն Կ Ո Լ Ե Գ Ի Ա

Կասյան Մ. Վ. (պատ. խմբագիր), Ազոնց Հ. Տ. (պատ. խմբագրի տեղակալ),
Ալեքսեևսկի Վ. Վ., Զաղոյան Մ. Ա., Հակոբյան Ռ. Ե.,
Սարգսյան Յու. Լ., Ստուկյան Մ. Գ., Տեր-Ազարի Ի. Ա.,
Փինաջյան Վ. Վ. (պատ. խմբագրի տեղակալ),
Պատասխանատու քարտուղար Ստեփանյան Զ. Կ.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Касьян М. В. (ответ. редактор), Азониц Г. Т. (зам. ответ. редактора),
Алексеевский В. В., Аюбян Р. Е., Зидоян М. А.,
Пинаджян В. В. (зам. ответ. редактора), Саркисян Ю. Л.,
Стакян М. Г., Тер-Азарьев Н. А.
Ответственный секретарь Степанян З. К.

МАШИНОСТРОЕНИЕ

М. В. КАСЬЯН, М. М. СИМОНЯН, М. Т. НАДЖАРЯН

УСТАЛОСТНАЯ ПРОЧНОСТЬ И ДЕМПФИРУЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ЧУГУННЫХ ДЕРЖАВОК ИНСТРУМЕНТОВ

Повышение демпфирующей способности режущего инструмента в условиях прерывистого резания в определенной степени снижает величину импульсной силы, возникающей в начальный момент контакта, и одновременно повышает работоспособность режущего инструмента в оптимальной зоне параметров режимов резания.

Излагаются результаты экспериментов использования державок, изготовленных из чугунов различных марок. Установлено, что наиболее приемлемым материалом для изготовления державок твердосплавных инструментов являются серые чугуны, обладающие удовлетворительными прочностными показателями и большими демпфирующими способностями [1]. Выбор марок чугуна проводился расчетным путем с последующей их проверкой в производственных условиях.

В зависимости от диаметра фрезы выбиралось поперечное сечение державки $b \times h$ и вылет l_p [2]. По максимальным значениям глубины резания и подачи ($B = 4 \times 10^{-3}$ м, $S_z = 0,3 \times 10^{-3}$ м/зуб), для данной геометрии инструмента определялась величина силы P_z , возникающей при обработке стали 45 [2], а также изгибающее напряжение в опасном сечении державки инструмента $\sigma_{из}$. Сравнением условия прочности $\sigma_{из} \leq [\sigma]$ делали вывод о пригодности данной марки серого чугуна для изготовления державок инструментов.

Принимая, что изменение напряжений во времени при прерывистом резании соответствует отнулевому циклу, расчет допускаемых напряжений проводился по формуле [3]

$$[\sigma] = \frac{\sigma_0}{k_0 \cdot \alpha_m \cdot \beta \cdot k_d}, \quad (1)$$

где $\sigma_0 = (1,5-1,6) \sigma_{-1}$; $k_0 = 1,4$ — коэффициент запаса прочности; $\alpha_m = 1$ — коэффициент, учитывающий влияние формы и материала державки; $\beta = 1$ — масштабный коэффициент; $k_d = \frac{P_{zy}}{P_z} = 1,37$ — коэффициент динамичности; P_{zy} — сила удара, возникающая при резании инструмента в обрабатываемый материал.

В таблице приведены результаты расчетов.

Наиболее рациональным материалом для изготовления державок с точки зрения обеспечения их усталостной прочности является серый чугун марки СЧ 20, у которого величина допускаемых напряжений имеет значение, близкое к возникающим изгибающим напряжениям, что связано с уменьшением импульсной силы резания за счет демпфирующей способности чугунов.

Таблица

Материал державки	$\sigma_{-1}, \text{Мн/м}^2$	$\sigma_0, \text{Мн/м}^2$	$[\sigma], \text{Мн/м}^2$	$\sigma_{\text{н}}, \text{Мн/м}^2$
СЧ 10	55	85,2	44,5	87,3
СЧ 15	80	124	64,6	
СЧ 18	95	147,2	76,7	
СЧ 20	110	170,5	88,9	
СЧ 24	130	201,5	105,1	

Получение виброграмм, достоверно описывающих процесс демпфирования колебаний, представляет собой сложную техническую задачу. Поэтому большое значение для получения надежных результатов имеет правильный выбор методики эксперимента, к которой представляется ряд требований [4].

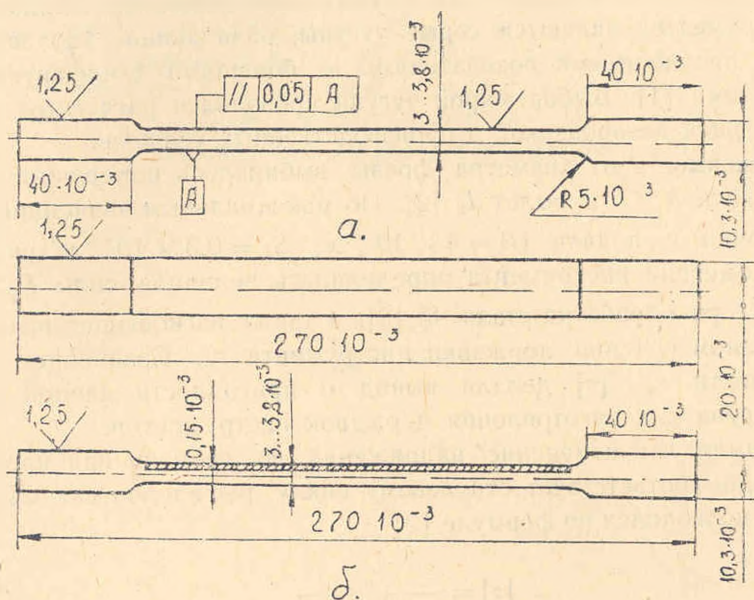


Рис. 1. Форма и размеры образцов.

Эксперименты по определению демпфирующих свойств стали 45, высокопрочного чугуна марки ВЧ 50—1,5, серых чугунов СЧ 15, СЧ 20, СЧ 24 и образцы из стали 45, покрытого слоем меди, проводились в ИПП АН УССР. Форма и размеры образцов приведены на рис. 1. Медное покрытие толщиной $(0,12-0,15) \times 10^{-3}$ м на стальной образец на-

носились методом напыления, что позволило получать равномерный слой меди М1, плотно прилегающий к поверхности образца по всей его длине. Это позволило повысить точность проводимых экспериментов и получить достоверные результаты о влиянии слоя медного припоя на демпфирующие способности инструмента.

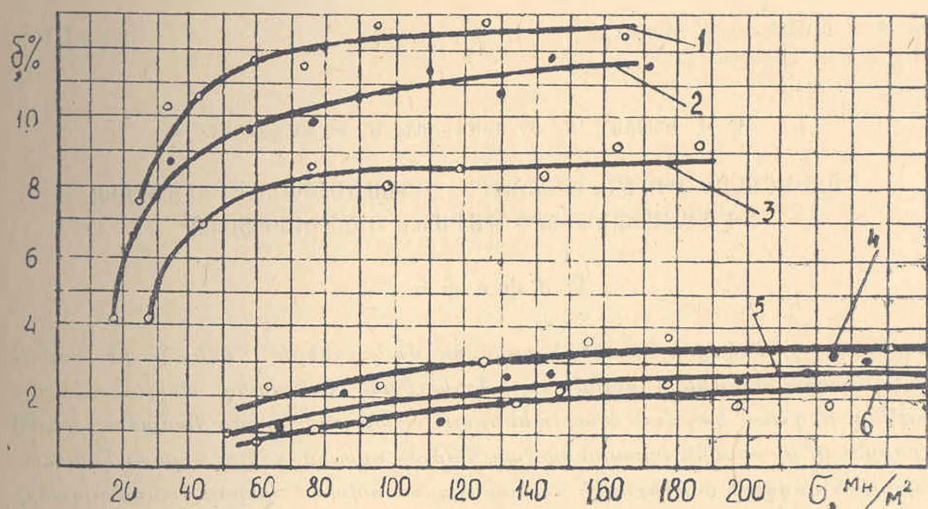


Рис. 2. Графические зависимости $\delta = f(\sigma)$. 1 — СЧ 15, 2 — СЧ 20, 3 — СЧ 24, 4 — ВЧ 50-1,5, 5 — сталь 45 с М1, 6 — сталь 45.

По результатам экспериментов построены графики зависимости $\delta = f(\sigma)$ — влияние напряжений в образце на величину логарифмического декремента колебаний (рис. 2). Как видно из рис. 2, при одних и тех же напряжениях значения декремента колебаний, а следовательно и демпфирующие способности у серых чугунов значительно выше, чем у высокопрочного чугуна, стали 45 и покрытой слоем меди стали 45, в то время, как разница между последними тремя незначительна. Этим можно объяснить приблизительное равенство стойкостей инструментов, полученных при сравнительных стойкостных испытаниях фрез с державками пожей из высокопрочного чугуна и стали 45 [5]. Анализ графических зависимостей показывает, что коэффициент поглощения, например, у СЧ 20 значительно выше, чем у высокопрочного чугуна, стали 45 и стали 45 с медным покрытием. Как видно из графиков, с точки зрения демпфирующих свойств и прочностных характеристик наиболее рациональным является применение в качестве материала державок инструментов серого чугуна СЧ 20, уступающего по своему коэффициенту поглощения серому чугуну СЧ 15 всего в (1,1—1,18) раз, что практически не приводит к уменьшению импульсной силы по сравнению с СЧ 20. Наличие медного покрытия на образцах из стали 45 приводит к некоторому повышению демпфирующих способностей, что может играть определенную роль при использовании стальных державок инструментов. При этом установлено, что практически влияние методов крепления твердосплавной пластины к державке на демпфирующую способ-

ность инструмента примерно одинаково. При использовании же в качестве материала державок серого чугуна, обладающего большой демпфирующей способностью, влияние слоя припоя или стыка (при механическом креплении пластины) на общую демпфирующую способность инструмента незначительно и им практически можно пренебречь.

Қир. фил. ЕрПИ им. К. Маркса

18. VIII. 1984

Մ. Վ. ԿԱՍՅԱՆ, Մ. Մ. ՍԻՄՈՆՅԱՆ, Մ. Թ. ՆԱԶԱՐՅԱՆ

ԳՈՐԾԻՔՆԵՐԻ ԹՈՒՋԵ ԻՐԱՆՆԵՐԻ ՀՈԳՆԱԾԱՅԻՆ ԱՄՐՈՒԹՅՈՒՆԸ ԵՎ ՏԱՏԱՆՈՒՄՆԵՐԻ ՄԱՐՄԱՆ ՈՒՆԱԿՈՒԹՅԱՆԸ

Ա մ փ ո փ ու մ

Կատարված է գորշ թուջերի տարբեր մակնիշների հոգնածային ամրության և տատանումների մարման ունակության համատեղ վերլուծում, այդ նյութերը ընդհատ կտրման պայմաններում աշխատող կարծր համաձուլվածքով գործիքների իրանների պատրաստման համար օգտագործելու նպատակով: Հավաքովի և զոդված գործիքների համար հաստատված է կարծր համաձուլվածքի թիթեղիկի ամրացման եղանակի աննշան և իրանի նյութի զգալի ազդեցությունը տատանումների մարման ունակության վրա: Յույց է տրված, որ նպատակահարմար է իրանները պատրաստել СЧ20 մակնիշի գորշ թուջից, որը բերում է դինամիկական գործակցի զգալի փոքրացման:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Симонян М. М., Саркисян М. С., Наджарян М. Т. Расчеты и применение резцов с режущей пластинкой на чугунной державке.— Инф. листок АрмНИИНТИ, сер. 55. 31. 29, № 9, Машиностроение, 1982.— 3 с.
2. Справочник машиностроителя. Под ред. Э. А. Сателъ.— М.: Машиностроение, т. 5 (II), 1964.— 690 с.
3. Серенсен С. В., Когаев В. П., Шнейдерович Р. М. Несущая способность и расчеты деталей машин на прочность.— М.: Машиностроение, 1975.— 488 с.
4. Писаренко Г. С., Яковлев А. П., Матвеев В. В. Вибропоглощающие свойства конструкционных материалов.— Киев: Наукова думка, 1971.— 374 с.
5. Клецкий Г. И. К вопросу о применении чугуна в инструментальном производстве.— В кн.: Литой и наплавляемый инструмент. М.: Машгиз, 1951, с. 225—233.

МАШИНОСТРОЕНИЕ

А. А. ИСКАНДАРЯН

КОЛЕБАНИЯ НЕУРАВНОВЕШЕННЫХ РОТОРОВ
НА ПОДШИПНИКАХ КАЧЕНИЯ

Тенденция снижения показателей материалоемкости, шума и вибрации электрических машин (ЭМ) выдвигает задачи уменьшения виброактивности и максимального использования конструктивных запасов прочности их основных узлов. Эти задачи в основном решаются на этапе проектирования ЭМ путем создания уточненных методик расчетной оценки динамической прочности и жесткости их основных сборочных единиц. Точность решения указанных задач зависит от правильного выбора адекватной динамической модели механической колебательной системы, учета диссипативных свойств и технологических особенностей ЭМ. Наличие в подшипниках качения радиального зазора, контактной податливости тел и дорожек качения, а также упругости смазывающей пленки позволяет подшипнику приписывать свойства нелинейной упругости и вязкоупругого демпфирования [1—2].

Считая, что масса ротора равномерно распределена по всей длине, корпус жестко закреплен к фундаменту и вместе со щитом обладают конечной жесткостью, динамическую модель асинхронной ЭМ можно представить в виде, показанном на рисунке. Задача колебания ротора сводится к колебанию вала постоянного сечения на нелинейных упруго-демпферных опорах. Рассмотрим вынужденные колебания системы под воздействием сил от неуравновешенности ротора и одностороннего магнитного притяжения.

Система уравнений будет иметь вид:

$$\begin{cases} M_{\text{ш}} \ddot{Z}_n(t) + K_{\text{пр}} Z_n(t) + b [\dot{Z}_n(t) - \dot{W}(f_n, t)] + B_n(t) = 0, \\ n = 1, 2 \\ \frac{\partial^4 W(\xi, t)}{\partial \xi^4} - \gamma^2 \left[\frac{\partial^4 W(\xi, t)}{\partial \xi^2 \partial t^2} - 2\omega i \frac{\partial^3 W(\xi, t)}{\partial \xi^2 \partial t} \right] + \gamma_1^2 \frac{\partial^2 W(\xi, t)}{\partial t^2} = \\ = \gamma_1^2 \varepsilon \omega^2 e^{i\omega t} + k_2 L^4 e^{i\omega k_2 t} / EJ, \quad \xi = S/L. \end{cases} \quad (1)$$

Здесь приняты следующие обозначения:

$Z_n(t)$, $W(\xi, t)$ — соответственно перемещение щита и прогиб вала, m ; $K_{\text{пр}}$ — приведенная жесткость станины, H/m ; b — коэффициент рассея-

ния в подшипниках качения, обусловленный наличием масляной пленки: $B_n(t)$ — функция, характеризующая нелинейные свойства подшипников качения:

$$\gamma_1^2 = \frac{1}{EJ} (\rho F + M_{np}/L) L^4; \quad \gamma_2^2 = \frac{1}{EF} (\rho F + M_{np}/L) L^2,$$

L , EJ , ρ — длина, изгибная жесткость сечения и плотность материала вала, м , Нм^2 и кг/м^3 ; $M_{ш}$, M_{np} — масса щита и пакета ротора, кг ; ω , F , ϵ — угловая скорость вращения, приведенная площадь поперечного сечения и неуравновешенность ротора, с^{-1} , м^2 и м ; k_1 — амплитуда силовой волны от магнитной индукции в зазоре, н ; $k_2 = 2\pi m$, где m — число зубцов ротора; f_n — символ Кронекера;

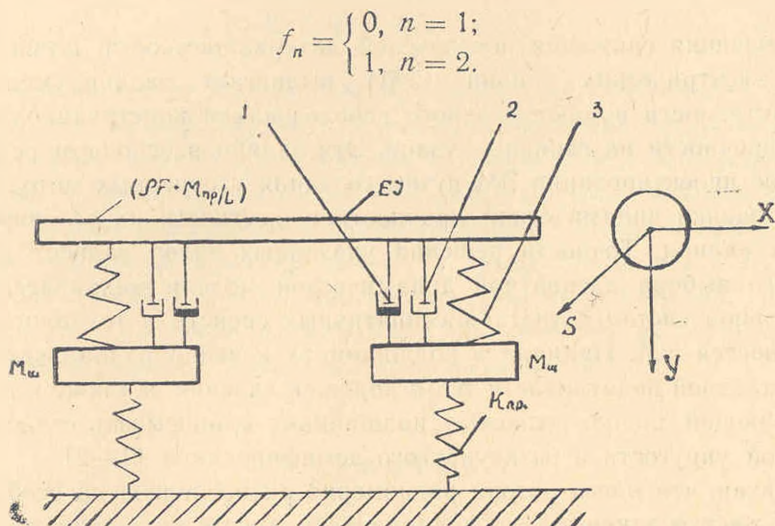


Рис. Динамическая модель ЭМ. 1, 2 — демпфирующие элементы, учитывающие вязкость масляной пленки и сухое трение в подшипнике качения; 3 — упругий элемент, учитывающий нелинейную податливость в подшипниках качения.

Начальные условия нулевые, а граничные условия имеют вид:

$$\begin{cases} \left. \frac{\partial^2 W(\xi, t)}{\partial \xi^2} \right|_{\xi=f_n} = 0; \\ \left. \frac{\partial^3 W(\xi, t)}{\partial \xi^3} \right|_{\xi=f_n} = \frac{L^3}{EJ} [b [\dot{W}(f_n, t) - Z_n(t)] + F_1(t) - B_n(t)], \end{cases} \quad (2)$$

где $F_1(t)$ — кинематическое возбуждение подшипников качения [3].

Так как граничные условия нелинейные, то обычные методы интегрирования линейных систем неприменимы. Поэтому для решения системы уравнений (1) применяется метод Лапласа для нелинейных уравнений [4]:

$$\left\{ \begin{aligned} Z_n(p) &= \frac{1}{\Delta(p)} [bp W(f_n, t) - L(B_n(t))]; \\ W(\xi, t) &= \frac{1}{g(p)} \sum_{j=1}^2 (-1)^{j+1} \beta_{j+1}(p) \left\{ \frac{1}{\gamma_1 p} [N_1(p) + L_1(p) - \right. \\ &\quad \left. - \beta_{j+1}^2(p) W'(0, p)] \operatorname{sh} \beta_j(p) \xi - W(0, p) [\beta_{j+1}(p) \operatorname{ch} \beta_j(p) \xi - \right. \\ &\quad \left. - a_0(p) \operatorname{sh} \beta_j(p) \xi] \right\}, \quad \beta_1(p) = \beta_2(p), \end{aligned} \right.$$

где

$$g(p) = \sqrt{\gamma^4(p - 2\omega i)^2 - 4\gamma_1^2}; \quad \Delta(p) = M_{\text{ш}} p^2 + bp + K_{\text{нр}};$$

$$a_0(p) = \frac{bpL^3(\Delta(p) - bp)}{EJ\Delta(p)};$$

$$\beta_{1,2}(p) = \sqrt{\frac{p}{2} [\gamma^2(p) - 2\omega i \pm \sqrt{\gamma^4(p - 2\omega i)^2 - 4\gamma_1^2}]};$$

$$L_n(p) = \frac{[bp - \Delta(p)] L^3}{EJ\Delta(p)} L(B_n(t));$$

$L(B_n(t))$ — символическое преобразование Лапласа для нелинейного члена $B_n(t)$; $N_1(p)$, $N_2(p)$ — принятые математические обозначения; $W(0, p)$, $W'(0, p)$ — постоянные интегрирования, определяемые из граничных условий (2).

Таким образом, задача сводится к определению функций $W(\xi, t)$ и $Z_n(t)$ с помощью обратного преобразования Лапласа. Для этого в уравнениях сначала пропускаются все нелинейные члены и вычисляются первые приближения неизвестных функций, а затем с их помощью вычисляются нелинейные члены. Полученные при этом результаты используются для вычисления вторых приближений и т. д. Для обратного преобразования Лапласа при определении функций $W(\xi, t)$ и $Z_n(t)$ используется приближенный метод Папулиса [5]. Этот метод удобен тем, что сравнительно быстро дает пригодные для практических расчетов результаты. Согласно этому методу

$$W(\xi, t) = \frac{1}{2} \sum_{\nu=0} G_{\nu}(\xi, \sigma) \sin(2\nu + 1)\lambda,$$

где $\lambda = \arccos e^{-\sigma t}$, σ — любое число, для малых t выбирается большим, для больших t — малым.

Коэффициенты $G_{\nu}(\xi, \sigma)$ определяются из рекуррентного уравнения

$$\frac{4^{n+1}}{\pi} \sigma W[\xi(2\nu + 1)\sigma] = \sum_{k=0}^n \left[\binom{2n}{k} - \binom{2n}{k-1} \right] G_{k(n-k)},$$

где $n = 0, 1, \dots$; $k = 0, 1, \dots, n$; $\nu = n - k$.

Функция $Z_n(t)$ определяется аналогичным образом.

Результаты рассмотренной задачи позволяют дать оценку уровня вибрации электрических машин и жесткости ротора при их функционировании, а также определить напряжения, возникающие при этом в сечениях ротора. В таблице приводятся расчетные и экспериментальные данные для электродвигателя 4АА63.

Таблица

Параметр	Значения параметров	
	расчетное	экспериментальное
$[\sigma]$, $Па$	$23 \cdot 10^5$	$25 \cdot 10^5$
$\dot{Z}_1$, $М/с$	$7,5 \cdot 10^{-4}$	$9 \cdot 10^{-4}$
$\dot{Z}_2$, $М/с$	$6,5 \cdot 10^{-4}$	$8,5 \cdot 10^{-4}$
$[W]$, $М$	$0,46 \cdot 10^{-7}$	$0,5 \cdot 10^{-7}$

НИИЭлектромаш

15. V. 1984

Ա. Ա. ԻՍԿԱՆԴԱՐՅԱՆ

ԳԼՈՐՄԱՆ ԱՌԱՆՅՔԱԿԱԼՆԵՐ ՌԵՆԵՑՈՂ ԱՆՀԱՎԱՍԱՐԱԿՇՈՎԱԾ ՌՈՏՈՐԻ ՏՆՏԱՆՈՒՄՆԵՐԸ

Ա մ փ ո փ ո լ մ

Դիտարկվում է ծանր առաձգական-մարող հենարաններ ունեցող բաշխված դանգվածով ռոտորի տատանումները անհավասարակշռության և միակողմանի մանգնիսական ձգողականության պայմանավորված ուժերի ազդեցության տակ: Ստացված ոչ գծային հավասարումները լուծվում են օպերացիոն մեթոդով: Լապլասի հակադարձ ձևափոխության ժամանակ օգտգործվում է մոտավոր մեթոդ:

Ստացված արգյունքները ունեն կիրառական նշանակություն ռոտորի թուլալարելի ճկվածքների, նրա հատույթներում առաջացած լարումների և էլեկտրական մեքենաների տատանումների մակարդակի հաշվարկային գնահատման համար:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Бейзельман Р. Д., Цыпкин В. В., Перель Х. Я. Подшипники качения.— М.: Машиностроение, 1975.— 574 с.
2. Позняк Э. Л. Нелинейные колебания неуравновешенных вертикальных роторов на подшипниках качения.— Машиноведение, 1971. № 1. с. 23—31.
3. Шеян Г. Г., Халатян Р. П., Кошкарян Г. Н. Динамика гибких роторов на подшипниках качения.— Изв. АН АрмССР (сер. ТН), 1980. т. XXXIII, № 2, с. 7—11.
4. Деч Г. Руководство к практическому применению преобразования Лапласа и Z преобразования.— М.: Наука, 1971.— 243 с.
5. Papoulis A. A. New method of inversion of the Laplace transform, — Quarterly of applied mathematics, 1957, № 14, p. 405—414.

ТЕХНИЧЕСКАЯ КИБЕРНЕТИКА

Г. В. ЯЛОЯН

ОБ ОДНОМ ПАРАМЕТРИЧЕСКОМ МЕТОДЕ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ОБЪЕКТА

На современном этапе развития автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП) наиболее актуальной проблемой представляется автоматизация функций контроля объекта управления на отдельных этапах его обработки [1]. В настоящее время имеются несколько подходов к решению этой проблемы с позиций теории искусственного интеллекта [2]. Наиболее эффективными нам представляются результаты, полученные при применении методов распознавания образов [3], для которых характерны широкая универсальность, высокая надежность и достоверность получаемых результатов.

Описываемый в статье метод оценки качества произвольного объекта предусматривает определение функциональной связи между качеством объекта и его параметрами путем выявления степени влияния отдельных параметров на конечный результат.

Задачу определения функциональной связи между качеством объекта и его параметрами удобно формально представить в терминах теории измерений.

Пусть имеется эмпирическая система с отношением

$$S = \langle S, T \rangle, \quad (1)$$

где S — непустое множество объектов; T — бинарное отношение, имеющее смысл «качественнее чем». Так же задана производная система измерений:

$$Z = \langle S, X_1, X_2, \dots, X_m \rangle, \quad (2)$$

где $X_1, X_2, \dots, X_m$ — определенные в S числовые функции (признаки).

Назовем систему с отношением $S' = \langle S', T' \rangle$ подсистемой с отношением S , если ее областью является подмножество множества элементов системы S ($S' \subset S$), а отношение T' — подмножество отношения T .

Далее, определим на некоторой конечной подсистеме

$$S' = \langle S', T' \rangle$$

функцию G , гомоморфно отображающую ее в конечную числовую систему с отношением

$$R' = \langle A, „\langle „\rangle,$$

где A — конечное множество действительных чисел (оценок качества); « $\langle$ » — отношение, имеющее смысл «меньше чем».

Тогда имеет место выражение:

$$\forall s_i, s_j \in S [s_i Ts_j \rightarrow G(s_i) \geq G(s_j)]. \quad (3)$$

Искомый критерий качества определяется как числовая функция

$$F = F(X_1, X_2, \dots, X_m), \quad (4)$$

для которой справедливо следующее утверждение:

$$\forall s_i, s_j \in S [s_i Ts_j \rightarrow F_i \geq F_j], \quad (5)$$

где

$$F_l = F(X_1^l, X_2^l, \dots, X_m^l), \quad l = i, j; \quad X_k^l = X_k(S_l), \quad k = 1, 2, \dots, m.$$

Таким образом, установлено гомоморфное отображение системы S в числовую систему с отношением

$$R = \langle B, „\langle „\rangle,$$

где B — подмножество действительных чисел.

Обычно, оценивая качество того или иного объекта, эксперт пытается проанализировать в первую очередь отклонения от нормы отдельных наиболее важных на его взгляд, параметров объекта, а затем вывести интегрированную оценку всего объекта в целом.

Формализуем логические действия эксперта и при достаточно общих предположениях и некоторых дополнительных ограничениях построим модель процесса оценивания качества объекта.

Модель представляет собой бинарное дерево решений, в вершинах которого расположены многоместные предикаты вида:

$$P = L_1 \vee L_2 \vee \dots \vee L_k;$$

$$L_i(X_{i1}, X_{i2}, \dots) = (X_{i1} > \alpha_{i1}) \wedge (X_{i2} > \alpha_{i2}) \wedge \dots,$$

где α_{ij} — граничные значения признаков.

Количество одноместных предикатов, входящих в предикат L_i , в принципе произвольно и ограничивается априори заданным числом D . Количество многоместных предикатов конечно. Конечные вершины дерева идентифицируют различные классы качества, причем качество объектов улучшается по мере продвижения по дереву «сверху вниз», т. е. класс 1 — класс объектов самого плохого качества, класс 2 — следующий по качеству и т. д. Описание класса 3, например, таково: это множество объектов, для которых истинен предикат $\bar{P}_1 \wedge \bar{P}_2 \wedge P_3$ (черточка сверху означает отрицание).

Выбор дерева решений именно такой конфигурации, а также конкретный вид многоместных предикатов обусловлен следующими основными гипотезами.

1. Крайним значениям информативных признаков соответствуют объекты худшего качества и наоборот, те признаки информативны, которые на объектах худшего качества принимают крайние значения.

2. Объекты худшего качества в общем случае описываются с помощью меньшего числа признаков, чем объекты лучшего качества.

3. Для всякого объекта лучшего качества предикат, идентифицирующий объекты худшего качества, должен быть ложным.

Введем для подмножеств множество S' понятие „оценка качества подмножества“. Оценка $\tilde{A}(M)$ подмножества $M \subseteq S'$ является функцией оценок A объектов этого подмножества и должна отражать интегральную оценку подмножества в целом. Естественным определением оценки подмножеств является среднеарифметическое значение оценок объектов, входящих в это подмножество:

$$\tilde{A}(M) = \frac{1}{m} \sum_{S \in M} A(S), \quad (6)$$

где m — количество объектов в M .

В общем случае способ задания оценки зависит от шкалы, с помощью которой измерялись объекты из S' .

Алгоритм формирования функциональной связи между критерием качества объекта и его признаками, использующий приведенные гипотезы, строится по следующей схеме.

Исходными данными алгоритма является матрица $n \times (m + 1)$, где n — количество объектов в S' , m — количество признаков, описывающих объект, $(m + 1)$ -ый столбец — оценки A .

Для всех признаков $X_1, X_2, \dots, X_m$ вычисляются оценки подмножеств объектов, соответствующих одному, двум, ..., n их крайне большим значениям. Запоминается описание подмножеств вида $X_i > \alpha_i$, оценка которых минимальна (подмножества «наихудшего» качества). То же самое выполняется для крайне малых значений признаков и запоминается описание вида $X_i < \beta_i$. Соединяя полученные одноместные предикаты конъюнкциями по 2, 3, ..., r , вычисляем оценки подмножеств, для которых полученные многоместные предикаты истинны. Описание подмножества, оценка которого минимальна, помещается в вершину формируемого дерева, а объекты этого подмножества исключаются из S' , после чего процесс повторяется до тех пор, пока все объекты из S' не окажутся описанными.

Значение критерия качества F для всех объектов подмножества, соответствующего конечной вершине дерева, приравнивается к оценке всего множества.

Если оценки подмножеств двух соседних конечных вершин окажутся статистически неразличимыми, то предикаты, идентифицирующие

эти подмножества, объединяются дизъюнкцией, а вершины сливаются в одну.

В результате работы алгоритма формируется дерево решений, т. е. определяется функциональная связь (4) между критерием качества и параметрами объекта.

Кроме основной задачи — определения связи между качеством объекта и параметрами — описанный алгоритм может быть использован и для решения другой задачи, имеющей самостоятельное значение: определение информативности признаков, что позволяет сформировать оптимальную систему признаков. Действительно, признаки, входящие в предикаты вершин, ближайших к корню сформированного дерева решений, следует признать более важными, чем признаки, с помощью которых формируются предикаты «низшего уровня». Признаки, вообще не участвующие в описании классов качества, либо совершенно несущественны, либо они полностью могут быть заменены комбинацией остальных признаков.

Таким образом, предложенный метод позволяет получить критерий качества объекта, максимально адекватный реальной функциональной зависимости качества объекта от его параметров.

ЕрПИ им. К. Маркса

18. IX. 1983

Գ. Վ. ՅԱՍՏՍԱՆ

ՕՐՅԵԿՏԻ ՈՐԱԿԻ ԳՆԱՀԱՏՄԱՆ ՄԻ ՊԱՐԱՄԵՏՐԱԿԱՆ ՄԵԹՈԴԻ ՄԱՍԻՆ

Ա մ փ ո փ ո լ մ

Հոդվածում շարադրված է օբյեկտի որակի չափանիշի կազմավորման պարամետրական մեթոդ, որը հիմնված է օբյեկտի որակի և նրա պարամետրերի միջև ֆունկցիոնալ կապի հաստատման վրա: Մշակված մեթոդը թույլ է տալիս նաև հայտնաբերելու տեղեկատու հատկանիշների լավագույն համախմբությունը: Մեթոդում կիրառված սկզբունքները բավականին համընդհանուր են, որը թույլ է տալիս կիրառել այն գիտատեխնիկական և ժողովրդատնտեսական բազմազան խնդիրների լուծման համար:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Шиндовский Э., Шюрц О. Статистические методы управления качеством.— М.: Мир, 1976.— 597 с.
2. Хант Э. Искусственный интеллект.— М.: Мир, 1978.— 558 с.
3. Фукунага К. Введение в статистическую теорию распознавания образов.— М.: Наука, 1979.— 368 с.

ТЕХНИЧЕСКАЯ КИБЕРНЕТИКА

Г. Л. АРЕШЯН, А. М. МЕЛКУМЯН

МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ УСТАНОВИВШИХСЯ РЕШЕНИЙ
В МНОГОМЕРНЫХ НЕЛИНЕЙНЫХ САУ ПРИ СЛАБЫХ
ВЗАИМНЫХ СВЯЗЯХ

В подавляющем большинстве исследования предельных циклов в нелинейных многомерных системах автоматического управления (МСАУ) производятся исходя из предположения о том, что в системе имеются одночастотные предельные циклы, т. е. отдельные контуры системы колеблются со своими амплитудами, но с одинаковой частотой. Обнаружение факта отсутствия одночастотных предельных циклов в нелинейных МСАУ еще не означает, что в данной системе исключены какие-либо периодические режимы в установившемся состоянии.

Натурные эксперименты на моделях показали, что при определенных параметрах в многомерной системе возникают устойчивые предельные циклы с различными частотами. Так, в системе с двумя входами и выходами со слабыми взаимными связями в обоих каналах имеются периодические сигналы, содержащие составляющие с частотами ω_1 и ω_2 , которые совпадают с частотами автоколебаний в первом и во втором контурах при отсутствии связей между ними.

Целью данной работы является построение установившихся решений с различными частотами в нелинейных МСАУ в отдельных каналах, когда между ними имеются слабые взаимные связи. Анализ МСАУ проводится на основе решения дифференциальных уравнений методом малого параметра.

Рассмотрим многомерную нелинейную систему автоматического управления с тремя входами и выходами, структурная схема которой изображена на рисунке [1].

Здесь R_i представляют собой последовательное соединение нелинейного звена и линейной части. Производя перенос сумматоров через чисто линейные звенья H_i , представим исходную систему при помощи уравнений:

$$\begin{cases} (1 + R_1 H_1) x = R_1 H_1 \lambda_1 + \varepsilon_{12} H_1 y + \varepsilon_{13} H_1 z; \\ (1 + R_2 H_2) y = R_2 H_2 \lambda_2 + \varepsilon_{21} H_2 x + \varepsilon_{23} H_2 z; \\ (1 + R_3 H_3) z = R_3 H_3 \lambda_3 + \varepsilon_{31} H_3 x + \varepsilon_{32} H_3 y. \end{cases} \quad (1)$$

Учитывая наличие нелинейностей в R_i ($i = 1, 2, 3$), введем обозначение: $R_i = r_i \cdot R_i^0$, что соответствует последовательному соединению чисто нелинейных и линейных звеньев. Будем рассматривать автономные системы, т. е. $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = 0$. Расписывая сигналы по контурам для случая нечетных нелинейностей и принимая

$$R_i^0 = \frac{K_i(p)}{D_i(p)}, \quad H_i = \frac{h_i(p)}{d_i(p)}, \quad i = 1, 2, 3,$$

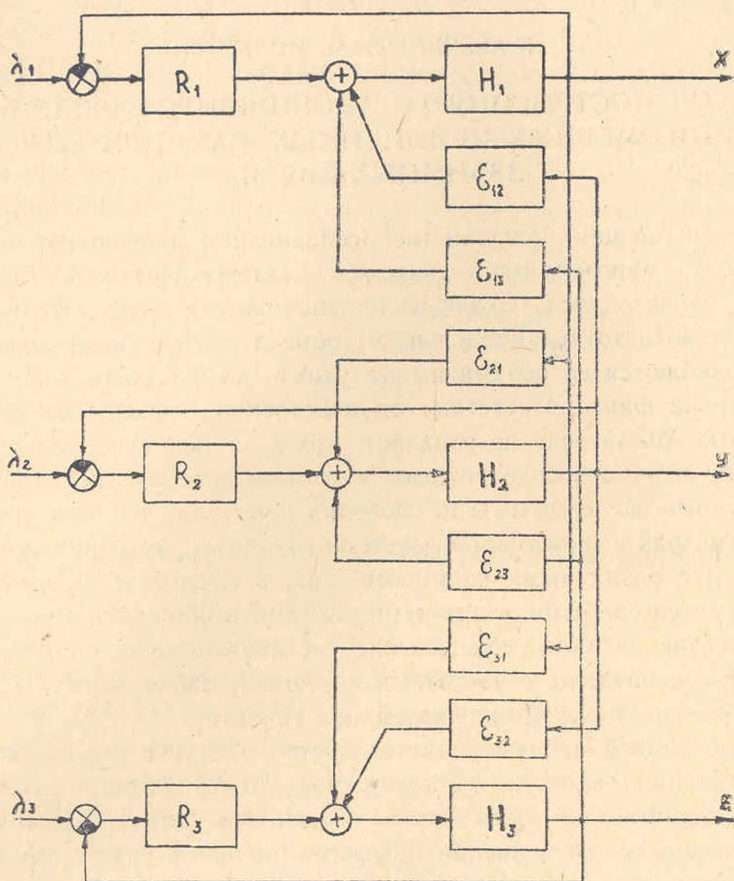


Рис.

получим систему уравнений:

$$\begin{cases} B_1(p)x = A_1(p)r_1(x) - \varepsilon_{12}C_1(p)y - \varepsilon_{13}C_1(p)z; \\ B_2(p)y = A_2(p)r_2(y) - \varepsilon_{21}C_2(p)x - \varepsilon_{23}C_2(p)z; \\ B_3(p)z = A_3(p)r_3(z) - \varepsilon_{31}C_3(p)x - \varepsilon_{32}C_3(p)y, \end{cases} \quad (2)$$

где

$$A_i(p) = K_i(p) \cdot h_i(p); \quad B_i(p) = -D_i(p) \cdot d_i(p); \quad C_i(p) = D_i(p) \cdot h_i(p),$$

$$i = 1, 2, 3.$$

Решение системы (2) можно найти при помощи разложения переменных x, y, z по малому параметру. В силу того, что взаимосвязи между контурами имеют одинаковый порядок, можно ограничиться введением одного параметра. Нулевые приближения указанных переменных могут быть определены из условия отсутствия взаимосвязей между контурами, что будет соответствовать системе:

$$\begin{cases} (1 + r_1(-x) R_1^0 H_1) x = 0; \\ (1 + r_2(-y) R_2^0 H_2) y = 0; \\ (1 + r_3(-z) R_3^0 H_3) z = 0. \end{cases} \quad (3)$$

Решая систему (3) методом гармонического баланса, получим параметры предельных циклов в контурах: $\omega_1^0, A_1^0; \omega_2^0, A_2^0; \omega_3^0, A_3^0$.

Рассмотрим систему, в которой в качестве нелинейностей берутся характеристики с зоной нечувствительности и высотой ограничения, равной единице, а линейные звенья представлены выражениями:

$$R_i^0 = \frac{k_{p_i}}{p(pT_{p_i} + 1)}; \quad H_i = \frac{q_i}{pT_i + 1}, \quad i = 1, 2, 3.$$

Тогда

$$K_i(p) = k_{p_i}; \quad D_i(p) = p(pT_{p_i} + 1); \quad k_i(p) = q_i; \quad d_i(p) = pT_i + 1.$$

Учитывая это, система уравнений (2) принимает вид:

$$\begin{cases} p(pT_{p_1} + 1)(pT_1 + 1)x = -k_1 r_1(x) + \epsilon_{12} q_1 p(pT_{p_1} + 1)y + \\ \quad + \epsilon_{13} q_1 p(pT_{p_1} + 1)z; \\ p(pT_{p_2} + 1)(pT_2 + 1)y = -k_2 r_2(y) + \epsilon_{21} q_2 p(pT_{p_1} + 1)x + \\ \quad + \epsilon_{23} q_2 p(pT_{p_2} + 1)z; \\ p(pT_{p_3} + 1)(pT_3 + 1)z = -k_3 r_3(z) + \epsilon_{31} q_3 p(pT_{p_3} + 1)x + \\ \quad + \epsilon_{32} q_3 p(pT_{p_3} + 1)y, \end{cases} \quad (4)$$

где $k_i = k_{p_i} \cdot q_i$.

Для случая, когда $|x| < \Delta_1, |y| < \Delta_2, |z| < \Delta_3$, имеем:

$$r_1(x) = r_2(y) = r_3(z) = 0,$$

где $\Delta_i, i = 1, 2, 3$ — ширина зон нечувствительности нелинейностей.

Для этого частного случая можно расписать систему дифференциальных уравнений (4), решение которой определяется известными методами. При

$$|x| > \Delta_1, \quad |y| > \Delta_2, \quad |z| > \Delta_3,$$

получим:

$$r_1(x) = \text{sign } x; \quad r_2(y) = \text{sign } y; \quad r_3(z) = \text{sign } z.$$

Введем обозначения:

$$F_i(p) = p(pT_{p_i} + 1)(pT_i + 1); \quad F_{12}(p) = F_{13}(p) = q_1 p(pT_{p_1} + 1);$$

$$F_{21}(p) = F_{23}(p) = q_2 p(pT_{p_2} + 1); \quad F_{31}(p) = F_{32}(p) = q_3 p(pT_{p_3} + 1),$$

для $i = 1, 2, 3$.

При введении одного малого параметра ε , а также с учетом того, что $\varepsilon_{ij} = \varepsilon k_{ij}$ при $i \neq j$, где $k_{ij} \approx 1$, система (4) примет вид:

$$\begin{cases} F_1(p)x - \varepsilon F_{12}(p)y - \varepsilon F_{13}(p)z = -k_1 \operatorname{sign} x; \\ -\varepsilon F_{21}(p)x + F_2(p)y - \varepsilon F_{23}(p)z = -k_2 \operatorname{sign} y; \\ -\varepsilon F_{31}(p)x - \varepsilon F_{32}(p)y + F_3(p)z = -k_3 \operatorname{sign} z. \end{cases} \quad (5)$$

Решение такой системы можно искать в виде:

$$\begin{cases} x = x_0 + \varepsilon x_1 + \varepsilon^2 x_2 + \varepsilon^3 x_3 + \dots; \\ y = y_0 + \varepsilon y_1 + \varepsilon^2 y_2 + \varepsilon^3 y_3 + \dots; \\ z = z_0 + \varepsilon z_1 + \varepsilon^2 z_2 + \varepsilon^3 z_3 + \dots. \end{cases} \quad (6)$$

Подставляя его в систему уравнений (5) и приравнявая множители соответствующих степеней ε , получаем:

1. Нулевое приближение:

$$\begin{aligned} F_1(p)x_0 &= -k_1 \operatorname{sign} x_0; \\ F_2(p)y_0 &= -k_2 \operatorname{sign} y_0; \\ F_3(p)z_0 &= -k_3 \operatorname{sign} z_0. \end{aligned} \quad (7)$$

2. k -ое приближение получим, принимая

$$\operatorname{sign}(x_0 + \varepsilon x_1 + \varepsilon^2 x_2 + \varepsilon^3 x_3 + \dots) = \operatorname{sign} x_0.$$

$$\begin{cases} F_1(p)x_k = F_{12}(p)y_{k-1} + F_{13}(p)z_{k-1}; \\ F_2(p)y_k = F_{21}(p)x_{k-1} + F_{23}(p)z_{k-1}; \\ F_3(p)z_k = F_{31}(p)x_{k-1} + F_{32}(p)y_{k-1}, \quad k = 1, 2, 3, \dots \end{cases} \quad (8)$$

Учитывая введенные обозначения для $F_{ij}(p)$, систему уравнений (8) можно привести к виду:

$$\begin{cases} (pT_1 + 1)x_k = q_1(y_{k-1} + z_{k-1}); \\ (pT_2 + 1)y_k = q_2(x_{k-1} + z_{k-1}); \\ (pT_3 + 1)z_k = q_3(x_{k-1} + y_{k-1}). \end{cases} \quad (9)$$

Нулевое приближение общего решения можно определить с помощью метода гармонического баланса из системы (3), решая каждое уравнение в отдельности. Тогда:

$$\begin{cases} x_0(t) = \operatorname{Im} \{ \dot{A}_1 e^{j\omega_1 t} \}; \\ y_0(t) = \operatorname{Im} \{ \dot{A}_2 e^{j\omega_2 t} \}; \\ z_0(t) = \operatorname{Im} \{ \dot{A}_3 e^{j\omega_3 t} \}. \end{cases} \quad (10)$$

Из (9) определим решения первого и последующих приближений.

Полученные решения для системы с тремя входами и выходами содержат только первые гармонические составляющие частот ω_1 , ω_2 , ω_3 , что и подтверждает результаты натурных экспериментов.

ЕрПИ им. К. Маркса

12. VI. 1984

Գ. Լ. ԱՐԵՇՅԱՆ, Ա. Մ. ՄԵԼՔՈՒՄՅԱՆ

ԿԱՅՈՒՆԱՅՎԱԾ ԼՈՒՄԻՆԱՆԵՐԻ ԿԱՌՈՒՑՄԱՆ ԵՂԱՆԱԿԸ ԲԱԶՄԱԶՍՓ ՈՉ ԳԾԱՅԻՆ ԱԿՆԻ ԹՈՒՅԼ ՓՈԽԱԳԱՐՁ ԿԱՊԵՐԻ ԴԵՊՔՈՒՄ

Ա մ փ ո լի ու մ

Փոքր պարամետրերի մեթոդով դիֆերենցիալ հավասարումների լուծման հիման վրա կատարվում է ոչ գծային համակարգի առանձին շղթաներում կայունացված լուծումների կառուցում, երբ նրանց միջև գործում են փոխադարձ թույլ կապեր: Հետազոտումը կատարվել է երեք մուտքանի և ելքանի համակարգի համար: Հետազոտման արդյունքները հաստատվում են անընդհան մոդելավորման միջոցով:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Морозовский В. Т. Многосвязные системы автоматического регулирования.— М.: Энергия, 1970.— 288 с.

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

М. К. БРУТЯН

ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ
ПРИ СТРУКТУРНЫХ ОГРАНИЧЕНИЯХ УПРАВЛЯЮЩИХ
ПАРАМЕТРОВ

Введение. В настоящее время оптимальный закон управления (ОЗУ) сложной автоматической системой, как правило, содержит все переменные, определяющие состояние системы. Однако, практически все эти переменные не всегда доступны измерению. Более того, часто для достижения необходимого качества вовсе не требуется измерять все переменные состояния. В связи с этим в данной статье рассматриваются следующие два типа ограничений, накладываемых на структуру управляющих параметров сложной системы: а) ОЗУ формулируется как стационарная линейная комбинация одной и той же совокупности измеренных переменных состояния; б) ОЗУ представляет собой стационарную линейную комбинацию различных совокупностей измеренных переменных.

Постановка задачи. Рассматривается класс линейных стационарных автоматических систем, описываемых векторно-матричным уравнением

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Du(t), \quad x(t_0) = x_0, \quad t \in [t_0, T] \triangleq I, \quad (1)$$

где $x(t)$ — n -мерный вектор состояния; $u(t)$ — r -мерный вектор управления; A и D — матрицы соответствующих размеров.

Требуется выбрать закон управления в форме обратной связи $u(t) = u(x, t)$ так, чтобы минимизировался функционал качества

$$I = \frac{1}{2} \left\{ x_T^T \Gamma_T x_T + \int_{t_0}^T [x'(t) B x(t) + u'(t) E u(t)] dt \right\}. \quad (2)$$

Здесь E — $r \times r$ -мерная положительно определенная симметрическая матрица, Γ_T и B — $n \times n$ -мерные положительно полуопределенные симметрические матрицы, T — некоторый фиксированный момент времени.

Из работ [1—5] известно, что ОЗУ выражается следующим образом:

$$u^*(t) = -E^{-1} D \Gamma x(t) \triangleq C^* x(t), \quad (3)$$

причем, матрица Γ является симметричным и положительно определенным решением нелинейного дифференциального уравнения

$$-\dot{\Gamma} = A'\Gamma + \Gamma A - \Gamma D E^{-1} D' \Gamma + B, \quad \Gamma(T) = \Gamma_T. \quad (4)$$

В ОЗУ (3) входят все переменные, определяющие состояние системы. Если измерены не все, а только некоторые переменные, то необходимо иметь дело со структурно ограниченным управляющим переменным. Целесообразно вводить определения рассматриваемых структурных ограничений.

Определение 1. Если компоненты вектора управления $u(t)$ являются стационарными линейными комбинациями одной совокупности измеряемых переменных состояния системы (1), то тогда удобно говорить, что ОЗУ имеет единое ограничение структуры.

Этот факт математически может быть описан следующим образом. Пусть

$$y(t) = Hx(t) \quad (5)$$

есть m -мерный ($m \leq n$) вектор, где H — матрица размера $m \times n$, которую целесообразно называть матрицей измерения. Используя вектор (5), можно построить закон управления

$$u(t) = Qy(t), \quad (6)$$

где Q — $r \times m$ — мерная матрица, элементы которой являются расчетными параметрами закона управления. Объединяя (5), (6), можно получить:

$$u(t) = Cx(t), \quad (7)$$

где $C = QH$ — матрица усиления закона управления размера $r \times n$. Очевидно, что структурные ограничения ОЗУ отражаются в матрице C .

Определение 2. Если каждый компонент вектора $u(i)$ образуется как линейная комбинация различных совокупностей измеряемых переменных, то тогда нужно говорить, что ОЗУ имеет множественное ограничение структуры.

Этот факт может быть сформулирован следующим образом. Пусть вводятся m_i -мерные ($m_i \leq n$, $i = 1, \dots, r$) векторы y_i , каждый компонент которых представляет собой линейную комбинацию переменных состояния системы (1), т. е. $y_i(t) = H_i x(t)$, $i = 1, \dots, r$, где H_i — $m_i \times n$ -мерная матрица. Компоненты вектора управления по определению образуются следующим образом: $u_i(t) \triangleq q_i' y_i(t)$, где q_i — m_i -мерный вектор расчетных параметров закона управления. В этом случае закон управления выражается той же самой формулой (7), где строки матрицы C определяются соотношениями $C_i = q_i' H_i$. Если $u(t)$ имеет структуру (7), то функционал (2) принимает вид:

$$I = \frac{1}{2} \left\{ x'_T \Gamma_T x_T + \int_{t_0}^T x'(t) [B + C'EC] x(t) dt \right\}. \quad (8)$$

Таким образом, задача сводится к обеспечению минимума функционала (8) при условии, что матрица усиления C принадлежит к некоторому множеству структурных ограничений G (при этом единое ограничение структуры будем обозначать как ω , а множественное — как Ω).

Решение. Известно, что для любой матрицы $C \in G$, когда собственные значения матрицы $A + DC$ имеют отрицательные действительные части, функционалы (8) определяются формулой [1—5]

$$I = \frac{1}{2} x'_0 \tilde{\Gamma} x_0. \quad (9)$$

Матрица $\tilde{\Gamma}$ размера $n \times n$ является симметричной положительно определенной и удовлетворяет уравнению

$$-\dot{\tilde{\Gamma}} = \tilde{\Gamma}A^0 + A^0\tilde{\Gamma} + C'EC + B, \quad A^0 = A + DC, \quad \tilde{\Gamma}(T) = \Gamma_T. \quad (10)$$

Следует заметить, что $\text{sp } \tilde{\Gamma} \geq \text{sp } \Gamma$. Это очевидно из того, что матрица, равная разности $\tilde{\Gamma} - \Gamma$, является положительно полуопределенной. Следует также заметить, что выражение (9) показывает, что величина функционала зависит от начального состояния x_0 . Это часто нежелательно, т. к. начальные условия практически не известны. Если считать, что x_0 есть случайный вектор, распределенный по поверхности гиперболы, то величина $\text{sp } \tilde{\Gamma}$, как показано в [1—3], пропорциональна математическому ожиданию функционала I . В результате задача выбора ОЗУ сводится к обеспечению $\min \text{sp } \tilde{\Gamma}$ при $C \in G$, где матрица $\tilde{\Gamma}$ определяется уравнением (10).

Итак, при едином ограничении структуры закона управления необходимо обеспечить $\min \text{sp } \tilde{\Gamma}$ при $C \in \omega$, а при множественном ограничении — $\min \text{sp } \tilde{\Gamma}$ при $C \in \Omega$. В первом случае задача эквивалентна получению минимума $\text{sp } \tilde{\Gamma}$ при выборе матрицы Q . Так как $C = QH$, то уравнение (10) можно кратко представить в виде $S(\tilde{\Gamma}, Q) = 0$. Ниже необходимые условия оптимальности управления получается из принципа максимума [1—3]. Гамильтониан для рассматриваемой задачи имеет вид:

$$\tilde{H} = \text{sp} [\tilde{\Gamma} + L'S(\tilde{\Gamma}, Q)] = \text{sp } \tilde{\Gamma} + \sum_{i=1}^n l_{ii} s_{ii}(\tilde{\Gamma}, Q). \quad (11)$$

Вычисляя $\frac{\partial \tilde{H}}{\partial Q} = \frac{\partial \tilde{H}}{\partial \tilde{\Gamma}} = \frac{\partial \tilde{H}}{\partial L}$, можно получить матрицу усиления ОЗУ:

$$C_1^* = -E^{-1} D' \tilde{\Gamma} L H' (H L H')^{-1} H, \quad (12a)$$

где матрицы $\tilde{\Gamma}$ и L удовлетворяют уравнениям:

$$-\dot{\tilde{\Gamma}} = A^{0*} \tilde{\Gamma} + \tilde{\Gamma} A^{0*} + C_1^{*'} E C_1^* + B, \quad \tilde{\Gamma}(T) = \Gamma_T, \quad (12б)$$

$$\dot{L} = A^{0*} L + L A^{0*} + I, \quad A^{0*} \triangleq A + D C_1^*, \quad L(T) = L_T. \quad (12в)$$

Следует отметить, что уравнение (12 в) определяет условие устойчивости по Ляпунову для линейных стационарных систем [1, 2]. Это означает, что любая матрица C_1^* , которая удовлетворяет равенствам (12), может быть использована для ОЗУ только тогда, когда присоединенная матрица L является положительно определенной. В противном случае не является устойчивой, $\tilde{\Gamma}$ не ограничена и задача оптимизации не имеет решения. Такие же необходимые условия могут быть найдены для случая, когда матрица C имеет множественное структурное ограничение. В этом случае можно показать, что если E — диагональная матрица с элементами $e_1, \dots, e_r$, то тогда строка матрицы, определяющей ОЗУ, имеет вид:

$$C_{1i}^* = -e_i^{-1} d_i' \tilde{\Gamma} L H_i' (H_i L H_i')^{-1} H_i, \quad i = 1, \dots, r,$$

где d_i — i -ый столбец матрицы D , а матрицы $\tilde{\Gamma}$ и L удовлетворяют уравнениям (12б) и (12в).

Далее следует вводить некоторую матрицу C^* , не принадлежащую классу G и обеспечивающую минимум функционала (2). При ОЗУ решение $x^*(t)$ системы (1) не совпадает с решением $x(t)$, полученным при $C \in G$. Вектор ошибки, определяющей близость двух решений друг к другу, имеет вид:

$$\delta x(t) = x(t) - x^*(t), \quad \delta x(t_0) = 0. \quad (13)$$

Дифференцируя это выражение и учитывая уравнения (1), можно получить:

$$\dot{\delta x}(t) = A^0 \delta x(t) + D \delta C x^*(t), \quad \delta C \triangleq C - C^*.$$

Пусть вектор $\delta u(t)$ определяется соотношением $\delta u(t) \triangleq \delta C x^*(t)$. Тогда можно записать: $\dot{\delta x}(t) = A^0 \delta x(t) + D \delta u(t)$. Разумеется, что если $\delta u(t) = 0$, то $\delta x(t) = 0$ для всех t , поскольку $\delta x(t_0) = 0$. Условие $\delta u(t) = 0$ выполняется при $C = C^*$. Этот случай по предположению исключается, и поэтому целесообразно минимизировать влияние возмущения $\delta u(t)$ на интервале I_t . Для этой задачи получается следующий функционал

$$I = \frac{1}{2} \int_{t_0}^T \delta u'(t) E \delta u(t) dt, \quad (14)$$

и следует искать $\min I$ при $C \in G$. По аналогии с предыдущим справедлива формула $I = \frac{1}{2} x_0' \tilde{\Gamma} x_0$, где матрица $\tilde{\Gamma}$ удовлетворяет уравнению

$$-\dot{\tilde{\Gamma}} = A^{0*'} \tilde{\Gamma} + \tilde{\Gamma} A^{0*} + \delta C' E \delta C, \quad \tilde{\Gamma}(T) = \Gamma_T.$$

Помимо этого задача сводится к нахождению $\min \text{sp } \tilde{\Gamma}$ при $C \in G$.

Для единого ограничения структуры закона управления ищется $\min \text{sp } \tilde{\Gamma}$ при вариациях матрицы Q , причем матрица $\tilde{\Gamma}$ удовлетворяет уравнению

$$-\dot{\tilde{\Gamma}} = A^{0*'} \tilde{\Gamma} + \tilde{\Gamma} A^{0*} + (QH - C^*)' E (QH - C^*), \quad \tilde{\Gamma}(T) = \Gamma_T.$$

Матрица C_1^* , определяемая (12а), может быть заменена выражением

$$C_1^* = C^* L H' (H L H')^{-1} H, \quad (15)$$

а при множественном ограничении структуры определяется формулой

$$C_{1i}^* = C_i^* L H_i' (H_i L H_i')^{-1} H_i.$$

Пример 1. Пусть система (1) имеет вид:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1(t) \\ \dot{x}_2(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & -2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} u_1(t) \\ u_2(t) \end{bmatrix},$$

а функционал (2) определяется выражением:

$$I = \frac{1}{2} \int_0^T \left\{ \begin{bmatrix} x_1 & x_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 12 & 4 \\ 4 & 4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} u_1 & u_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix} \right\} dt.$$

Используя выражение (3) и решая (4), получим:

$$C^* = \begin{bmatrix} -3 & -1 \\ -1 & -1 \end{bmatrix}.$$

Найденный ОЗУ обеспечивает минимальное значение заданного функционала, равное 4.

Пусть в задаче, когда на закон управления накладывается единое ограничение, предполагается, что измеряется только переменная $x_1(t)$, т. е. $y(t) = x_1(t)$. Тогда $H = [1 \ 0]$, а решение уравнения (12 в) в стационарном режиме дает:

$$L = \begin{bmatrix} 0,167 & -0,056 \\ -0,056 & 0,204 \end{bmatrix}; \quad C_1^* = \begin{bmatrix} -2,66 & 0 \\ -0,66 & 0 \end{bmatrix}.$$

В результате функционал качества имеет величину 4,546.

В задаче, когда на закон управления накладывается множественное ограничение, предполагается, что два регулятора управляют независимо на основе своей собственной текущей информации о системе. Иными словами, предполагается, что управление $u_1(t)$ использует измерение координаты $x_1(t)$, а управление $u_2(t)$ — измерение координаты $x_2(t)$. Таким образом,

$$y_1(t) = H_1 x(t) = x_1(t), \quad y_2(t) = H_2 x(t) = x_2(t),$$

т. е.

$$H_1 = [1 \ 0], \quad H_2 = [0 \ 1].$$

В соответствии с формулой (16) можно получить

$$C_1^* = \begin{bmatrix} -2,66 & 0 \\ 0 & -0,73 \end{bmatrix}. \quad (17)$$

Величина функционала качества в данном случае будет 4,34.

Рассматриваемый пример можно решить и другим подходом. Вместо обеспечения минимума функционала (14) можно минимизировать некоторую норму матрицы δC . Если норму определить как

$$\|\delta C\| = \sqrt{\sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^n \delta C_{ij}^2}, \quad \text{то можно показать, что } \|\delta C\| = \sqrt{\text{sp}[\delta C' \delta C]} \text{ и}$$

помимо этого, минимум нормы $\|\delta C\|$ при $C \in G$ равен $\min_{C \in G} \sqrt{\text{sp}[\delta C' \delta C]}$.

Структура ОЗУ при минимизации $\|\delta C\|$ определяется следующим образом: для единого ограничения структуры:

$$C_1^* = C^* H' (H H')^{-1} H, \quad (18)$$

а для множественного ограничения —

$$C_{ii}^* = C_i^* H_i' (H_i H_i')^{-1} H_i, \quad i = 1, \dots, r. \quad (19)$$

Пример 2. Рассматривается система, описываемая в примере 1. Здесь при едином ограничении структуры вместо матрицы C_1^* , определяемой выражением (15), можно получить по выражению (18) матрицу

$$C_1^* = \begin{bmatrix} -3 & 0 \\ -1 & 0 \end{bmatrix}. \quad \text{При этом функционал качества имеет величину 4,526.}$$

Для случая множественного ограничения вместо матрицы (17) по формуле (19) можно получить соответственно матрицу $C_1^* = \begin{bmatrix} -3 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}$.

ОЗУ при такой структуре обеспечивает величину функционала качества 4,41.

Сравнение результатов, полученных в примерах 1 и 2, показывает, что любой из двух рассмотренных методов может в принципе дать требуемый результат при определении ОЗУ. Нетрудно также проверить, что полученные ОЗУ в данной конкретной задаче обеспечивают устойчивость замкнутой автоматической системы.

ԱՎՏՈՄԱՏ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ՕՊՏԻՄԱԼ ԿԱՌԱՎԱՐՈՒՄԸ ՂԵԿԱՎԱՐՈՂ
ՊԱՐԱՄԵՏՐԵՐԻ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔԱՅԻՆ ՍԱՀՄԱՆԱՓԱԿՈՒՄՆԵՐԻ
ԱՌԿԱՅՈՒԹՅԱՄԲ

Ա մ փ ո լ ո մ

Գծային անփոփոխ բաղմաչափ ավտոմատ համակարգերի կառավարման խնդիրը դիտարկվում է ղեկավարող պարամետրերի կառուցվածքային սահմանափակման առկայությամբ: Քննարկվում է բարդ համակարգի կառավարման օրենքը, երբ ղեկավարող վեկտորի չորաքանչյուր բաղադրիչ իրենից ներկայացնում է դրության փոփոխականի մեկ կամ տարբեր հավաքածոների պծային հաստատուն համակցություն:

Լուծման համար մշակված մեթոդը թույլ է տալիս իրականացնել բավական լայն դասի ավտոմատ համակարգերի օպտիմալ սինթեզ: Օրինակների օգնությամբ ցուցադրվում է ստացված արդյունքների կիրառությունը:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Ройтенберг Я. Н. Автоматическое управление.— М.: Наука, 1978.— 551 с.
2. Флеминг У., Ринел Р. Оптимальное управление детерминированными и стохастическими системами.— М.: Мир, 1978.— 316 с.
3. Зубов В. И. Лекции по теории управления.— М.: Наука, 1975.— 495 с.
4. Моисеев Н. Н. Элементы теории оптимальных систем.— М.: Наука, 1975.— 526 с.
5. Андреев Ю. Н. Управление конечномерными линейными объектами.— М.: Наука, 1976.— 426 с.

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

А. С. ШАХКАМЯН

ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ
ТЕРМОРЕЗИСТОРОВ ДЛЯ ТОЧНОГО ИЗМЕРЕНИЯ
ТЕМПЕРАТУРЫ

Полупроводниковые терморезисторы (ПТР) нашли широкое применение в схемах термокомпенсации средств измерения и автоматики благодаря малым габаритам и инерционности и высокой чувствительности. Экспериментальные исследования некоторых типов ПТР показали [1, 2], что они обладают и достаточно высокой временной стабильностью статической характеристики. Однако разброс параметров ПТР в широких пределах и нелинейность статической характеристики ограничивают их применение в приборах измерения температуры. В литературе отсутствуют данные по оценке погрешностей параметров ПТР при измерении температуры. В настоящей статье анализируются эти вопросы.

Сопротивление ПТР в узком диапазоне температур (несколько десятков градусов) определяется выражением [3]:

$$R_{T_c} = R_{T_0} \cdot e^{B(T_0 - T)/T_0 T} = R_{T_0} \cdot \alpha_T, \quad (1)$$

где $T = t + 273$ — измеряемая температура, К; $T_0 = 293$ К; B — постоянный для данного ДТР коэффициент; $\alpha_T = e^{B(T_0 - T)/T_0 T}$.

Погрешность измерения температуры ПТР можно определить, дифференцируя выражение (1):

$$\gamma(T) = K_0 \gamma(T_0) + K_B \gamma(B) + K_R [\gamma(R_{T_0}) - \gamma(R_T)], \quad (2)$$

где $K_0 = T/T_0$, $K_B = (1 - T/T_0)$, $K_R = T/B$ — весовые коэффициенты соответствующих погрешностей; $\gamma(T_0)$, $\gamma(R_{T_0})$, $\gamma(R_T)$ — погрешности измерения параметров T_0 , R_{T_0} , R_T ; $\gamma(B)$ — погрешность определения коэффициента B .

Для практических расчетов можно принять, что все составляющие погрешности $\gamma(T)$ являются случайными и некоррелированными, тогда для нормированного значения погрешности получим:

$$\delta(T) = \sqrt{K_0^2 \delta^2(T_0) + K_B^2 \delta^2(B) + K_R^2 [\delta^2(R_{T_0}) + \delta^2(R_T)]}, \quad (3)$$

где $\delta(T_0)$, $\delta(B)$, $\delta(R_{T_0})$, $\delta(R_T)$ — нормированные значения соответствующих погрешностей.

Значения коэффициентов K_0 , K_B , K_R для различных значений измеряемой температуры приведены в таблице (при $B = 2000$).

Таблица

$t, ^\circ\text{C}$	-50	-30	-10	0	20	30	40	50	70
K_0	0,76	0,83	0,9	0,93	1	1,03	1,07	1,1	1,17
K_B	0,24	0,17	0,1	0,07	0	-0,03	-0,07	-0,1	-0,17
K_R	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,152	0,157	0,16	0,17

Измерения параметров ПТР практически можно производить с погрешностями:

$$\Delta T_0 = \Delta T_1 \approx 0,05K,$$

тогда

$$\delta(T_0) \approx \delta(T_1) \approx \delta(T') \approx 0,017\%, \quad \delta(R_{T_0}) \approx \delta(R_{T_1}) = \delta(R) \approx \pm 0,05\%,$$

$$\delta(R_T) \approx \pm 0,1\%.$$

Значение коэффициента B определяется измерением R_T при двух значениях температуры T_0 и T_1 по формуле:

$$B = \frac{T_0 T_1}{T_0 - T_1} \ln R_{T_1} / R_{T_0}. \quad (4)$$

Погрешность определения B зависит от погрешностей измерений T_0 , T_1 , R_{T_1} , R_{T_0} и может быть представлена в виде

$$\gamma(B) = \frac{\Delta B}{B} \approx -K_1 \gamma(T_0) + K_2 \gamma(T_1) + \frac{\gamma(R_T) - \gamma(R_{T_0})}{\ln R_{T_1} / R_{T_0}}, \quad (5)$$

где $K_1 = \frac{T_1}{T_0 - T_1}$; $K_2 = \frac{T_0}{T_0 - T_1}$; $K_3 = 1 / \ln R_{T_1} / R_{T_0}$ — соответственно весовые коэффициенты погрешностей $\gamma(T_0)$, $\gamma(T_1)$, $\gamma(R)$.

Можно принять, что все составляющие погрешности определения B являются случайными и некоррелированными, т. к. измерения T_0 , T_1 , R_{T_0} , R_{T_1} осуществляются в разных условиях. Следовательно, для нормированного значения погрешности определения B получим:

$$\delta(B) = \sqrt{K_1^2 \delta^2(T_0) + K_2^2 \delta^2(T_1) + K_3^2 [\delta^2(R_{T_0}) + \delta^2(R_{T_1})]}, \quad (6)$$

где $\delta(T_0)$, $\delta(T_1)$, $\delta(R_{T_0})$, $\delta(R_{T_1})$ — нормированные значения погрешностей измерения T_0 , T_1 , R_{T_0} , R_{T_1} .

Принимая $\delta(T_0) = \delta(T_1) = \delta(T)$, получаем:

$$\delta(B) = \sqrt{\left(1 + \frac{2T_0 T_1}{(T_0 - T_1)^2}\right) \delta^2(T') + 2K_3^2 \delta^2(R)}. \quad (7)$$

Из выражения (7) следует, что при $|T_0 - T_1| < 10^\circ\text{C}$ весовой коэффициент погрешности $\delta(T')$ принимает большие значения, поэтому если первое измерение R_T производить при температуре T_0 , то значение T_1 целесообразно выбрать из условия $|T_0 - T_1| \geq 20^\circ\text{C}$. Тогда для весового коэффициента $\delta^2(T')$ получим значение (при $T_1 = 313\text{ K}$) 460. Так как известен диапазон разбросов B для каждого типа ПТР для упрощения расчетов выразим K_3 через B :

$$K_3 = \frac{T_0 T_1}{B(T_0 - T_1)} \quad (8)$$

Для $T_0 = 293\text{ K}$, $T_1 = 313\text{ K}$ и $2000 \leq B \leq 4200$, получим $2,1 \leq 2K_3^2 \leq 10,6$.

Тогда погрешность определения B будет находиться в диапазоне от 0,4% (при $B = 4200$ и $\delta(R) = 0,05\%$) до 0,5% (при $B = 2000$ и $\delta(R) = 0,1\%$), а при $T_1 = 323\text{ K}$ — от 0,25% до 0,4%. Анализ полученных соотношений показывает, что наибольшее влияние на погрешность измерения температуры оказывает $\delta(B)$. Для диапазона измерений от -50° до $+70^\circ\text{C}$ и при приведенных значениях составляющих погрешности $\delta(T)$ можно воспользоваться упрощенной формулой:

$$\delta(T) < |K_B| \delta(B) + \delta(T_0). \quad (9)$$

Следовательно, с использованием ПТР можно измерить температуру в диапазоне от 0 до 50°C с погрешностью $\pm (0,1 - 0,2)^\circ\text{C}$, если параметры ПТР определены измерением его сопротивления при температурах T_0 и T_1 с погрешностями $\Delta T \approx \pm 0,05^\circ\text{C}$, $\delta(R) \approx 0,05\%$, а погрешность измерения сопротивления ПТР не более $\pm 0,2\%$.

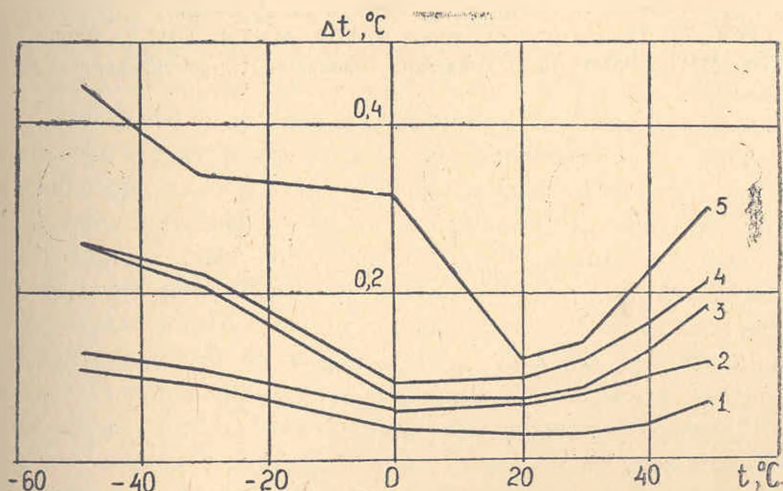


Рис. Зависимость погрешности измерения температуры с ПТР от его параметров. 1 — $\Delta T_0 = 0,025^\circ\text{C}$, $\delta(R_{T_0}) = 0,02\%$, $\delta(R_T) = 0,05\%$; 2, 3 — $\Delta T_0 = 0,05^\circ\text{C}$, $\delta(R_{T_0}) = 0,05\%$, $\delta(R_T) = 0,1\%$; 4 — $\Delta T_0 = 0,05^\circ\text{C}$, $\delta(R_{T_0}) = 0,05\%$, $\delta(R_T) = 0,2\%$; 5 — $\Delta T_0 = 0,1^\circ\text{C}$, $\delta(R_{T_0}) = \delta(R_T) = 0,1\%$. Для 1, 3, 4, 5 — $B = 2000$; 2 — $B = 4200$.

На рисунке приведены значения погрешностей измерения температуры при различных погрешностях определения параметров ПТР.

ЕрПИ им. К. Маркса

8. VI. 1984

Ա. Ս. ՇԱՂԴԱՄՅԱՆ

**ԿԻՍԱՀԱՂՈՐԴՉԱՅԻՆ ՋԵՐՄԱԳԻՄԱԴՐՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՕԳՏԱԳՈՐԾՈՒՄԸ
ՋԵՐՄԱՍՏԻՃԱՆԻ ՃԻՇՏ ՉԱՓՄԱՆ ՀԱՄԱՐ**

Ա. մ փ ո փ ու մ

Կիսահաղորդչային ջերմադիմադրությունները (ԿՋԴ) ունեն բարձր զգայնություն ու ստատիկական բնութագրի կայունություն, սակայն նրանց պարամետրերի շեղումները անվանական արժեքներից զգալի են: Այդ պատճառով շերմաստիճանի չափիչ սարքերում նրանք ստացել են սահմանափակ տարածում: Նրանց միջոցով ջերմաստիճանի չափման ճշտությունը կախված է ԿՋԴ-ի պարամետրերի որոշման ճշգրտությունից: Ստացված են բանաձևեր ԿՋԴ-ի միջոցով ջերմաստիճանի չափման սխալի գնահատման համար: Բերված են այդ սխալի կախվածությունները ԿՋԴ-ի պարամետրերի որոշման սխալներից:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Горштейн Б. Я. О стабильности параметров терморезисторов.— Измерительная техника, 1968, № 9, с. 73—75.
2. Корякова О. Н. и др. Исследование стабильности сопротивлений полупроводниковых терморезисторов.— Метрология, 1982, № 12, с. 32—36.
3. ГОСТ 10688—75. Терморезисторы типов КМТ-1, ММТ-1, КМТ-4, ММТ-4, КМТ-8, ММТ-8, ММТ-9, ММТ-13. Технические условия.— Изд-во стандартов. Май, 1980.

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

С. Х. ОГАНЕСЯН

НЕКОТОРЫЕ МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ
КОНТРОЛЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ОДНОРОДНЫХ
РЕГУЛЯРНЫХ СТРУКТУР

Техническую диагностику, ее теорию, методы и средства можно определить как совокупность идей, связанных с организацией оптимальных процедур проверки технического состояния сложных объектов и постановок, возникающих при этом проблем и задач, методов и средств решения этих проблем, а также их реализации [1]. Несмотря на достаточно развитый опыт теории диагностики, наличие автоматизированных систем контроля, арсенал методов формализации и моделирования, описывающих процессы контроля, нельзя считать исчерпывающим вследствие разнообразия и специфики решаемых при этом задач, что более остро ощущается при контроле работоспособности однородных регулярных структур (ОРС), состоящих из сотен тысяч типовых модулей. При определении работоспособности современных типовых модулей необходимо использовать десятки тысяч внешних воздействий, что ограничивает дальнейшее усложнение схематической базы РЭА. Поэтому задача построения моделей проверки ОРС, разработки эффективных алгоритмов и программ проверки, а также анализа работоспособности этих структур является весьма необходимой и своевременной.

Но несмотря на огромное разнообразие сложных систем, областей их применения и специфику видов контроля, в сущности решается одна и та же задача — съем, преобразование и обработка информации о контролируемых параметрах, в результате которых формируется решение о техническом состоянии контролируемого объекта и управляющего воздействия, что позволяет любую сложную систему идентифицировать в качестве объекта управления, либо объекта диагностики.

Как правило, современные радиоэлектронные системы конструктивно выполняются в виде отдельных съемных типовых модулей и узлов. В этой связи, если отказ локализуется с точностью до съемного элемента, то лишь из-за неточности определения места отказа придется заменять заведомо исправные модули. Отсюда и возникает проблема согласования конструкции проверяемого объекта и системы тестовых программ с целью минимизации потерь времени или материальных затрат в процессе эксплуатации. Эти обстоятельства и предпо-

деляют круг вопросов, возникающих при контроле ОРС, а именно: обеспечение достоверности и оптимизации программ контроля ОРС и разработка методов решения, учитывающих существующие объективные зависимости, различного рода ограничения и специфику функционирования ОРС.

Характерной особенностью предлагаемой системной методологии является относительная независимость, освобождение исследователя от конкретного объекта контроля вследствие применения обобщенной целевой функции — функции погрешности — $\delta(F)$, что, модифицируя известный метод контроля — метод «таблиц неисправностей», дает возможность определения наилучшего состава отдельных проверок на разных уровнях иерархической системы и наилучшей последовательности их реализации по экстремуму некой целевой функции, исходя из «принципа местного влияния» и применительно к задачам технической диагностики ОРС [2].

Для исследуемой задачи этот принцип можно сформулировать следующим образом: любое местное возмущение целевой функции, вызванное отказом типового модуля ОРС, является локальным и не распространяется на отдаленные от центра возмущения участки ОРС того же порядка, что и характерный размер модуля.

На основе этого принципа множество элементов N ОРС разбивается на подмножества R с числом модулей n_i в каждом из них. При этом значение n_i определяется, исходя из зоны влияния функции погрешности:

$$n_i = \frac{\ln R}{r_i}, \quad i = \overline{1, R};$$

$$r_i = \frac{n_i P_i}{n_{ip}} \ln \frac{n_{ip}}{n_i P_i} + \left(1 - \frac{n_{ip}}{n_i}\right) \ln \frac{1 - \left(\frac{n_{ip}}{n_i}\right)}{1 - P_i},$$

где P_i — вероятность нормального функционирования типового модуля ОРС; n_i , n_{ip} — числа модулей в i -ом подмножестве модулей ОРС и в подмножестве, при котором данная подсистема еще работоспособна.

Рассматриваемые однородные структуры регулярны с периодически повторяющимися геометрическими, физическими и другими свойствами. Отсюда и вытекает принцип построения функциональной модели ОРС, исходя из концепций системной ориентации и на основе нижеприведенных предположений:

— для каждого типового модуля ОРС известны номинальные значения обобщенного определяющего параметра, а также способ его измерения;

— любой функциональный элемент модели ОРС должен оцениваться единственным обобщенным показателем;

— модули могут находиться минимум в двух взаимоисключающих и различных состояниях;

— функциональный элемент модели ОРС считается неисправным, если при номинальных исходных данных значение обобщенного контролируемого параметра отличается от номинального значения;

— известен круг задач, для выполнения которых создана данная ОРС.

Исходя из этих предположений, ОРС можно характеризовать вектором «определяющих технических параметров» $E = \{E_{ji}\}$, допустимой областью $D(E)$, за пределами которой $E \notin D(E)$ нахождение вектора E соответствует модели неисправного состояния ОРС. В качестве функции погрешности при данной методике предлагается функция изменения определяющего параметра F ОРС (амплитудное распределение напряженностей в раскрыве ФАР [3], температурное поле ТЭЗ [4] и т. д.). Вид этой функции определяется величиной возмущения $\delta(F_i)$, вносимой i -ым модулем ОРС в суммарное значение $F_{\Sigma i}$ поля в i -ой точке, где оно равно

$$\delta(F_i) = F_{\Sigma i} - F_{ii},$$

где F_{ii} — часть значения определяющего параметра, создаваемая i -ым элементом.

Выбор функции $\delta(F_i)$ в качестве обобщенной целевой функции для разработки моделей и алгоритмов контроля ОРС оправдан тем, что она удовлетворяет практически всем требованиям, предъявляемым к обобщенным показателям, т. е. функция должна:

- характеризовать основные свойства исследуемой системы;
- быть критичной к изменениям основного обобщающего параметра, по которому проводится измерение;
- исключать второстепенные факторы исследуемой операции;
- обладать статистической эффективностью, т. е. иметь достаточно малую дисперсию.

Рекомендуемая функция погрешности $\delta(F_i)$ удовлетворяет указанным требованиям и может быть принята как обобщенный показатель по построению системы алгоритмов контроля с выбором модели фрагмента ОРС и вероятностной оценки состояний элементов ОРС в процессе контроля.

ЕрПИ им. К. Маркса

11. VII. 1984

Ս. Խ. ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ

ՀԱՄԱՍԵՆԻ ԿԱՆՈՆԱՎՈՐ ԿԱՌՈՒՅՎԱԾՔՆԵՐԻ ԱՇԽԱՏՈՒՆԱԿՈՒԹՅԱՆ
ՍՏՈՒԳՄԱՆ ՈՐՈՇ ՄԵԹՈԴՈԼՈԳԻԱԿԱՆ ԱՌԱՅՆԱՀԱՏՎՈՒՅՈՒՆՆԵՐԸ

Ա մ փ ո փ ո լ մ

Համասեն կանոնավոր կառուցվածքների (ՀԿԿ) հսկման դեպքում, որոնք
բաղկացած են բաղմաթիվ տիպային մոդուլներից և որոնց հսկման համար

պահանջվում են նույն կարգն ունեցող արտաքին ազդեցություններ, կտրուկ աճում են նրանց հսկման պիտանելիությանը ներկայացվող պահանջները:

Առաջարկվող մեթոդիկան հիմնվում է ստուգվող օբյեկտների կառուցվածքային առանձնահատկությունների վրա և, ելնելով համակարգային կողմնորոշման սկզբունքներից, թույլ է տալիս ՀԿԿ-ի ախտորոշման ժամանակ կրճատել ժամանակային և աշխատանքային ծախսերը առաջարկվող ընդհանրացված նպատակային ֆունկցիայի՝ սխալի ֆունկցիայի շնորհիվ:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Основы технической диагностики /Под ред. Г. П. Пархоменко, кн. I.— М.: Энергия, 1976.— 463 с.
2. Карапетян А. М., Оганесян С. Х. Оптимизация задач технической диагностики однородных регулярных структур.— Изв. АН АрмССР (сер. ТН), 1981, т. XXXIV, № 3, с. 47—50.
3. Карапетян А. М., Оганесян С. Х. Иерархическая система алгоритмов поиска неисправностей в фазированных антенных решетках (ФАР).— В сб.: Автоматизация проектирования электронной аппаратуры. Таганрог, 1982, вып. I, с. 139—142.
4. Оганесян С. Х. Организация оптимального поиска неисправностей ТЭЗ РЭА.— Промышленность Армении, 1981, № 8, с. 27—29.

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

В. Р. МАРТИРОСЯН

ВИНЕРОВСКАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ
 С УПРАВЛЯЕМОЙ РЕЗКОСТЬЮ

Процесс формирования изображения в некогерентной линейной изопланотической системе может быть описан уравнением свертки

$$f(x) = \int s(\xi) \cdot h(x - \xi) d\xi + n(x), \quad (1)$$

где f , s , n — интенсивности наблюдаемого изображения, объекта и шума соответственно, а h — функция рассеяния точки системы формирования. Задача оптимальной линейной фильтрации для уравнения (1) формулируется следующим образом [1]. Наблюдаемое изображение считается реализацией случайной функции f , полученной в результате применения некоторого оператора L к случайному входному сигналу s , причем корреляционные функции соответствующих процессов известны. Требуется найти такую весовую функцию h , линейного фильтра,

которая, воздействуя на f , формирует на выходе фильтра функцию $\tilde{g}$, имеющую наименьшее среднеквадратическое отклонение от некоторой желаемой функции g . Последняя считается образом сигнала s , получаемым из s с помощью воздействия идеального оператора L_u (рис. 1).

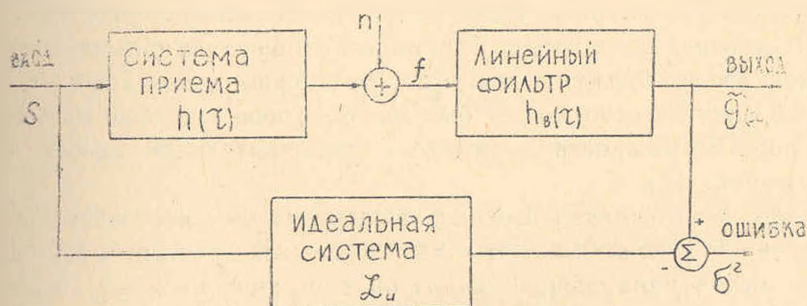


Рис. 1. Общая схема линейной фильтрации.

Минимизация функционала среднего квадрата ошибки в точке x

$$\sigma_g^2 = E[\tilde{g}(x) - g(x)]^2, \quad (2)$$

где E — знак усреднения по ансамблю реализаций приводит к следующему выражению для передаточной функции оптимального фильтра:

$$H_b(\omega) = R_{gf}(\omega)/R_f(\omega). \quad (3)$$

Здесь H , R_{gf} , R_f — фурье-образы h , r_{gf} , r_f соответственно, где

$$r_f(\tau) = E[f(x + \tau) \cdot f(x)] \quad (4)$$

— автокорреляционная функция f , а

$$r_{gf}(\tau) = E[g(x + \tau) \cdot f(x)] \quad (5)$$

— взаимная корреляционная функция процессов g и f .

В классическом случае восстановления сигналов в качестве желаемой функции g берется точное значение входного сигнала (L_n — повторитель или δ — функция) и на выходе должна быть получена оценка самого сигнала s , т. е. $g = s$, $\tilde{g} = \tilde{s}$.

В этом случае

$$R_f(\omega) = R_s(\omega) |H(\omega)|^2 + R_n(\omega), \quad (6)$$

$$R_{gf}(\omega) = R_{sf}(\omega) = R_s(\omega) \cdot H^*(\omega), \quad (7)$$

где R_s и R_n — спектральные плотности мощности сигнала и шума, являющиеся преобразованиями Фурье автокорреляционных функций сигнала и шума соответственно. Подставляя (6) и (7) в (3), получаем передаточную функцию фильтра Винера—Хелстрема:

$$H_{v.}(\omega) = \frac{H^*(\omega)}{|H(\omega)|^2 + R_n(\omega)/R_s(\omega)}. \quad (8)$$

Фильтр (8) обеспечивает восстановление сигнала с минимальной среднеквадратической ошибкой и является оптимальным, однако критерий среднего квадрата является далеко не наилучшим с точки зрения визуального восприятия. При малых отношениях сигнал—шум восстановленное изображение выглядит чрезмерно сглаженным: «... человеческий глаз «охотно пошел бы» на некоторое усиление визуального шума ради возможности разглядеть дополнительные мелкие детали изображения» [2].

Ввиду вышесказанного был предпринят ряд попыток модификации критерия с целью снижения «засилья» низких частот в получаемой оценке: метод наименьших квадратов с ограничением [2], частотное взвешивание ошибки [3] и комбинированный критерий «среднеквадратическая ошибка—резкость» [4].

В последнем случае минимизируется выражение

$$\sigma_1^2 = E[s(x) - \tilde{s}(x)]^2 + \lambda \cdot E[\tilde{s}'(x)]^2, \quad (9)$$

где второй член является мерой общего содержания контурных градиентов в оценке $\tilde{s}$. Передаточная функция фильтра имеет вид [4]:

$$H_{b_1}(\omega) = H_{b_0}(\omega) \cdot \frac{1}{1 + \lambda \omega^2}. \quad (10)$$

Таким образом, фильтр распадается на два последовательных: фильтры Винера—Хелстрема и управления резкостью. При $\lambda > 0$ высокие частоты ослабляются и оценка сглаживается, а при $\lambda < 0$ эти частоты усиливаются. Эксперименты, проведенные с различными λ , показали, что полезные результаты получаются в режиме сглаживания при $\lambda > 0$ [4]. Это представляется вполне естественным, если рассмотреть график функции $1/(1 + \lambda \omega^2)$ (рис. 2). При $\lambda < 0$ фильтр совершенно „необоснованно“ выделяет частоты, близкие к $\omega_0 = 1/\sqrt{|\lambda|}$, что приводит к чрезмерным шумам на этих частотах, если последние попадут в полосу обработки.

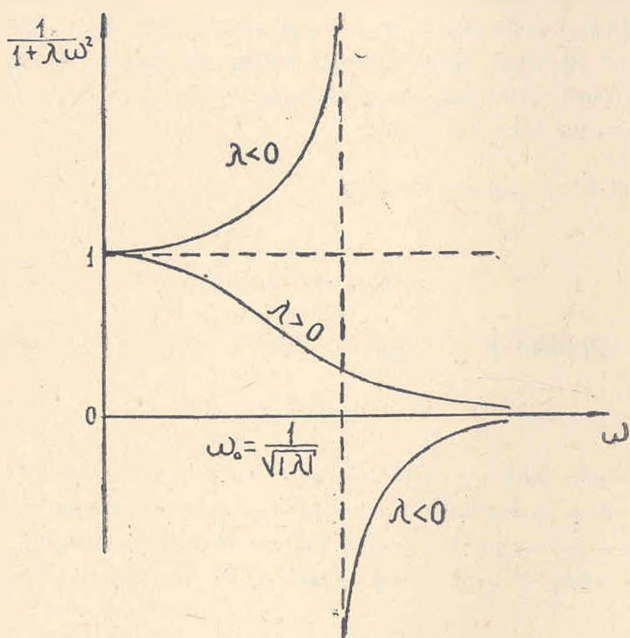


Рис. 2. Передаточная функция фильтра управления резкостью.

Предлагаемый подход основан на экспериментальном факте, что глаз лучше воспринимает слегка оконтуренное изображение [3]:

$$s_0(x) = s(x) - \gamma Ls(x), \quad (11)$$

где L — оператор Лапласа, или в одномерном случае — вторая производная; γ — небольшое положительное число. Будем искать наилучшую в среднеквадратическом смысле оценку оконтуренного изображения s_0 , т. е. положим, что $g(x) = s_0(x)$, $\tilde{g}(x) = \tilde{s}_0(x)$.

Тогда, в соответствии с формулой (3) необходимо найти $R_{sof}(\omega)$. Подставляя в выражение для взаимной корреляционной функции

$$r_{sof}(\tau) = E\{[s(x+\tau) - \gamma s''(x+\tau)] \cdot f(x)\} \quad (12)$$

значение $f(x)$ из формулы (1), производя усреднения под знаком интеграла и применяя преобразование Фурье для обеих частей, будем иметь

$$R_{sof}(\omega) = H^*(\omega) \cdot R_s(\omega) (1 + \gamma \omega^2). \quad (13)$$

Подставляя (6) и (13) в (3), получаем передаточную функцию фильтра

$$H_{b_1}(\omega) = H_{b_0}(\omega) (1 + \gamma \omega^2), \quad (14)$$

управление резкостью которого осуществляется параметром γ , причем с ростом γ происходит подъем высоких частот, т. е. подчеркивание контурной информации в оценке входного изображения в соответствии с психофизическими свойствами зрения. Заметим, что добавка, вносимая фильтром (14), отличается от аналогичной, вносимой фильтром (10) при $\lambda = -\gamma < 0$ лишь на величину второго порядка малости по отношению к $\lambda \omega^2$; при этом передаточная функция фильтра (10) сохраняет непрерывность на всех частотах.

Ер. фил. ВНИИОФИ Госстандарта СССР

10. VII. 1984

Վ. Բ. ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ

ՊԱՏԿԵՐՆԵՐԻ ՀՍՏԱԿՈՒԹՅԱՆ ՂԵԿԱՎԱՐՈՒՄԸ ՎԵՆԵՐՅԱՆ ԶՏՄԱՆ ԴԵՊԳՈՒՄ

Ա մ փ ո փ ու մ

«Աղմուկների» առկայության դեպքում աղավաղված պատկերների վերականգնման համար առաջարկվում է վիճերյան զտիչի սլարդ տարբերակ, որը թույլ է տալիս ստանալ բարձր հաճախականություններով ավելի հարուստ տեսողության հոգեֆիզիկական հատկություններին համապատասխանող զնաճատակականներ:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Василенко Г. И. Теория восстановления сигналов.— М.: Сов. радио, 1979.— 269 с.
2. Andrews H. C., Hunt B. R. Digital image restoration.— New Jersey, Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1 nc., 1977.— 232p.
3. Стокхем Т. Г. Обработка изображений в контексте модели зрения.— ТИИЭР, тем. вып., 1973, с 3—29.
4. Фриден Б. Улучшение и реставрация изображений.— В кн.: Обработка изображений и цифровая фильтрация /под ред. Хуанга.— М.: Мир, 1979, с. 193—270.

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

М. Т. СОГОЯН, А. А. ГЕВОРКЯН

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПОРНОЙ ПОВЕРХНОСТИ
 ПРИ НАНЕСЕНИИ РМР НА ПЛОСКОСТЯХ

В подвижных соединениях, работающих в режиме возвратно-поступательного движения, обеспечение условий полужидкостного трения во многом зависит от маслосъемности трущихся поверхностей.

Известны методы виброобработки [1], позволяющие создать масляные карманы на трущихся поверхностях. Эти методы сложны по конструкции инструментов и их кинематике, что существенно препятствует широкому их внедрению. С этой целью спроектирован специальный многошариковый двухэксцентриковый инструмент (МДИ) к фрезерному станку.

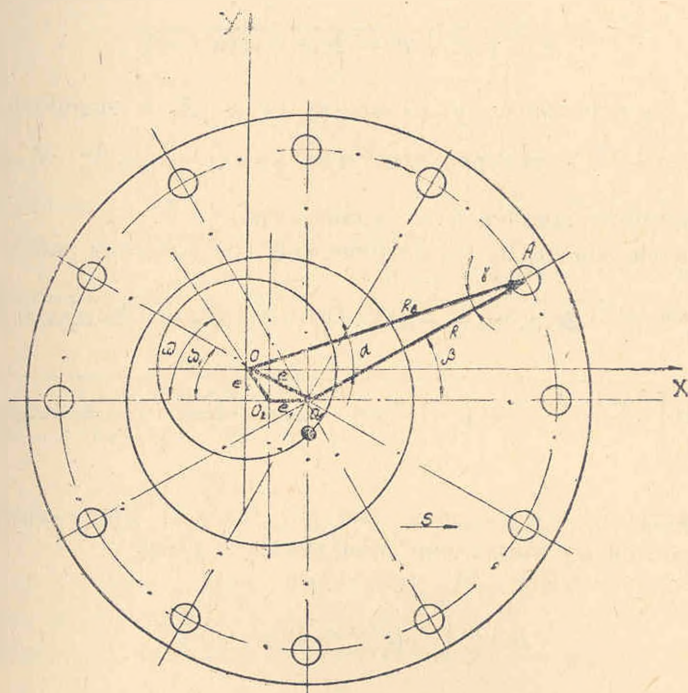


Рис. 1.

Эксцентриситет системы e образуется из эксцентриситетов корпуса e_1 и вала e_2 (рис. 1):

$$0 \leq e = |\vec{e}_1 + \vec{e}_2|.$$

Для управления процессом нанесения РМР на плоскостях необходимо выявить основные кинематические параметры перемещений деформирующих шариков по обрабатываемой плоскости, а также определить режимы обработки, обеспечивающие получение РМР с определенной заданной площадью опорной поверхности $F_{оп}$, которая определяется как площадь обрабатываемой плоскости $F_{он}$ за вычетом площади следов (канавок) всех шариков:

$$F_k = L_k d_{сш},$$

где $d_{сш}$, L_k — ширина и суммарная длина следа, оставленного шариком.

Уравнение траектории движения шариков при $e_1 - e_2 = 0$ (рис. 1):

$$\begin{cases} X = R \cos(\alpha + 2\pi n t) + s n t; \\ Y = R \sin(\alpha + \pi n t), \end{cases} \quad (1)$$

где R — радиус-вектор, определяющий место шарика на плоскости при $e = 0$; α — угол при $t = 0$, образуемый X с радиус-вектором R ; n — число оборотов головки; s — подача детали.

При $e = e_1 + e_2 > 0$ радиус-вектор R_a и общий эксцентриситет системы e определяются:

$$R_a = \sqrt{e^2 + R_2^2 - 2eR_2 \cos(\pi - \beta - \omega_1)}; \quad (2)$$

$$e = \sqrt{e_1^2 + e_2^2 - 2e_1 e_2 \cos(\pi - \omega)}, \quad (3)$$

где ω_1 , ω — центральные углы между осью X и эксцентриситетами e и e_2 ; $\beta = \frac{2\pi N}{z}$ — центральный угол между шарами; N , Z — номер рассматриваемого шарика и их количество.

Используя известные геометрические соотношения, получаем:

$$\begin{aligned} R_n = & \sqrt{e_1^2 + e_2^2 - 2e_1 e_2 \cos(\pi - \omega) + R^2 - 2\sqrt{e_1^2 + e_2^2 - 2e_1 e_2 \cos(\pi - \omega)} \times} \\ & \times \sqrt{R \cos \left[\frac{\pi(z - 2N)}{z} - (-1)^k \sin \frac{e_2 \sin(\pi - \omega)}{\sqrt{e_1^2 + e_2^2 - 2e_1 e_2 \cos(\pi - \omega)}} + \pi k \right]}. \end{aligned} \quad (4)$$

На участке от $x = 0$ вдоль подачи (рис. 2) длина следа шарика L_k определяется из выражения при $t = 0$ до $t = t_n$

$$\begin{aligned} L_k = & \int_0^{t_1} \sqrt{(x')^2 + (y')^2} dt + \\ & + \int_{t_2}^{t_3} \sqrt{(x')^2 + (y')^2} dt + \dots + \int_{t_{n-1}}^{t_n} \sqrt{(x')^2 + (y')^2} dt, \end{aligned} \quad (5)$$

а на участке $x = c_1$ —

$$L_{\kappa_1} = \int_{t_0}^{t_{11}} \sqrt{(x')^2 + (y')^2} dt + \\ + \int_{t_{11}}^{t_{12}} \sqrt{(x')^2 + (y')^2} dt + \dots + \int_{t_{1(n-1)}}^{t_{1n}} \sqrt{(x')^2 + (y')^2} dt, \quad (6)$$

где

$$\begin{cases} c = x = R_0 \cos(\alpha + 2\pi nt) + snt, \\ y = R_0 \sin(\alpha + 2\pi nt). \end{cases} \quad (7)$$

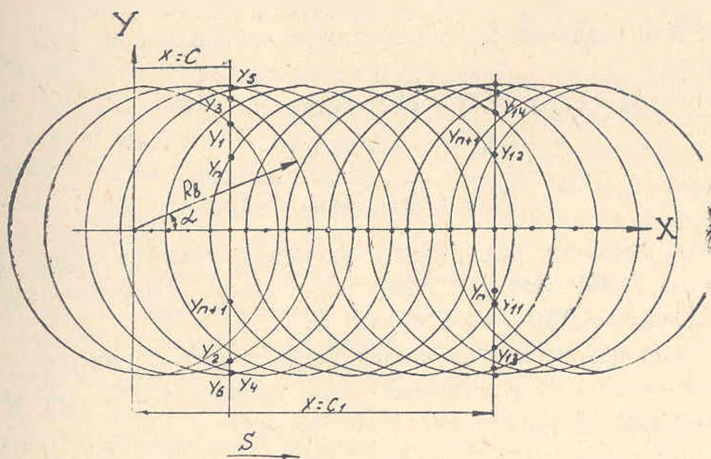


Рис. 2.

Вычисление интегралов (5) и (6) осуществляется на ЭВМ Наири 3—2. Предварительно вычисляются корни системы (7) $t_1, t_2, \dots, t_n$ и $y_1, y_2, \dots, y_n$. Суммарная длина L следов на участке от c до c_1 , имея в виду, что $c_1 - c \gg s$, определяется по формуле:

$$L = L_{\kappa_1} - L_{\kappa},$$

а суммарная площадь канавок —

$$s_{\kappa} = L d_{\text{сл}}, \quad (8)$$

где $d_{\text{сл}} = \sqrt{\frac{4P}{\pi HB} \left(1 - \frac{P}{\pi D^2 HB}\right)}$; P — усилие, прижимающее все шарики к обрабатываемой плоскости; D — диаметр шариков; HB — твердость по Бринелю.

Опорная поверхность определяется:

$$F_{\text{оп}} = \frac{F_{\text{об}} - s_{\kappa}}{F_{\text{об}}} \cdot 100\%, \quad (9)$$

где

$$F_{\text{об}} = 2R(c_1 - c). \quad (10)$$

Совместно решая (8)–(10):

$$F_{\text{оп}} = \frac{2R(c_1 - c) - \sqrt{\frac{4P}{\pi HB} \left(1 - \frac{P}{\pi D^2 HB}\right)}}{2R(c_1 - c)} L \cdot 100\% \quad (11)$$

Объем масляных канавок может быть рассчитан:

$$V_k = \frac{V}{F_{\text{об}}} \quad (12)$$

где

$$V = \frac{P}{\pi DHB} L; \quad (13)$$

V — объем всей канавки на обработанной поверхности; V_k — удельный объем канавки.

Подстановка (11) и (13) в (12) даёт

$$V_k = \frac{PL}{\pi DHB 2R(c_1 - c)} \quad (14)$$

Площадь канавок определяли экспериментально и по расчетным формулам на ЭВМ «Наири 3-2». Расхождение полученных результатов не превысило 3,2%.

Предложенная методика может быть использована для определения площади канавок, создаваемых при нанесении РМР на плоскостях многошариковым инструментом.

Лен. фил. ЕрПИ им. К. Маркса

18. II. 1983

ЛИТЕРАТУРА

1. Шнейдер Ю. Г. Применение способа вибрационного обкатывания взамен шабрения для обработки направляющих поверхностей станков.— Саратов: НТО, Машпром, 1975.— 176 с.

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

А. А. ЧУНАЕВ, А. В. ВАРТАНЯН, И. А. ЗАГДЕНМАН

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА КАПИЛЛЯРНЫХ
РТУТНО-ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Одним из важнейших показателей качества капиллярных ртутно-электролитических элементов (КРЭ) является скорость дрейфа $V_{др}$ выходной характеристики — импеданса считывания. Разработанные новые технологические процессы на основе исследований физики отказов [1] позволили существенным образом уменьшить деградационные процессы, происходящие в КРЭ, и обусловили необходимость разработки прогнозирующих методик, т. к. величина $V_{др}$ не превышает сотых долей Ом за сутки. Одним из перспективных методов прогнозирования качества является метод индивидуального прогнозирования на основе информативных параметров [2]. Для определения информативности параметров был использован подход, разработанный в [3].

Оценка возможных информативных параметров показала, что наибольшее распознавание наступало при использовании в качестве обобщенного параметра суммы двух информативных параметров, полученных из анодной вольт-амперной характеристики (ВАХ), снятой потенциодинамическим методом.

Снятие потенциодинамических кривых производилось между рабочим капиллярным электродом и общим электродом, имеющим поверхность, большую на два порядка. Изменение потенциала осуществлялось импульсом треугольной формы от 0 до 160 мВ. Скорость развертки составляла 10 мВ/с. Полученные потенциодинамические кривые были классифицированы на три вида (рис.).

Кривая вида I имеет положительный наклон вольт-амперной характеристики в области нарастания потенциала («прямого хода»):

$$\frac{dI(\varepsilon)}{d\varepsilon} > 0,$$

где dI — приращение тока при изменении потенциала электрода на $d\varepsilon$, что свидетельствует о стабильном состоянии электродов.

Кривая вида II имеет в указанной области участки с отрицательным наклоном $\frac{dI}{d\varepsilon}$, что присуще электродам, переходящим из активного в пассивное состояние.

Кривые вида III с искажением участков прямого (1) и обратного (2) ходов свойственны электродам с значительным дрейфом модуля импеданса считывания ($V_{др} > 0,1 \text{ Ом/сут}$).

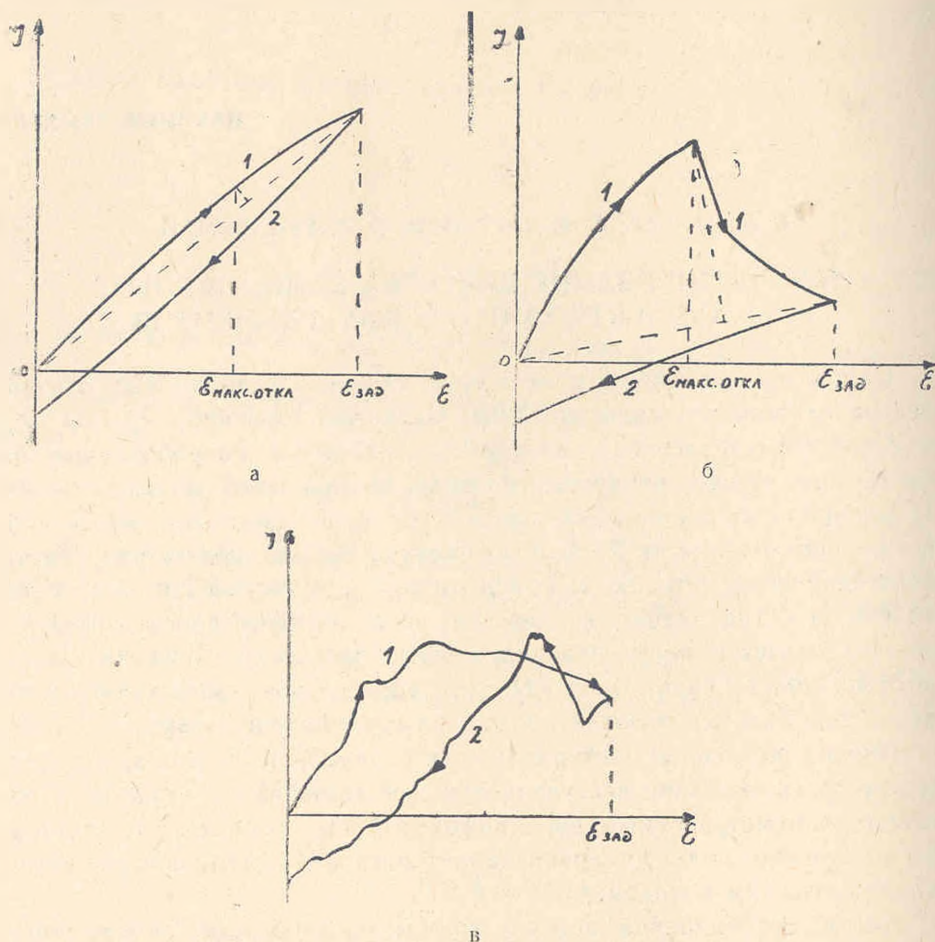


Рис. Потенциодинамические кривые видов: а) — I; б) — II; в) — III, 1 — прямой ход, 2 — обратный ход.

Анализируя физико-химические процессы, происходящие при наложении анодного потенциала, можно заключить, что чем раньше происходит отклонение от прямолинейного хода характеристики в области нарастания потенциала, тем ниже качество элемента. Однако для различных сопротивлений электролита точка начала отклонения будет отличаться даже при одном и том же сопротивлении электрода. Чтобы избежать этой зависимости, в существенной мере увеличивающей ошибку при прогнозировании, экспериментально найден параметр, практически не зависящий от сопротивления электролита: проводилась прямая, соединяющая начало координат с точкой кривой при $\epsilon_{зад} = 160 \text{ мВ}$, и относительно этой прямой находилась точка максимального отклонения от линейности, а затем эта точка проецировалась на ось абсцисс.

Отношение величины $\varepsilon_{\text{зад}}$ к $\varepsilon_{\text{макс. откл.}}$, отсчитанной от начала координат до точки проскции, $\frac{\varepsilon_{\text{зад}}}{\varepsilon_{\text{макс. откл.}}}$ является первым информационным параметром. При отсутствии отклонения от линейности его значение принималось равным 1.

Наличие участков с отрицательным наклоном $\frac{dI}{d\varepsilon}$ свидетельствует о значительном увеличении скорости роста внутреннего сопротивления. Отсюда следует второй информативный параметр, определяемый по ВАХ и также не зависящий от сопротивления электролита: $\frac{R}{\left| \frac{d\varepsilon}{dI} \right|}$, при-

чем $R = \frac{\varepsilon}{I}$ определялась в начале нарастающего линейного участка прямого хода ВАХ, а отношение $\left| \frac{d\varepsilon}{dI} \right|$ — в области максимального спада. Для кривых, не имеющих отрицательного наклона, этот параметр равен нулю. Сумма двух информативных параметров и является обобщенным информативным параметром N .

Исходя из требований потребителя, были выделены четыре класса изделий с различной величиной $V_{\text{др}}$:

1. $V_{\text{др}} \leq 0,005 \text{ Ом/сут}$; 2. $0,03 \geq V_{\text{др}} > 0,005 \text{ Ом/сут}$;
3. $0,06 \geq V_{\text{др}} > 0,03 \text{ Ом/сут}$; 4. $0,1 \geq V_{\text{др}} > 0,06 \text{ Ом/сут}$.

Этим классам с доверительной вероятностью 0,9 соответствуют следующие значения информативного параметра N :

- а) $1 \leq N < 1,55$; б) $1,55 \leq N \leq 2,53$;
- в) $2,4 \leq N \leq 3,55$; г) $3,55 \leq N \leq 5,7$.

Как видно, неполная информативность параметра приводит к незначительному пересечению интервалов 2 и 3 классов. Была проведена контрольная проверка вероятности правильного прогноза, ее значение равнялось 0,82, что подтверждает возможность использования установленного нами информативного параметра для прогнозирования качества КРЭ.

В результате проведенной работы осуществляется достоверное и эффективное прогнозирование качества при использовании двух информативных параметров, получаемых из одной анодной потенциодинамической кривой при простейшей процедуре прогнозирования.

Ари. отд. ВНИИТ

27. IX. 1984

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Чунасов А. А. Физика отказов КРЭ в режиме хранения информации.— Изв. АН АрмССР (сер. ТН), 1981, т. XXXIV, № 2, с. 53—56.
2. Прогнозирование надежности изделий электронной техники на основе информативных параметров. Обзоры по электронной технике.— М.: ЦНИИ Электроника, вып. 1 (619), 1979.— 95 с.
3. Марчук Г. И. Математические модели в иммунологии.— М.: Наука, 1980.— 264 с.

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

В. Г. МАНАСЯН

ВЛИЯНИЕ ВОДОЦЕМЕНТНОГО ФАКТОРА И КОЛИЧЕСТВА
ВОВЛЕЧЕННОГО ВОЗДУХА НА НЕКОТОРЫЕ СВОЙСТВА
БЕСПЕСЧАНОГО КЕРАМЗИТОПЕНОБЕТОНА

Проверка влияния водоцементного фактора и количества вовлеченного воздуха на некоторые основные свойства керамзитопенобетона проводилась с применением бетонных смесей одинаковой удобоукладываемости (осадка конуса 1—2 см, что соответствует показателю жесткости 20—30 с). Полученные результаты приведены в таблице.

Таблица

Материалы и свойства	Един. изм.	Керамзитопенобетон			
		на клеekaanифольном пенообразователе	на УСП		
			номера составов		
			1	2	3
Расход материала на 1 м ³ бетона					
Портландцемент М-500	кг	300	300	260	220
Вода	л	135	120	101	84
Керамзит	м ³	1,1	1,1	1,1	1,1
Раствор пенообразователя	л	45	34	36	38
Водоцементное отношение	—	0,45	0,4	0,39	0,38
Объемная масса сухого бетона	кг/м ³	810	800	720	650
Количество вовлеченного воздуха	%	22	23,5	25,4	27,1
Влажность:					
в) пропаривания;	%	13,1	11,9	10,9	9,8
б) в возрасте 28 сут	%	8,2	7,5	7,1	6,7
Предел прочности при сжатии:					
а) после пропаривания;	Н/мм ²	2	3	2,4	1,6
б) в возрасте 28 сут	Н/мм ²	3,2	4,8	3,5	2,5

В качестве вяжущего применяли портландцемент марки 500. Были использованы клеekaanифольный пенообразователь и новый универсальный синтетический пенообразователь (УСП) — паста алкилсульфатов на основе жирных первичных спиртов. Последний позволил ликви-

дировать недостатки в технологии керамзитопенобетонных изделий, имеющие место при применении традиционных пенообразователей (клееканифольного, смолосапонинового и др.) [1—3]. Клееканифольный и универсальный синтетический пенообразователи дают техническую пену практически одинаковой кратности, но стойкость на воздухе пены из УСП выше и отход жидкости меньше, что позволяет снизить водопотребность керамзитопенобетонных смесей и на 40—80 кг уменьшить расход цемента на 1 м³ бетона. Пасту разводили в воде в соотношении 1:30. Составы легкобетонных смесей подбирали из расчета расхода керамзитового гравия в количестве 1,1 м³ керамзита на 1 м³ беспесчаного керамзитопенобетона [3].

В настоящей работе представлены результаты опытов по получению поризованных легких бетонов на основе керамзита с объемной насыпной массой 350 кг/м³ (фракции 10—20 мм), изготовленного способом термоудара в тепловом агрегате нового типа—кольцевой печи с движущимся полом, разработанной в ЦНИИЭПсельстрое.

Уплотнение образцов бетонных смесей в формах осуществляли на лабораторной виброплощадке с частотой 2800 колебаний в минуту и амплитудой 0,35 мм. Время уплотнения поризованной керамзитопенобетонной смеси составило 20—30 с. Отформованные образцы—кубы выдерживали 2—3 ч, а потом подвергали тепловой обработке по режиму 4×6×3 ч. Образцы испытывали на прочность при сжатии через 3—4 ч и через 28 суток после пропаривания и последующего хранения в нормальных температурно-влажностных условиях. Опыты показали, что пенообразователь УСП обладает более значительным пластифицирующим действием, чем клееканифольный. Поэтому для достижения одинаковой подвижности керамзитопенобетонной смеси при одном и том же расходе цемента представляется возможным уменьшить водоцементное отношение с 0,45 до 0,4, из-за чего прочность затвердевшего керамзитопенобетона увеличивается в 1,5 раза.

При дальнейшем уменьшении расхода воды для получения керамзитопенобетона марки 25 на УСП, по сравнению с бетоном на клееканифольном пенообразователе, возможно снизить расход цемента на 27%. При этом в/ц уменьшается до 0,38, а количество вовлеченного воздуха увеличивается с 23,5 до 27,1%. Уменьшение расходов цемента и воды позволяют снизить дополнительно объемную массу керамзитопенобетона и его технологическую влажность.

Кир. фил. ЕрПИ им. К. Маркса

13. IV. 1984

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Бужевич Г. А., Довжик В. Г., Бугрим С. Ф., Киселев Д. П. и др. Поризованный керамзитобетон.— М.: Стройиздат, 1969, с. 111—149.
2. Инструкция по изготовлению и применению стеновых панелей и блоков из керамзитопенобетона для животноводческих и птицеводческих зданий (ВСН 03—77).— М.: Стройиздат, 1977, с. 19—27.
3. Бужевич Г. А., Хаймов И. С. Керамзитопенобетон.— В сб.: «Технология и свойства новых видов легких бетонов на пористых заполнителях».— М.: Стройиздат, 1971, с. 54—84.

Բ Ո Վ Ա Ն Դ Ա Կ Ո Ւ Թ Յ Ո Ւ Ն

էջ

ՄԵՔԵՆԱՇԻՆՈՒԹՅՈՒՆ

Մ. Վ. Կասյան, Մ. Մ. Սիմոնյան, Մ. Թ. Նաչարյան: Գործիքների թույն իրանների հոգ- նածային ամրությունը և տատանումների մարման ունակությունը	5
Ա. Ա. Լսկանդարյան: Գլորման առանցքակալներ ունեցող անհավասարակշռված ոտտորի տատանումները	7

ՏԵՆՆԻԿԱԿԱՆ ԿՐԵՆՐՆԵՏԻԿԱ

Գ. Վ. Յալյան: Որլակտի որակի զնահատման մի պարամետրական մեթոդի մասին	11
Գ. Լ. Արեշյան, Ա. Մ. Մելիքով: Կայունացված լուծումների կառուցման եղանակը բազմաչափ ոչ գծային ԱԿՀ-ի թույլ կապերի դեպքում	15

ՀԱՇՎՈՂԱԿԱՆ ՏԵՆՆԻԿԱ

Մ. Կ. Բրուդյան: Ավտոմատ համակարգի օպտիմալ կառավարումը ղեկավարող պարա- մետրերի կառուցվածքային սահմանափակումների առկայությամբ	20
--	----

ԶԱՓՈՂԱԿԱՆ ՏԵՆՆԻԿԱ

Ա. Ս. Շաղգսյան: Կիսահաղորդչային ջերմադիմադրությունների օգտագործումը ջերմաս- տիճանի ճիշտ չափման համար	27
Ս. Խ. Հովհաննիսյան: Համասեռ կանոնավոր կառուցվածքների աշխատունակության ստուգման որոշ մեթոդոլոգիական առանձնահատկությունները	31
Վ. Ռ. Մառախոսյան: Պատկերների հստակության ղեկավարումը վիճակային դոման դեպքում	35

ԳԻՏԱԿԱՆ ՆՈԹԵՐ

Մ. Տ. Սողոյան, Ա. Ա. Գևորգյան: Հարթության վրա հանված յուղման կարգավորված ակոսների հենման մակերևույթի որոշումը	39
Ա. Ա. Զուևաև, Ա. Վ. Վսրղանյան, Ի. Ա. Զայդենման: Մազանոթային սնդիկա-էլեկտրո- լիտիկ տարրերի որակի նախագուշակումը	43
Վ. Գ. Մանասյան: Զրաքեմենտային գործոնի և ներգրավված օդի քանակի ազդեցու- թյունը ավազ չպարունակող կերամզիտային փրփրաբետոնի որոշ հատկությու- նների վրա	46

СОДЕРЖАНИЕ

Стр

МАШИНОСТРОЕНИЕ

<i>М. В. Касьян, М. М. Симонян, М. Т. Наджарян.</i> Усталостная прочность и демпфирующая способность чугунных державок инструментов	3
<i>А. А. Искандарян.</i> Колебания неуравновешанных роторов на подшипниках качения	7

ТЕХНИЧЕСКАЯ КИБЕРНЕТИКА

<i>Г. В. Ялоян.</i> Об одном параметрическом методе оценки качества объекта . . .	11
<i>Г. Л. Арешян, А. М. Мелкумян.</i> Метод построения установившихся решений в многомерных нелинейных САУ при слабых взаимных связях	15

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

<i>М. К. Брутян.</i> Оптимальное управление автоматической системой при структурных ограничениях управляющих параметров	20
---	----

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

<i>А. С. Шахкамян.</i> Применение полупроводниковых терморезисторов для точного измерения температуры	27
<i>С. Х. Оганесян.</i> Некоторые методологические особенности контроля работоспособности однородных регулярных структур	31
<i>В. Р. Мартirosян.</i> Винеровская фильтрация изображений с управляемой резкостью	35

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

<i>М. Т. Согоян, А. А. Геворкян.</i> Определение опорной поверхности при нанесении РМР на плоскостях	39
<i>А. А. Чунаев, А. В. Варданян, И. А. Зийденман.</i> Прогнозирование качества капиллярных ртутно-электролитических элементов	43
<i>В. Г. Манасян.</i> Влияние водоцементного фактора и количества вовлеченного воздуха на некоторые свойства беспесчаного керамзитопенобетона	46