

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 Ր Բ Ա Չ Դ Ա Վ Ա Ն Վ Ա Ն Ի Ն Ի Մ

Կասյան Մ. Վ. (պատ. խմբագիր), Աղանց Հ. Տ. (պատ. խմբագրի տեղակալ),
Ալիբրեկեանի Վ. Վ., Զաղոյան Մ. Ա., Հակոբյան Ռ. Ե.,
Սարգսյան Ջ. Ս., Ստանկյան Մ. Գ., Տեր-Աղաբե Ի. Ա.,
Փիճադյան Վ. Վ. (պատ. խմբագրի տեղակալ),
Գառնի-Խանյան ընթերցողական խումբի ղեկավար Ստեփանյան Զ. Կ.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Касьян М. В. (ответ. редактор), Агоци Г. Т. (зам. ответ. редактора),
Алексеевский В. В., Акопян Р. Е., Задоян М. А.,
Пинайджян В. В. (зам. ответ. редактора), Саркисян К. Л.,
Стакян М. Г., Тер-Азарьян Н. А.
Ответственный секретарь Степанян Э. К.

М. Г. СТАКЯН, Ю. П. ШАГАЕВ, Н. С. ИСАХАНИЯ

О РАСПРЕДЕЛЕНИИ МИКРОТВЕРДОСТИ
ПРИ ИСПЫТАНИЯХ НА УСТАЛОСТЬ

Решение задач, способствующих повышению надежности и долговечности деталей машин и конструкций, неразрывно связано с проблемой разрушения конструкционных материалов. Разрушение является структурно-чувствительным процессом, а закономерности деформации микрообъемов поверхностных слоев кристаллических материалов сложны и существенно отличаются от кинетики макродеформаций. Аномальные особенности пластического течения, зарождения и развития дефектов в поверхностном слое формируют процессы усталостного разрушения и поэтому необходимо располагать количественными показателями свойств поверхностных слоев и отдельных зон сечения деталей на микроструктурном уровне, что возможно реализовать измерениями микротвердости. Указанный метод отличается высокой локальностью, пригоден для изучения пластических микродеформаций, предшествующих усталостному разрушению, и позволяет получить достоверную информацию о поведении материалов при периодическом нагружении [1, 2].

Исследования по установлению закона распределения микротвердостей H_{μ} ранее [1, 2] проведены приближенными способами, которые носят предварительный характер и не могут включать в себя априорную информацию об установлении вида статистической модели процесса упрочнения, оцениваемого H_{μ} . Необходимость такой проверки обоснована тем, что измерения H_{μ} сопровождаются случайным и неконтролируемым рассеянием, вытекающим из инструментальных возможностей аппаратуры и особенностей физико-механического состояния структурных составляющих материала. При массовых измерениях совокупности H_{μ} фактически характеризуют интегральную оценку микротвердости изучаемой микроструктуры. Если учесть, что упрочнение микрообъемов поверхностного слоя при периодическом нагружении является сопутствующим процессом и проявляется в гораздо меньшей степени, чем при специальных видах упрочняющей технологии (ППД), для получения достоверной информации и ее фильтрации от «шумов» следует применять более строгие, аналитические методы проверки нормальности распределения H_{μ} с использованием современных критериев согласия. Если выбранный критерий не позволяет делать уверенный и однозначный вывод, то проверку «нулевой гипотезы» необходимо производить по другим критериям и статистические вычисления дополнить графической проверкой [3, 4].

Учитывая это, разработанная ранее программа вычислительных операций [5] модифицирована и при большем объеме выборки ($n > 30-50$) включает в себя проверки по критериям согласия λ — Колмогорова—Смирнова, ω^2 — Мизеса и χ^2 — Пирсона [3]:

$$\max \left[D_n^+; D_n^- \right] \left(\sqrt{n} - 0,01 + \frac{0,85}{\sqrt{n}} \right) \leq \lambda_\alpha; \quad (1)$$

$$\left\{ \frac{1}{12n} + \sum_{i=1}^n \left[W(x_i) - \Phi(\hat{z}_i) \right]^2 \right\} \left(1 + \frac{1}{2n} \right) \leq W_\alpha^2; \quad (2)$$

$$\chi^2 = \sum_{j=1}^{e_1} \frac{(\bar{n}_j - np_j)^2}{np_j} \leq \chi_\alpha^2, \quad (3)$$

где

$$D_n^+ = \max_{1 \leq i \leq n} \left[\frac{i}{n} - \Phi(\hat{z}_i) \right]; \quad D_n^- = \max_{1 \leq i \leq n} \left[\Phi(\hat{z}_i) - \frac{i-1}{n} \right]; \quad W(x_i) = \frac{i-0,5}{n};$$

$$\Phi(\hat{z}_i) = 0,5 + \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{\hat{z}_i} e^{-\frac{z^2}{2}} dz; \quad \hat{z}_i = \frac{x_i - \bar{x}}{s}; \quad i = 1, 2, 3, \dots, n;$$

$e_1 < j$ — скорректированное число интервалов размаха варьирования $\bar{x} = x_n - x_1$; $\bar{n}_j, p_j$ — частота и вероятность попадания в j -й интервал; $\lambda_\alpha, W_\alpha^2, \chi_\alpha^2$ — критериальные значения критериев согласия, соответствующие заданному уровню надежности вывода α (обычно $\alpha = 0,05$ или $0,01$).

В модифицированную программу введена также подпрограмма для оптимального разбиения $\bar{x}$ на j и определения такого значения e_1 , которое обеспечивает $\max |P(\chi^2 < \chi_\alpha^2)|$ (т. е. $\alpha_{\max}$), определяемое из выражения

$$P(\chi^2 < \chi_\alpha^2) = \frac{1}{2^{\frac{k}{2}} \Gamma\left(\frac{k}{2}\right) \chi_\alpha^{\frac{k}{2}}} \int_0^{\chi_\alpha^2} (\chi^2)^{\frac{k}{2}-1} e^{-\frac{1}{2}\chi^2} d\chi^2, \quad (4)$$

где $\Gamma\left(\frac{k}{2}\right) = \int_0^\infty x^{\frac{k}{2}-1} e^{-x} dx$ — Гамма-функция; $k = e_1 - 3$ — число степеней свободы.

Для графической проверки в программе [5] введены изменения:

а) определение доверительных интервалов для генеральной средней и с.к.о.

$$\bar{x} - \frac{s}{\sqrt{n}} t_{\alpha,k} < a < \bar{x} + \frac{s}{\sqrt{n}} t_{\alpha,k}; \quad (5)$$

$$s \sqrt{\frac{n-1}{\chi_{p_1}^2}} < \sigma < s \sqrt{\frac{n-1}{\chi_{p_2}^2}}, \quad (6)$$

где $t_{\alpha, k}$, $\chi^2_{\beta, k}$, $\chi^2_{\alpha, k}$ — критерии Стьюдента и Пирсона при заданных α , $k = n - 1$ и доверительных вероятностях P_1 и P_2 (обычно $P_1 = \frac{\alpha}{2} = 0,05$, $P_2 = 1 - \frac{\alpha}{2} = 0,95$);

б) построение средневероятной линии эмпирической функции распределения

$$\bar{x}_p = \bar{x} + z_p s, \quad (7)$$

ее верхней и нижней доверительных границ по β уровням вероятности P :

$$x_{\beta}^{o.p.} = \bar{x} \pm t'_{\beta} [(n-1); \Delta] \frac{s}{\sqrt{n}}, \quad (8)$$

где $\Delta = z_p / \sqrt{n}$ — параметр нецентральности; $t'_{\beta} [(n-1); \Delta]$ — квантиль уровня β нецентрального распределения Стьюдента:

$$t'_{\beta} [(n-1); \Delta] = \frac{\left(1 - \frac{1}{4k}\right) \Delta + z_{\beta} \sqrt{\left(1 - \frac{1}{4k}\right)^2 - \frac{z_{\beta}^2}{2k} + \frac{\Delta^2}{2k}}}{\left(1 - \frac{1}{4k}\right)^2 - \frac{z_{\beta}^2}{2k}}, \quad (9)$$

z_p , z_{β} — квантили уровней P и β функции Лапласа (обычно $P = 0,01, 0,1, 0,5, 0,9, 0,99$, а $\beta = 0,95$).

Проведены сравнительные испытания на усталость гладких образцов при круговом изгибе (сталь 45, нормализация, $d = 12$ мм, $\bar{\sigma}_1 = 270$ МПа) и уровнях перенапряжений: $\sigma_1 = 350$ МПа ($N_1 = 0,11 \cdot 10^6$), $\sigma_2 = 290$ МПа ($N_2 = 4,12 \cdot 10^6$). Измерения микротвердости (прибор ПМТ-3, нагрузка на микроиндентор 1 Н) производились до и после завершения испытаний, в зонах вязкого и хрупкого излома (по 200 измерений на образец). Для оценки влияния уровня перенапряжений и степени усталостных повреждений результаты измерений сгруппированы в 8 совокупностях (индексы указывают уровень перенапряжений, а штрихи — измерения до испытаний):

1. O_1^i , O_1^d и O_2^i , O_2^d — общие совокупности до и после испытаний
2. B_1 , B_2 и X_1 , X_2 — отдельные выборки от O_1 и O_2 , соответствующие зонам вязкого и хрупкого излома.

За исключением совокупности O_1 (табл. 1), на уровне $\alpha = 0,01$ по критериям λ и ω^2 отвергается «нулевая» гипотеза о соответствии H_k нормальному закону распределения. Но проверка по критерию χ^2 , широко применяемому в научных исследованиях, дает удовлетворительные результаты: для 6 совокупностей на уровне $\alpha = 0,05$, а для двух — на уровне $\alpha = 0,01$ удовлетворяется условие (3). Для наглядности в табл. 1 представлены также фактические уровни значимости $\alpha_{ф}$, рассчитанные

Таблица 1

№	Условия эксперимента	Совокупности	n	$\bar{x}$	s	Проверка по критериям								Доверительные интервалы			
						t	ω^2	χ^2						a		a	
								χ^2	$\chi^2_{0,01}$	$\sigma_{\bar{x}}$	z_1	j	нижн.	верх.	нижн.	верх.	
1.	Образец №1	до испытания	O ₁	100	131,4	29,9	1,06	0,15	3,23	11,1	0,632	8	10	175,5	187,3	26,3	34
2.		$\sigma_1=350 \text{ МПа}$	B ₁	44	254,4	31,3	1,65	0,36	10,72	7,82	0,049	6	13	245,1	263,6	25,9	42,8
3.		$N_1=0,11 \cdot 10^6$	X ₁	55	167,1	30,5	1,65	0,43	11,98	7,82	0,027	6	11	159,1	175,1	25,7	40,1
4.			O ₁	100	205,5	53,3	1,55	0,34	14,26	14,1	0,054	10	16	159,1	215,9	47,7	60,4
5.	Образец №2	до испытания	O ₂	100	184,3	24,7	1,44	0,28	4,05	9,49	0,354	7	9	179,4	189,1	22,1	28
6.		$\sigma_2=290 \text{ МПа}$	B ₂	35	216,6	38,5	1,31	0,32	5,68	5,99	0,229	5	8	203,8	229,3	31,1	55,1
7.		$N_2=4,12 \cdot 10^6$	X ₂	64	188,7	17,2	1,65	0,35	6,84	5,99	0,013	5	14	184,5	192,4	14,7	19,3
8.			O ₂	89	190,5	17,3	1,82	0,47	4,05	7,82	0,183	6	17	186,9	194,1	15,5	19,7

Примечание. Критериальные значения: $t_{0,01} = 1,04$ и $\chi^2_{0,01} = 0,173$.

согласно (4): в большинстве случаев $\alpha_{\Phi} = 0,05-0,63$, что позволяет судить о приемлемости нормального закона распределения. Это подтверждается также графической проверкой (рис.) — результаты измерений удовлетворительно сгруппированы вокруг медианной линии функции распределения $H_{\text{кв}}$ и вписываются в пределы 90%-ого доверительного интервала.

Важное значение имеет также проверка статистических гипотез для оценки значимости влияния режима нагружения и степени усталостных повреждений на величину $H_{\text{кв}}$ в отдельных зонах усталостного излома. Для этого необходимо доказать, что вариационные ряды $H_{\text{кв}}$ являются выборками из разных генеральных совокупностей ($\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$, $a_1 \neq a_2$) при неизвестных генеральных средних и с. к. о., для чего следует попарно отклонять гипотезу равенства их выборочных дисперсий s^2 и средних $\bar{X}$ по критериям F — Фишера и t — Стьюдента [3]: $F < F_{1-\alpha}$, $t \leq t_{\alpha, k}$.

Проведены следующие группы парных проверок для оценки:

I. $O_1 O_2$, $B_1 B_2$, $X_1 X_2$, $O_1 O_2$ — влияния уровня перенапряжений;

II. $O_1 B_1$, $O_1 X_1$, $O_1 O_1$ и $O_2 B_2$, $O_2 X_2$, $O_2 O_2$ — степени усталостных повреждений;

III. $B_1 X_1$, $B_2 X_2$ — влияния зон усталостных изломов;

IV. $O_1 B_1$, $O_1 X_1$ и $O_2 B_2$, $O_2 X_2$ — разделения зон усталостных изломов.

Парная проверка исходных серий ($O_1 O_1$ — табл. 2) указывает на идентичность микроструктурного состояния образцов ($\sigma_1^2 \approx \sigma_2^2$, $a_1 \approx a_2$), что важно для проведения сопоставимых испытаний на усталость.

Уровень перенапряжений является основным фактором, оказывающим неслучайное и значимое влияние на величину $H_{\text{кв}}$ для отдельных зон и по всей поверхности излома ($\sigma_1^2 > \sigma_2^2$, $a_1 \neq a_2$) — при этом уровень значимости выше при сопоставлении зон вязкого и хрупкого излома ($B_1 B_2$ и $X_1 X_2$ — табл. 2). В зоне вязкого излома наблюдается равенство дисперсий ($\sigma_1^2 \approx \sigma_2^2$) вариационных рядов $H_{\text{кв}}$, что предопределяет параллельное расположение линий функции распределения $H_{\text{кв}}$, отмеченное ранее [6, 7].

Влияние степени усталостных повреждений значимо при высоких перенапряжениях ($O_1 O_2$ — $\sigma_1^2 > \sigma_2^2$, $a_1 \neq a_2$), а при раздельном со-

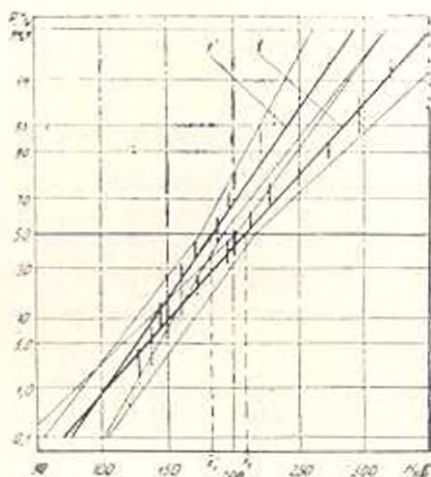


Рис. Средневероятные графики эмпирических функций распределения $H_{\text{кв}}$ и их 90 %-ные доверительные интервалы для общих совокупностей O_1 и O_2 . I — до испытаний; II — после окончательного разрушения ($\sigma_1 = 350 \text{ МПа}$, $N_1 = 0,11 \cdot 10^6$).

поставлении зон излома (O_1B_1 и O_1X_1) — $\sigma_1^2 \approx \sigma_2^2$. При низких перенапряжениях из-за незначительного протекания упрочняющих процессов наблюдается примерное равенство статистических параметров: $\sigma_1^2 \approx \sigma_2^2$, $a_1 \approx a_2$ (O_2X_2 и O_2B_2), т. е. значения $H_{кв}$ несколько "теряют способность" оценки усталостных повреждений и возникает необходимость применения более тонких физических методов контроля.

Таблица 2

№	Гр.	Вид парн. проверки	F	$F_{1-\alpha}$	t	№	Гр.	Вид парн. проверки	F	$F_{1-\alpha}$	t
1.	I	O_1O_2	1,47	1,39	0,74	9.	II	O_2X_2	2,05	1,46	1,36
2.		B_1B_2	1,51	1,72	4,82	10.		O_2O_2	2,04	1,41	2,08
3.		X_1X_2	3,13	1,55	1,7	11.	III	B_1X_1	1,05	1,6	14,05
4.		O_1O_2	9,52	1,41	2,67	12.		B_1X_2	4,99	1,61	4,07
5.	II	O_1B_1	1,09	1,5	13,3	13.	IV	O_1B_1	2,9	1,56	6,87
6.		O_1X_1	1,04	1,47	2,52	14.		O_1X_1	3,05	1,5	5,73
7.		O_2O_2	3,16	1,39	3,86	15.		O_2B_2	4	1,56	4,07
8.		O_2B_2	2,43	1,54	4,65	16.		O_2X_2	1,01	1,48	0,62

Примечание $\alpha=0,05$, а $t_{\alpha/2, n_1+n_2-2} = 1,96$, т. к. $k = n_1 + n_2 - 2 > 30$.

Парная проверка совокупностей для зон вязкого и хрупкого излома указывает на необходимость их разделения от общих совокупностей ($\sigma_1^2 \approx \sigma_2^2$, $a_1 \approx a_2$). На незначимость влияния принципа разделения указывают также парные проверки O_1B_1 , O_1X_1 и O_2B_2 и лишь при низких перенапряжениях это разделение теряет смысл по известным физическим причинам ($O_2X_2 - \sigma_1^2 = \sigma_2^2$, $a_1 = a_2$).

Установление расчетным путем нормальности распределения $H_{кв}$ и вариация статистических параметров совокупностей $H_{кв}$ от ряда факторов, влияющих на протекание процесса микродеформирования поверхностных слоев при периодическом нагружении, доказывает возможность применения метода микротвердости для количественной оценки продолжительности стадий усталостного разрушения деталей из конструкционных сталей.

ՀՈԿՆԱԾԱՅԻՆ ՓՈՐՁԱՐԿՈՒՄՆԵՐԻ ԺԱՄԱՆԱԿ ՄԻԿՐՈԿԱՐԾՐՈՒԹՅԱՆ ԲԱՇԽՄԱՆ ՄԱՍԻՆ

Ա Վ Ի Ո Ւ Ո Ւ Մ

Հիմնավորված է մերենամասերի պարբերական բեռնվածության ընթացքում չափված միկրոկարծրության ամրողջութունների նորմալ բաշխման օրենքին համապատասխանելիության ստուգման անհրաժեշտությունը՝ կիրառելով Ն. Կուլմոզորով-Սմիրնովի, Կ. Միզենի և Կ. Պիրսոնի համաձայնության ցուցանիշները, որի համար «Ֆորտրան-IV» լեզվով կազմված է ծրագիրը Տուլյա է տրված, որ հուսալիության ելքի $\alpha = 0,01$ և $0,05$ մակարդակներով կարելի է ընդունել միկրոկարծրությունների նորմալ բաշխմանը համապատասխանելու «գրոյական» հիպոթեզը:

Նշված ամրողջությունների վիճակագրական հիպոթեզների ստուգումը հաստատում է, որ գերլարումների մակարդակն ու բեռնվածության ազդման հարատևությունը և ինչպես նաև հոգնածային քալքայման դոտիների առկայությունը միկրոկարծրության մեծությունների վրա ցուցաբերում են ոչ պատահական և նշանակալից ազդեցություն, որով և ապացուցվում է միկրոկարծրության մեթոդի կիրառման հնարավորությունը կոնստրուկցիոն պողպատներից պատրաստված մեքենամասերի հոգնածային քալքայման ընթացքի առանձին փուլերի տեղությունների քանակական գնահատման համար:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Крамренко О. Ю., Куликовская О. В. Применение метода микротвердости при оценке усталостного повреждения // Заводская лаборатория — 1972. — № 1. — С. 80—85.
2. Шагаев Ю. П., Стакая М. Г., Исиханян Н. С. Измерение микротвердости в процессе усталостного повреждения для оценки работоспособности изделий // Изв. АН АрмССР. Сер. ТН — 1985 — Т. XXXVIII, № 4. — С. 18—24.
3. Степанов М. Н. Статистические методы обработки результатов механических испытаний — М.: Машиностроение, 1985. — 232 с.
4. Герасимович А. И. Математическая статистика. — Минск: Высшая школа, 1983. — 279 с.
5. Стакая М. Г., Оганесян Л. Г. Исследование параметров режима нагружения валов передаточных механизмов // Изв. АН АрмССР. Сер. ТН — 1984 — Т. XXXVII, № 5. — С. 8—14.
6. Исиханян Н. С. Распределение микротвердости в зонах усталостного разрушения при двухосном напряженном состоянии // Теория и конструирование машин: Межвуз. тем. сб. науч. тр. по маш. — Ереван, 1986. — С. 25—30.
7. Исследование распределения микротвердости усталостного режима с целью диагностики причин разрушения деталей / Н. В. Оганесян, Ю. П. Шагаев, М. Г. Стакая и др. // Тез. докл. II Респ. конф. по повыш. надежн. и долговечн. маш. и сооруж., Днепропетровск, окт. 1985 г. — Киев: Научкова думка, 1985. — С. 130—131.

К. А. АЛІНХАՅԱՆ, Ю. К. АРУТՅԱՆ, В. И. ЧИТЕЧЯՆ, М. Г. БАБАՅԱՆ

ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНЫХ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
ЖЕЛЕЗОФОСФОРНЫХ СПЕЧЕННЫХ СПЛАВОВ МЕТОДОМ
ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

В последние годы сформированы технико-экономические предпосылки применения спеченных материалов при изготовлении магнитопроводов электрических машин [1]. В этих условиях определяющими являются их электромагнитные свойства, которые определяются следующими факторами: химическим и гранулометрическим составом порошка, формой частиц, температурой, продолжительностью и средой спекания, плотностью изделия, размером и распределением пор, гомогенностью структуры и др. Известны исследования, которые можно отнести к однофакторному эксперименту и в которых определялось влияние того или иного фактора на свойства железофосфорных сплавов [2].

В настоящей работе изучено влияние совокупности различных факторов на некоторые свойства спеченных железофосфорных сплавов, содержащих до 1% Р. В качестве сырья использовали железный порошок марки ПЖ2М2 и феррофосфорную лигатуру производства Броварского завода порошковой металлургии. Для решения задачи оптимизации характеристики сплава использовался метод факторного планирования экстремального эксперимента.

Состав факторов, их уровни и интервалы варьирования приведены в табл. 1.

Таблица 1

Уровни фактора и интервалы варьирования

Обозначения	Факторы	Уровни факторов			Интервал варьир.
		-1	0	+1	
A	Содержание железа, %	99	99,5	100	0,5
D	Пористость, %	10	15	20	6
E	Гранулометрический состав, мкм	50	100	150	50
M	Температура спекания, °C	1100	1150	1200	50
N	Время спекания, ч	2	4	6	2

В данной задаче, исходя из анализа электромагнитных параметров двигателя [3], в качестве параметра оптимизации принята величина магнитной индукции. Учитывая, что в общем случае к материалу предъявляются требования по уровню индукции и удельным потерям, построены также математические модели для параметра удельных потерь. Магнитная индукция и удельные потери материалов определены

на кольцевых образцах, а удельное электрическое сопротивление — на образцах по форме прямоугольного стержня. В процессе исследования реализован дробный факторный эксперимент типа 2^{5-2} (табл. 2). В план эксперимента со сплавом железо-фосфор введено содержание железа, а не легирующего элемента, для обеспечения удобства математической обработки.

Таблица 2

Матрица планирования и значения параметра оптимизации

№ опыта	A D E M N	Инд., Тл при напряжении поля, А/м		Удельные потери, Вт/кг	
		2500	5000	$P_{0,5/50}$	$P_{0,75/50}$
1	— — — — —	0,825	1,055	11	35
2	— — + — +	0,8625	1,0816	10	31
3	— + — + —	0,9616	1,0375	9	28
4	— + + + +	0,915	1,105	8,3	25,3
5	+ — — + +	0,4416	1,02	14	46,6
6	+ — + + —	0,7216	0,96	13,3	42
7	+ + — — +	0,72	0,8533	14,6	47
8	+ + + — —	0,7033	0,93	16	56

Для установления вида связи между параметрами оптимизации и определяющими его факторами в выбранных интервалах варьирования принимается следующая модель:

$$B = C_0 \cdot A^{z_1} \cdot D^{z_2} \cdot E^{z_3} \cdot M^{z_4} \cdot N^{z_5}, \quad (1)$$

которая в регрессивной форме имеет вид:

$$y = \ln B = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_4 x_4 + b_5 x_5 + \varepsilon_{\text{ош}}, \quad (2)$$

где $b_0, b_1, b_2, b_3, b_4, b_5$ — коэффициенты регрессии, которые рассчитываются по формуле

$$b_j = \frac{\sum_{i=1}^n x_{ij} \cdot y_i}{n}, \quad (3)$$

$j = 0, 1, \dots, 5$ — номер фактора (ноль записан для вычисления b_0); $\varepsilon_{\text{ош}}$ — ошибка от взаимодействия и эксперимента; x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 — полиномы, которые определяются по формуле Бокса:

$$x_i = \frac{2(\ln T_i - \ln T_{\max})}{\ln T_{\max} - \ln T_{\min}} + 1, \quad (4)$$

где $T_i, T_{\max}, T_{\min}$ — среднее, максимальное и минимальное значения исследуемого фактора.

Решая уравнение (4) по данным табл. 1 и определяя значение коэффициентов регрессии $b_0, b_1, \dots, b_5$ на основе эксперимента, с учетом данных табл. 2 получаем:

$$B_{(5000)} = l^{51,56} \cdot A^{-0,72} \cdot D^{-0,042} \cdot E^{0,052} \cdot M^{0,344} \cdot N^{-0,067},$$

$$P_{0,75/50} = l^{-200,43} \cdot A^{-47,66} \cdot D^{-0,046} \cdot E^{-0,003} \cdot M^{-2,000} \cdot N^{-0,067}.$$

Для проверки значимости коэффициентов и адекватности модели проведен дисперсионный анализ по методу суммы квадратов с проверкой гипотез по таблицам распределения Стьюдента. Анализ показал, что $F_{\text{рас.}} < F_{1,104}$ при 3% значимости. Для оценки воспроизводимости проведены параллельные опыты, в которых объем выборки принимался не менее трех.

Оптимальные параметры индукции и удельных потерь определены линейным программированием с учетом ограничения варьирования параметров в пределах заданного интервала, согласно табл. 1 ($-1, +1$) по неравенству, которое имеет вид, например, для индукции при напряженности 5000 А/м:

$$y = \ln B = 51,56 - 0,72 \ln A - 0,042 \ln D + 0,052 \ln E - 0,344 \ln M + 0,035 \ln N \geq \ln 11050.$$

Результаты оптимизации параметров, проведенной на ЭВМ, представлены в табл. 3, а рекомендуемые характеристики материалов — в табл. 4.

Таблица 3

Параметры оптимизации	Ф а к т о р ы				
	A	D	E	M	N
$B_{\text{max}} = 1,12 \text{ Тл}$	99	10	100	1200	6
$P_{\text{min}} = 25,1 \text{ Вт/кг}$	99	20	100	1200	6

Таблица 4

Материал	Плотность, г/см ³	Частота поля, Гц	Магн. инд., Тл при напряжении магнитного поля, А/м		Удельные потери, Вт/кг $P_{0,75/50}$	Удельное электросопротивление, $10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м}$	μ , МГл/а	λ , %	НВ, МГл/а
			2500	5000					
Fe	6,45	0 50	1,15 0,74	1,22 1,02	42	0,225	100	2,8	550
Fe—P	6,32	0 50	1,03 0,91	1,11 1,08	25	0,45	180	1	820

Введение в железо фосфора до 1% увеличивает индукцию на 7%, электросопротивление на 100%, удельные потери уменьшаются в 1,6

раза, а механические свойства удовлетворяют требованиям магнитопроводов по условиям прочности. С увеличением напряженности магнитного поля значимость влияния факторов, в особенности содержание легирующего элемента и пористость, на параметр оптимизации сказывается меньше, что можно объяснить насыщением железа.

Կ. Ա. ԱՐԻԱՆՅԱՆ, ՅՈՒ. Կ. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ, Վ. Ի. ՉԲԶՅԱՆ, Մ. Գ. ԲԱՐԱՅԱՆ

ԵՐԱԹԱՅՈՍՅՈՐԱՅԻՆ ԵՌԱՎԱԼՎԱԾ ՀԱՄԱՉՈՒՎԱԾՔՆԵՐԻ ՄԱԳՆԻՍԱԿԱՆ ԵՎ ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒՄԸ ՓՈՐՁԻ ՊԼԱՆԱՎՈՐՄԱՆ ՄԵԹՈԴՈՎ

Ա մ փ ո փ ո լ մ

Որոշված և փորձարկված են մագնիսական և մեխանիկական եռակալված համաձուլվածքների հատկությունների կախվածությունը նյութի կազմից և տեխնոլոգիական պրոցեսի հիմնական պարամետրերից: Գործոնների օպտիմալ արժեքների դեպքում FeP եռակալված համաձուլվածքը բնութագրվում է հետևյալ կերպ՝ $B_{(5000)} = 1,1 \text{ Tl}$, $P_{(25,20)} = 25 \text{ Վտ/կգ}$:

Մինչև 1% ֆոսֆորի ներմուծումը ինդուկցիան մեծացնում է 7%-ով, էլեկտրական դիմադրությունը՝ 100%-ով, տեսակարար կորուստները փոքրացնում 1,6 անգամ, իսկ մեխանիկական հատկությունները բավարարում են մագնիսական լարերին ներկայացնող ամրության պահանջներին:

Հոգվածում բերված տվյալները գործնական նշանակություն ունեն էլեկտրական մեքենաների նախագծման և ուսումնասիրման համար:

Л И Т Е Р А Т У Р А

- 1 Прогресс в области производства электрометаллокерамических материалов и изделий / А. Б. Альтман, П. П. Гладышев, И. П. Милащенко и др. // Электротехническая промышленность.— Сер. Электротехнические материалы.— 1977.— Вып. 10.— С. 6—10.
- 2 Панасюк О. А., Радомысльский И. Л. Влияние добавок фосфора на магнитные свойства изделий из железного порошка. Исследование в переменных полях // Порошковая металлургия.— 1973.— № 4.— С. 28—32.
- 3 Технология изготовления спеченного сердечника ротора обращенного асинхронного короткозамкнутого электродвигателя / Н. В. Манукян, Ю. К. Арутюнян, М. Г. Бабалян и др. // Электротехническая промышленность.— Сер. Технология электротехнического производства.— 1977.— № 4.— С. 11—13.

М. М. МАРТИРОСЯН

ВЕЛИЧИНА НАТЯГА ПРИ НАМОТКЕ И ПРОЧНОСТЬ
КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ
МАТЕРИАЛОВ (ПКМ)

Натяг ленты при намотке конструкций из ПКМ широко фигурирует как фактор технологического характера, влияющий на механические свойства готового изделия. В работах [1—3] показано, что натяг ленты существенно влияет на возникновение и величину технологических напряжений, которые, в свою очередь, снижают прочностные характеристики материала. В работе [4] считается, что натяг вообще не влияет на механические свойства ПКМ.

Цель настоящей работы — уточнить действительную картину связи между величиной натяга при намотке и прочностными свойствами изделий из ПКМ. Были изготовлены образцы по двум схемам намотки: а) только кольцевой и б) продольно-спиральной. По первой схеме на дюралевой оправке диаметром 150 мм наматывались кольца из однонаправленной углеленты шириной 15 мм и толщиной 0,12 мм, с различными натягами. Толщина намотки составляла 10 слоев. Натяг ленты создавался и поддерживался постоянным натяжным устройством электромеханического действия, обеспечивающего отклонение от заданной величины натяга не больше 2%.

Таблица 1

Натяг ленты, Н	$\sigma_{\perp}$, МПа	Кол-во образцов	Козф. на- риации, %
50	1051	7	6,4
100	1082	7	5,2
150	1126	7	13,2
200	1065	7	5,7

В табл. 1 приведены результаты экспериментов, которые показывают, что в исследованном интервале изменение натяга практически не влияет на прочность колец из углестластика. Затем по первой же схеме были изготовлены кольца из стеклопластика однонаправленной структуры. Готовые кольца имели ширину 15 мм и толщину 3,5 мм. Натяг при намотке поддерживался постоянным и составлял 200, 300 и 400 Н. Из данных табл. 2 видно, что при кольцевой намотке однонаправленной стеклоленты величина натяга также не влияет на прочность готового изделия.

Таблица 2

Натяг ленты, Н	Среднее значение, σ_0 , МПа	Пределные значения, σ_0 , МПа	Кол-во образцов	Коэффи- циент ва- риации, %
200	763	693—851	6	7,9
300	773	729—880	5	7,9
400	778	677—888	5	10,7

По второй схеме опыты проводились на стеклопластиковых трубчатых образцах толщиной стенки 15 мм с продольноспиральной намоткой с соотношением продольных и кольцевых слоев 1:1.

Таблица 3

Натяг ленты, Н	100	300	500
σ_0 , МПа	182	291,5	263

В табл. 3 приведены результаты испытания образцов на осевое сжатие, где наблюдается повышение прочности при натяге 30 Н.

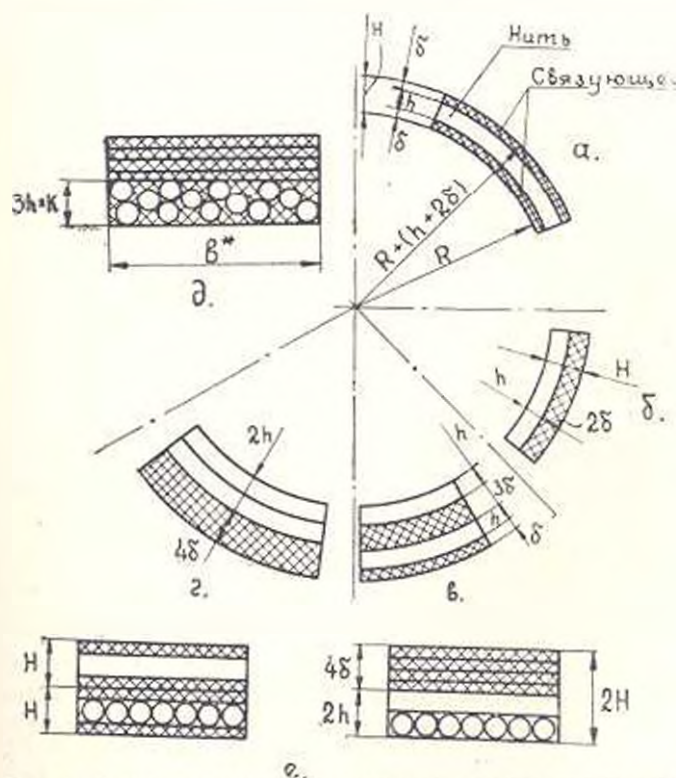


Рис. 1. Схема фильтрации и введения волокон при намотке

По результатам проведенных экспериментов получены два противоположных результата: очевидно, для того, чтобы натяг повлиял на конечный результат, он должен реально существовать до момента полного отверждения композита. Примем, что пропитанная и высушенная лента в момент намотки имеет структуру, схема которой приведена на рис. а. От натяга при намоте в нитях возникают напряжения, которые в дальнейшем будут фигурировать вместо натяга.

Учитывая, что податливость ленты намного выше податливости оправки, напряжения в нитях через натяг ленты можно выразить

$$\varepsilon_0 = \frac{P}{S} = \frac{4\pi}{\pi k^2 k} \quad (1)$$

где h — толщина нити, k — количество нитей в ленте.

Рассмотрим процесс изготовления колеи методом «сухой» намотки, когда все нити в ленте при намотке ложатся друг на друга параллельными слоями. Чтобы оценить напряжения в нитях, предполагаем, что намотанные с натягом P нити фильтруют через себя связующее, находящееся под лентой. В холодном состоянии связующего этот процесс будет иметь место, если под воздействием напряжений, возникших от данного натяга, нити преодолеют вязкое сопротивление связующего и внедрятся в него. В процессе нагрева системы «оправка-композит» на величину $\Delta T = T_{\text{н}} - T_0$, где $T_{\text{н}}$ — температура поликонденсации композита, T_0 — температура композита при намотке, в результате термического расширения оправки и нитей и их различных коэффициентов линейного расширения напряжения в нитях увеличивается еще на

$$\varepsilon_1 = E(\alpha_{\text{оп}} - \alpha_n) \Delta T, \quad (2)$$

где E — модуль упругости нитей; $\alpha_{\text{оп}}$ — коэффициент термического расширения (КТР) оправки; α_n — КТР нитей.

С повышением температуры системы «оправка-композит» и в результате падения вязкости связующего, под действием напряжений

$$\varepsilon_0 + \varepsilon_1 = \frac{4P}{\pi k^2 k} + (\alpha_{\text{оп}} - \alpha_n) \Delta T E \quad (3)$$

происходит интенсивное внедрение нитей в связующее и их движение в сторону оправки. В некоторых случаях, из-за большого натяга может произойти также и внедрение волокон одного слоя в другой (рис. б, з). Такое движение нитей будет продолжаться до тех пор, пока они либо попадут на слои, уже лежащие на оправке, либо в них, в результате уменьшения диаметра намотки и укорачивания приращения нитей, напряжения уменьшается до нуля. Слой нитей с номером n во время фильтрации может переместиться в сторону оправки на суммарную величину всех прослоек связующего, находящихся между этим слоем и оправкой, т. е. на величину

$$z(2n - 1), \quad (4)$$

Учитывая, что n -ый слой был намотан на окружность радиусом

$$R + (n - 1)(h + 2\delta), \quad (5)$$

а затем в процессе фильтрации радиус уменьшился на $\delta(2n-1)$, напряжение в нитях после фильтрации будет равно

$$\sigma(n) = \frac{4P}{\pi h^2 k} + (\sigma_{\text{нл}} - \sigma_n)(T_{\text{н}} - T_0)E - \frac{\varepsilon(2n-1)E}{R + (n-1)(2\delta + h) + \delta}. \quad (6)$$

Принимая левую часть формулы (6) меньшей или равной нулю, получаем номера слоев, в которых отсутствует напряжение:

$$n \geq \frac{(R - h)(\sigma_0 - \sigma_n) + \varepsilon E}{2\delta E - h(\sigma_0 + \sigma_n)}. \quad (7)$$

В принятых моделях поведения композита при намотке и термообработке отсутствуют два важных момента: а) размотка ленты в процессе нагрева под воздействием внутренних напряжений, возникших при силовой намотке и разогреве, и б) внедрение волокон или нитей одного слоя в другой в процессе движения слоев.

Все приведенные рассуждения показывают, что натяг ленты, каким бы он не был большим, должен релаксировать в процессе разогрева системы «оправка-композит», при этом полностью или почти прекратится воздействие натяга и, следовательно, его влияние на свойства готового изделия. В случае перекрещивания нитей внедрению волокон одних слоев в другой будут препятствовать нити, уложенные в продольном направлении (рис. б), а это, в свою очередь, уменьшит процесс релаксации напряжений.

Таким образом, проведенное исследование дает основание сделать вывод, что связь между величиной натяга ленты при намотке и прочностью готового изделия определяется структурой намотки. При строго кольцевой намотке прочность готового изделия не зависит от величины натяга, а в случае перекрещивания нитей в процессе намотки прочность изделия будет связана с величиной натяга.

СКТБ ин-та мех. АН АрмССР

20. III. 1985

Մ. Մ. ՄԱՐՏԻՐՈՅԱՆ

ՄԿՎԱԾԲԻ ՄԵՍՈՒԹՅՈՒՆՔ ՓԱԹԱԹԵԴԱՆ ԺԱՄԱՆԱԿ ԵՎ ՊՈԼԻՄԵՐԱՅԻՆ
ԿՈՄՊՈԶԻՏԻՈՆ ՆՅՈՒԹԻՑ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾԲԻ ԱՄՐՈՒԹՅՈՒՆՔ

Ա Վ Ի Ռ Փ Ր Մ

Իերված են պոլիմերային կոմպոզիցիոն նյութից պատրաստված կա-
ռուցվածքի ամրության վրա փաթաթման ժամանակ ժապավենի ձգվածքի մե-
ծության ազդեցության փորձարարական հետազոտության արդյունքները:

Ցույց է տրված, որ միառդղված ժապավենի խիստ օղակաձև փաթաթման ժամանակ ձգվածքի մեծությունը չի ազդում ստացված օղակի ամրության վրա: Մյուս կողմից, երբ փաթաթման ժամանակ տեղի է ունենում թելերի խաշանում, ապա պատրաստի իրի ամրությունը դառնում է կախյալ փաթաթման ձգվածքից:

ЛИТЕРАТУРА

1. Тарнопольский Ю. М., Портнов Г. Г. Изменение усилия натяжения при наматке изделий из стеклопластиков // Мех. полимеров.— 1966.— № 2. — С. 278—284.
2. Бризалини Р. Э. Экспериментальное определение остаточных напряжений при наматке однонаправленных стеклопластиков // Мех. полимеров.— 1966.— № 1.— С. 123—129.
3. Результаты экспериментального исследования остаточных напряжений в намоточных изделиях из стеклопластика при малом начальном усилии натяжения стеклоленты / В. Л. Благоняждин, Г. В. Мищенко, В. П. Николаев и др. // Труды МЭИ. «Динамика и прочность машин».— 1970.— Вып. 74.— С. 94—97.
4. Николаев В. П., Инденбаум В. М. К расчету остаточных напряжений в намоточных изделиях из стеклопластиков // Мех. полимеров.— 1970.— № 6.— С. 1026—1030.

Изв. АН АрмССР (сер. ТН), т. XI, № 5. 1987

ЭНЕРГЕТИКА

Г. А. АЙРАПЕТЯН, Р. Д. МУРАДЯН, А. Н. МУСАЕЛЯН, И. З. ЧЕРНОМЗОВ

ВЛИЯНИЕ РАЗБРОСА ПАРАМЕТРОВ ТУРБИНЫ К-300-240 И ЕЕ САР НА ДЛИТЕЛЬНОСТЬ УПРАВЛЯЮЩЕГО ИМПУЛЬСА

Выбор управляющих воздействий в электроэнергетических системах (ЭЭС) при аварийном управлении мощностью паровых турбин в настоящее время производится на основе расчета электромеханических переходных процессов (ЭМП) с привлечением математических методов оптимального управления [1]. При этом независимо от способов управления (по замкнутому или разомкнутому циклам) определение параметров управляющего импульса (УИ) во многом зависит от точности моделирования, параметров турбины и ее системы автоматического регулирования (САР). Значения этих параметров меняются в процессе эксплуатации, в то же время аварийное управление мощностью паровых турбин чувствительно к параметрам УИ [2].

Учитывая, что точная информация о параметрах объекта в любой момент времени отсутствует, противоаварийное управление турбинами должно быть адаптивным. Если иметь в виду естественный разброс между параметрами отдельных турбоагрегатов, а также применяемому при математическом моделировании унификацию параметров, становится очевидным целесообразность моделирования системы базовыми, унифицированными параметрами с последующим внесением поправок на длительность выбранного УИ.

В работе дана оценка влияния разброса параметров турбины и ее САР на управление путем определения поправки на длительность однократного УИ. При исследовании сложных диффузионных систем, в частности ЭЭС, где строго детерминированное рассмотрение процессов становится невозможным, применяются вероятностные методы. Математической основой данных исследований принята теория планирования эксперимента (ТПЭ) [3, 4].

ТПЭ подразумевает проведение серии экспериментов согласно матрице планирования. Каждый эксперимент заключается в поиске оптимального управления ЭМПП при вариации параметрами турбины и ее САР в заданных границах. В данном случае по специальной методике в рассматриваемом режиме и возмущении в ЭЭС определяется минимальная длительность УИ и соответствующая ей импульсная характеристика турбины, обеспечивающая устойчивый ЭМПП.

В основе этой методики лежит математическая модель турбогенератора с турбиной К-300-240 и ее САР [5], рассмотренного в ЭЭС простейшей структуры генератор-шины бесконечной мощности. В качестве варьируемых были приняты следующие параметры САР и турбины: статизм регулятора частоты вращения — x_1 ; постоянные времени промежуточного золотника и второго отсека ЧВД турбины — x_2, x_3 ; амплитуда УИ — x_4 ; время задержки подачи импульса — x_5 ; постоянные времени сервомотора ЧВД при сбросе и набросе мощности — x_6, x_7 ; постоянные времени сервомотора ЧСД при сбросе и набросе мощности — x_8, x_9 ; постоянные времени электрогидравлического преобразователя и ЧСД турбины — x_{10}, x_{11} .

Значения и границы разброса указанных параметров, а также матрица планирования приведены в табл. 1. Была реализована реплика типа 2^{11-7} . Полученные коэффициенты регрессии проверены на статистическую значимость [6]. Дисперсия ошибки была принята 3% от $b_0 = 0,1425$. Доверительный интервал для коэффициентов регрессии получился равным $\Delta b = 0,0026$. Так как коэффициенты регрессии при $x_2, x_3, x_6, x_8, x_{10}, x_{11}$ оказались незначимыми, то уравнение регрессии принимает следующий вид:

$$T_n = 0,1425 + 0,005x_1 + 0,015x_2 - 0,05125x_4 - 0,00375x_5 - 0,01375x_9.$$

Для проведения статистического анализа полученного уравнения регрессии с помощью критерия Фишера [6] проверена гипотеза об адекватности данного уравнения. Дисперсия неадекватности оказывается равной $4,2 \cdot 10^{-5}$, а дисперсия опыта — $5,07 \cdot 10^{-5}$. Тогда расчетный критерий Фишера равен 1,2, а при 5%-ом уровне значимости табличное значение критерия Фишера — 2,37 [6], т. е. гипотеза об адекватности линейного уравнения экспериментальным данным не отвергается.

В табл. 2 приведены влияния отдельных факторов и их суммарное влияние на длительность УИ при трех уровнях амплитуды последнего ($A = 2, 3, 4$ кв) по результатам анализа уравнения регрессии. Оценка влияния различных параметров на конечный результат, в данном слу-

Таблица 1

Планирование расчетов при изучении влияния разброса параметров турбины и ее САР на длительности УИ

Обозначение параметров	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	T_{II}, c
Основной уровень	0,052	0,115	0,184	3	0,06	0,525	2,15	0,185	0,75	0,04	0,19	
Верхний уровень	0,065	0,15	0,244	4	0,08	0,6	2,5	0,22	1	0,05	0,29	
Нижний уровень	0,04	0,08	0,125	2	0,04	0,45	1,8	0,15	0,5	0,03	0,11	
Расчет 1	—	—	—	—	+	+	+	+	+	+	—	0,16
2	—	—	—	—	—	—	—	+	+	+	+	0,17
3	—	+	—	—	—	+	+	—	—	+	+	0,22
4	—	+	—	—	+	—	—	—	—	+	—	0,23
5	—	—	+	—	+	—	+	—	+	—	+	0,16
6	+	—	+	—	—	+	—	—	+	—	—	0,17
7	—	+	+	—	—	—	+	+	—	—	—	0,2
8	+	+	+	—	+	+	—	+	—	—	—	0,24
9	—	—	—	+	+	+	—	+	—	—	—	0,09
10	+	—	—	+	—	—	+	+	—	—	+	0,09
11	—	+	—	+	+	+	—	—	+	—	+	0,09
12	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
13	—	+	—	+	+	—	+	—	+	—	—	0,09
14	—	—	+	+	—	+	+	—	—	+	+	0,09
15	—	+	+	—	—	—	—	+	+	+	—	0,09
16	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0,1
Коэффициенты регрессии ($\times 10^{-2}$)	14,35	0,5	1,5	0	-5,125	0,25	0,25	-0,375	0	-1,375	0,135	0,25

чае параметром САР и турбины на длительность УИ, имеет большое практическое значение для выбора адекватных объекту математических моделей.

Таблица 2

Влияние разброса параметров САР на длительность УИ

№ п/п	Параметры	Уровень амплитуды УИ, кВ		
		A=2	A=3	A=4
		Влияние на $T_{\text{н}}$, %		
1	Статизм регулятора скорости	2,6	3,5	5,5
2	Постоянная времени промежуточного золотника	7,7	10,5	16
3	Постоянная времени сервомотора ЧВД при набросе мощности	2	2,6	4
4	Постоянная времени сервомотора ЧСД при набросе мощности	7,1	9,7	15
Сумма		19,4	26,3	40,5

Учитывая трудности, связанные с получением достоверных исходных данных, этот вопрос приобретает особо актуальное значение, т. к. позволяет целенаправленно упрощать математические модели и соответственно объем исходной информации.

АрмНИИЭ

20. XI. 1985

Գ. Ա. ՀԱՅՐԱՊԵՏՅԱՆ, Ի. Զ. ՄՈՒՐԱԴՅԱՆ, Ա. Ն. ՄՈՒՍԱԵԼՅԱՆ, Ի. Զ. ԶԵՐԵՆՄՉՅԱՆ

К-300-240 ՏԻՊԻ ՏՈՒՐԲԻՆԻ ԵՎ ԿՐԱ ԱՎՏՈՄԱՏ ԿԱՐԳԱՎՈՐՄԱՆ
ՀԱՄԱԿԱՐԿԻ ՊԱՐԱՄԵՏՐԵՐԻ ՇԵՂՄԱՆ ԱՉԳԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ
ԿԱՌԱՎԱՐՄԱՆ ԻՄՊՈՒԼՍԻ ՏԵՎՈՂՈՒԹՅԱՆ ՎՐԱ

Ա. մ. փ. ո. փ. ո. մ.

Փորձարկումների պլանավորման տեխնիկայի հիման վրա հայտնաբերված է լեգրեսիայի հավասարում, որը թույլ է տալիս դատել տուրբինի ավտոմատ կարգավորման համակարգի առանձին օղակների պարամետրերի շեղման աղ-ղեցությունը կառավարման իմպուլսի տեղողության վրա: Ստացված տվյալ-ները օգտագործվում են հակավթարային ավտոմատիկայի աղղեցության լա-փի ճշտման նպատակով:

ЛИТЕРАТУРА

1. Портной М. Г., Рабинович Р. С. Управление энергосистемами для обеспечения устойчивости.— М.: Энергия, 1978.— 352 с.
2. Нойфед Б. И. Автоматическое аварийное управление мощностью энергосистем.— М.: Энергия, 1974.— 416 с.

3. Веников В. Я. Теория подобия и моделирования.— М.: Высшая школа, 1976—479 с.
4. Налимов В. В., Чернова Н. А. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов.— М.: Наука, 1965.— 340 с.
5. Мурганов Б. И., Черномзин Н. Э. Модель трехкратной электроэнергетической системы для исследования противоаварийной автоматики // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт.— 1970.— № 5.— С. 18—21.
6. Смирнов В. С., Дунин-Барковский И. В. Курс теории вероятностей и математической статистики для технических приложений.— М.: Наука, 1965.— 512 с.

Изв. АН АрмССР (сер. ТН), т. XL, № 5, 1987

ЭНЕРГЕТИКА

Т. С. ГИУНИ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНОГО МЕСТА УСТАНОВКИ НА ДАЛЬНЕЙ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ УПРАВЛЯЕМЫХ КОМПЕНСАТОРОВ МЕТОДАМИ ТЕОРИИ ПЛАНИРОВАНИЯ

Экономическая целесообразность дальних линий электропередачи сверхвысокого напряжения (ДЛЭП СВН) переменного тока прежде всего определяется повышением их пропускной способности. С другой стороны, ярко выраженные волновые свойства ДЛЭП СВН могут привести к возникновению существенных перенапряжений в установившихся и переходных режимах и, следовательно, к значительному удорожанию изоляции. Увеличения предела передаваемой мощности и ограничения уровня перенапряжений можно достичь проведением ряда схемных мероприятий, связанных с компенсацией волновых параметров ДЛЭП. Применение устройств продольной емкостной компенсации позволяет уменьшить волновое сопротивление и сократить электрическую длину электропередачи [1]. Исследования показывают, что применение емкостной компенсации позволяет значительно повысить предел передаваемой мощности. Эффективным средством компенсации зарядной мощности и ограничения уровня перенапряжений на ДЛЭП СВН признано применение различного сочетания групп шунтирующих реакторов [1, 2]. Важное значение в настоящее время приобретают дальнейшее совершенствование существующих и разработка новых типов управляемых компенсирующих устройств. Так, применение реверсивных статических компенсаторов [3] позволит плавно регулировать режим их работы в широком диапазоне реактивной мощности «потребитель—источник».

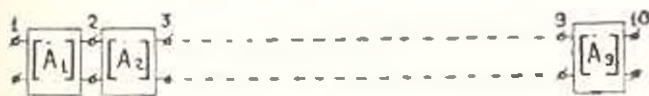
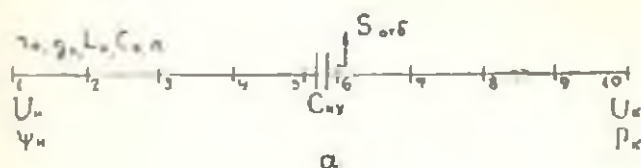
В условиях эксплуатации линий электропередачи имеет место отклонение параметра режима от рабочих и параметров устройств продольной и поперечной компенсации, как и удельных параметров самой линии от номинальных. В схемах с неуправляемыми и дискретно-регулируемыми устройствами компенсации картина распределения волны напряжения может резко изменяться, что приводит к дополнительным

затратам на средства по ограничению перенапряжений, защиты и автоматике. В схемах с управляемыми устройствами компенсации затрудняется правильный выбор диапазона регулирования и места установки компенсаторов.

Известные методы математического моделирования установившихся режимов ДЛЭП СВН не позволяют получить достаточно простых зависимостей, удобных для аналитической оценки распределения волны перенапряжения вдоль линии электропередачи при разбросе ее параметров в допустимых интервалах. Предлагается, используя методы теории планирования эксперимента, найти эти зависимости в виде регрессионных уравнений [4, 5]:

$$Y = b_0 + \sum b_i x_i + \sum b_{ij} x_i x_j + \sum b_{ii} x_i^2, \quad (1)$$

где b_0, b_i, b_{ij}, b_{ii} — коэффициенты регрессии; x_i, x_j — варьируемые факторы; Y — функция отклика.



б.

Рис. Схема замещения дальней линии электропередачи 1150 кВ. а — электрическая схема ДЛЭП с УПК: $r_0 = 0,00699 \text{ Ом}$; $L_0 = 0,6465 \times 10^{-3} \text{ Гн}$; $C_0 = 0,185 \times 10^{-7} \text{ Ф}$; $g_0 = 0$; $S_{nyb} = 0$, $\alpha = 2$ (число цепей); $I_{1,2} = I_{2,3} = I_{3,4} = \dots = I_{k,n} = 400 \text{ кА}$; б — схема замещения ДЛЭП в виде каскадно соединенных четырехполюсников.

Определение коэффициентов регрессии осуществляется путем проведения 2^к серий экспериментов при k варьируемых параметрах, значения которых выражаются в относительных единицах. В качестве математической модели ДЛЭП СВН принято каскадное соединение четырехполюсников, представляющих отдельные элементы электропередачи (рис.). Такой подход позволяет математически строго учитывать волновой характер распределения параметров электропередачи и проводить расчеты согласно «телеграфным уравнениям», принимающим для установившегося режима при синусоидальном напряжении вид [1]:

$$\begin{vmatrix} U_n \\ I_n \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} A & B \\ C & D \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} U_k \\ I_k \end{vmatrix}, \quad (2)$$

где U, I — комплексные значения напряжений и токов; A, B, C, D — коэффициенты четырехполюсника, учитывающие волновой характер вторичных параметров линии; n, k — индексы начала и конца.

Исследования проводились на примере ДЛЭП СВН 1150 кВ переменного тока протяженностью 3200 км при мощности нагрузки $P_k = 0,5P_{\text{натур}}$. В качестве независимых переменных, изменяющихся в заданных интервалах варьирования, рассматривались: x_1 — напряжение в начале линии электропередачи: $U_n = (1150 \pm 115) \text{ кВ}$; x_2 — напряжение в конце линии электропередачи: $U_k = (1150 \pm 60) \text{ кВ}$; x_3 — потребляемая нагрузкой мощность $P_k = (7000 \pm 350) \text{ МВт}$; x_4 — величина емкости устройства продольной емкостной компенсации $C_{\text{кп}} = (2,45 \pm 0,25) 10^{-5} \text{ Ф}$, определенная по условию 30% компенсации индуктивности ДЛЭП.

Согласно методам теории планирования осуществлена полуреплика типа 2^{4-1} при принятом генерирующем соотношении $x_i = x_1 x_2$ и соответствующей матрице планирования экспериментов. Серия математических экспериментов позволила определить коэффициенты регрессионного уравнения. После оценки значимости этих коэффициентов по величине доверительного интервала, при принятой погрешности расчета 1% и критерии Стьюдента 3,499, уравнения регрессии могут быть записаны в матричном виде:

$$\begin{matrix} U_2 \\ U_3 \\ U_4 \\ U_5 \\ U_6 \\ U_7 \\ U_8 \\ U_9 \end{matrix} = \begin{vmatrix} 927,6 & -30,4 & 51,7 & 0 & 24,5 & 0 & 0 & 0 \\ 719 & -90,1 & 37,7 & 14,2 & 37,1 & 0 & 0 & 0 \\ 737,8 & -23,6 & -16,2 & 12,6 & -16,4 & -16,6 & 0 & 0 \\ 940,9 & 85,5 & -44,7 & 13,7 & 56 & 0 & 0 & 0 \\ 1194,9 & -147,9 & 76,9 & 25,4 & -50,4 & 0 & 0 & 0 \\ 792,5 & -108,8 & 29,4 & 34,3 & -35,9 & -13,6 & 0 & 0 \\ 472,3 & 48,5 & 0 & 6,4 & 30 & -32,9 & 25,9 & -27 \\ 739,9 & 68,1 & 0 & 0 & 23,4 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} \times \begin{matrix} 1 \\ x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_1 x_2 \\ x_2 x_3 \\ x_2 x_4 \end{matrix} \quad (3)$$

Адекватность полученной модели экспериментальным данным проверялась с помощью критерия Фишера [6]. Полученное матричное выражение (3) иллюстрирует характер распределения волны напряжения вдоль линии электропередачи в зависимости от величины варьируемых параметров. Определение предельных значений напряжения в узлах ДЛЭП не представляет особых трудностей: результаты этой процедуры приведены в таблице.

Аналогичные результаты могут быть получены при применении известных методов оптимизации для предельных минимальных значений.

Анализ регрессионных уравнений позволяет выявить узлы установившихся управляемых компенсаторов, где $U \ll U_{\text{ном}}$ или $U \gg U_{\text{ном}}$. Параз-

метры управляемых компенсаторов, устанавливаемых в этих узлах, выбираются по предельным значениям напряжений в них, а именно для узлов 5 и 6: $Q_{min} = -2002,4 \text{ МВар}$ при $U_{min} = 740,9 \text{ кВ}$; $Q_{max} = 13838,05 \text{ МВар}$ при $U_{max} = 1495 \text{ кВ}$.

Таблица

Предельные значения напряжений в узлах

	№ узла	Предельные значения	Значения варьируемых параметров				
			$U_1, \text{ кВ}$	$U_2, \text{ кВ}$	$U_3, \text{ кВ}$	$P_4, \text{ МВт}$	$C_{4y}, \text{ ф.} \cdot 10^{-5}$
к о н с т а н т	2	1034,2	1090	1265	7000	2,7	
	3	892,7	1090	1265	7350	2,7	
	4	790,7	1090	1035	7350	2,45	
	5	1140	1210	1035	7350	2,45	
	6	1495	1090	1265	7350	2,45	
	7	1014,6	1090	1265	7350	2,45	
	8	632,5	1210	1035	6650	2,7	
	9	831,4	1210	1150	7000	2,7	

АрмПНЭ

10 X 1965

S. U. ՅՆՈՒՆ

ՀԵՌԱՎՈՐ ԷԼԵԿՏՐԱԿՈՐԻՄԱՆ ԳԵՐ ՎՐԱ ՂԵՆԱՎԱՐՎՈՂ ԱԶԳԱՋՐԾԻՉՆԵՐԻ
ԳԵՐԱԴԱՍՆԻԻ ՏԵՂԱԴՐՄԱՆ, ՈՐՈՇՈՒՄԸ ՊԼԱՆԱՎՈՐՄԱՆ
ՏՆՈՒԹՅԱՆ ՄԵԹՈԴԻՆԵՐՈՎ

Ա մ փ ո փ ո լ ո

Առաջարկվում է գերադրել՝ 1150 կՎ լարման 3200 կՎ Երկարությամբ էլեկտրահղորդման դժի վրա դարձափոխային ստատիկ ազդեցությունների դերադասելի տեղադրման մեթոդ: Այն հաշվի է առնում ինչպես դժի ծայրերի, այնպես էլ Երկայնական ունակային ազդեցությունների պարամետրերի փոփոխությունը:

ЛИТЕРАТУРА

1. Веников В. А. Дальние электропередачи. — М.: Госэнергоиздат, 1960 — 312 с.
2. Адонц Г. Т., Арутюнян С. Г. К расчету установившегося режима компенсации емкостной линии электропередачи // Электричество — 1972. — № 2. — С. 15—18.
3. Азарьев Д. И., Белоусов И. В. Дальняя электропередача с резервными статическими компенсаторами // Электрические станции — 1980. — № 10. — С. 45—49.
4. Веников В. А. Теория подобия и моделирование применительно к задачам электроэнергетики. — М.: Высшая школа, 1976. — 480 с.
5. Наликов В. В., Чернова Н. А. Статистические методы планирования экспериментальных исследований. — М.: Наука, 1976. — 340 с.
6. Смирнов И. В., Дукин-Барковский И. В. Курс теории вероятностей и математической статистики для технических приложений. — М.: Наука, 1965. — 511 с.

В. К. БРУТЯН

КВАЗИОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ НЕСИММЕТРИЧНЫМИ И ОСЕСИММЕТРИЧНЫМИ ИСКУССТВЕННЫМИ СПУТНИКАМИ ЗЕМЛИ

В работе исследуются квазиоптимальные системы управления при помощи маховиков с применением методов, разработанных в [1]. Вначале рассматривается несимметричный искусственный спутник Земли (ИСЗ), находящийся на орбите с высотой 10^6 м и эксцентриситетом 10^{-3} м. Предполагается, что Земля является сферой и X_1, X_2, X_3 образуют систему ортогональных базисных осей, относительно которых ИСЗ должен быть выровнен. Угловая скорость базисной системы координат равна $\omega' = [0, \omega_2, 0]$, где ω_2 — угловая скорость линии, соединяющей центр масс ИСЗ с центром Земли. Пусть $\omega_2 = 8 \cdot 10^{-4}$ рад/с. Ортогональная система осей Y_1, Y_2, Y_3 является системой главных осей ИСЗ, называемых соответственно осями крена, тангажа и рыскания. Компоненты вектора угловой скорости вращения ИСЗ относительно базисной системы координат соответственно главным осям ИСЗ и угловые ошибки между базисными осями и осями ИСЗ именуется скоростями и углами крена, тангажа и рыскания.

Предполагается, что максимально возможные значения этих углов составляют примерно $18 \cdot 10^{-2}$ рад, а угловых скоростей — 10^{-1} рад/с относительно каждой оси [2, 3]. Пусть задачей системы управления является уменьшение всех углов до величины $18 \cdot 10^{-3}$ рад за 3 мин. Моменты инерции ИСЗ относительно осей Y_1, Y_2 и Y_3 принимаются равными: $270 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$, $200 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ и $140 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$, а максимально допустимые моменты количества движения маховиков (МКДМ) предполагаются равными: $14 \text{ кг} \cdot \text{м}^2/\text{с}$, $10 \text{ кг} \cdot \text{м}^2/\text{с}$ и $7 \text{ кг} \cdot \text{м}^2/\text{с}$ [2, 3].

Для рассматриваемой задачи вводятся следующие обозначения: x_1, x_2, x_3 и x_4, x_5, x_6 — углы и угловые скорости крена, тангажа и рыскания соответственно; a_i — i -ый МКДМ относительно ИСЗ.

Элементы матриц A и D_i равны нулю, за исключением $a_{11} = a_{24} = a_{36} = 1$, $d_{21} = i_1$, $d_{42} = i_2$, $d_{63} = i_3$, где $i_i = I_i^{-1}$, I_i — момент инерции ИСЗ относительно i -ой главной оси. Вектор u_i и матрица $L_i(a)$ имеют вид:

$$u_i^* = [I_1 \omega_2 p_1 \quad I_2 \omega_2 \quad -a_1 \omega_2 I_3];$$

$$L_1(x) = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\lambda_1 x_3 & 0 & -\lambda_1 x_2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \lambda_2 x_3 & 0 & 0 & 0 & \lambda_2 x_1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \lambda_2 x_2 & 0 & -\lambda_2 x_1 & 0 & 0 \end{vmatrix}$$

Для квазиоптимального управления метод 1 позволяет получить:

$$u_{11} = -I_1(\Gamma_{11}x_1 + \Gamma_{21}x_2 + x_3\omega_1) + x_1x_4 - x_2x_5;$$

$$u_{12} = -I_2(\Gamma_{12}x_3 + \Gamma_{22}x_4 + \omega_2) - x_1x_3 - x_1x_4;$$

$$u_{13} = -I_3(\Gamma_{13}x_3 + \Gamma_{23}x_4 - x_1\omega_2) + x_2x_2 + x_1x_4.$$

Используя для квазиоптимального управления метод 2 и двухчленную аппроксимацию выражения (8), можно получить:

$$u_{11} = -I_1(\Gamma_{11}x_1 + \Gamma_{21}x_2 + x_3\omega_1) - b_{122}^+ x_3x_4 - b_{133}^+ x_2x_1 - \beta(b_{122}^+ x_1x_3 - b_{133}^+ x_2x_1);$$

$$u_{12} = -I_2(\Gamma_{12}x_3 + \Gamma_{22}x_4 + \omega_2) - b_{111}^+ x_3x_2 - b_{222}^+ x_1x_4 + \beta(b_{121}^+ x_2x_1 - b_{223}^+ x_1x_3);$$

$$u_{13} = -I_3(\Gamma_{13}x_3 + \Gamma_{23}x_4 - x_1\omega_2) - b_{111}^+ x_2x_2 - b_{222}^+ x_1x_4 + \beta(b_{111}^+ x_2x_2 - b_{222}^+ x_1x_4),$$

где $\beta = \Gamma_{12}\Gamma_{22}$; $b_{122}^+ = (I_1 - I_2)/2I_2$; $b_{133}^+ = (I_1 + I_2)/2I_3$.

Путем линеаризации исходных уравнений построен также алгоритм управления, согласно которому управления с помощью маховиков имеют вид:

$$u_{11} = -I_1(\Gamma_{11}x_1 + \Gamma_{21}x_2 + x_3\omega_1);$$

$$u_{12} = -I_2(\Gamma_{12}x_3 + \Gamma_{22}x_4 + \omega_2);$$

$$u_{13} = -I_3(\Gamma_{13}x_3 + \Gamma_{23}x_4 - x_1\omega_2).$$

Моделированием характеристик ИСЗ и системы управления на ЭВМ ЕС-1045 исследовались переходные процессы для нескольких наборов начальных условий. При этом для каждого набора начальных условий начальный коэффициент МКДМ принимался равным нулю или половине максимального значения. При моделировании использовались точные уравнения движения и учитывались векторы измеряемых возмущений.

Результаты моделирования для начальных условий: $x_{10} = x_{20} = x_{30} = 18 \cdot 10^{-2}$ рад, $x_{40} = x_{50} = x_{60} = 10^{-1}$ рад/с представлены в таблице. Анализ результатов моделирования показывает, что во всех случаях система управления, вычисленная на основе линеаризации, не в состоянии уменьшить угловую ошибку в течение заданного времени при коэффициенте, равном половине максимального начального значения

Метод синтеза	Коэффициент от макс. нач. МКДМ	Время пере- ходного процесса, мин	Максимальный момент, $\text{кг} \cdot \text{м} \cdot 10^{-6}$	Величина функции качества
метод 1	0,5	2,5	91	13
	0	2	62	10
метод 2	0,5	2,5	192	11
	0	2,8	62	12
линеаризованный метод	0,5	12	70	14
	0	3	62	12

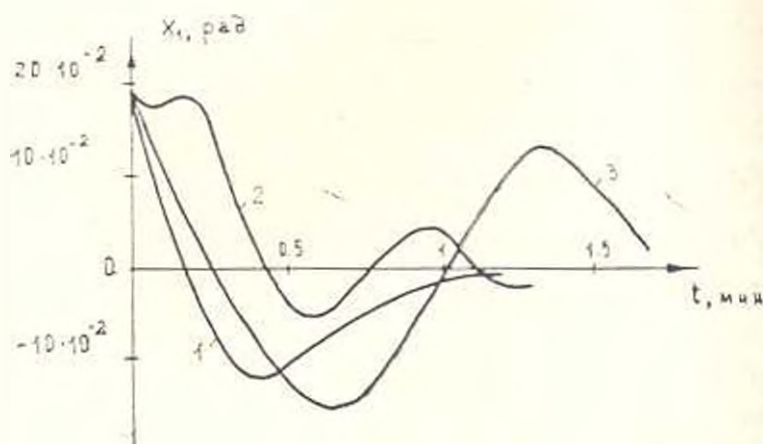


Рис. 1. Переходные процессы ИСЗ по углу крена

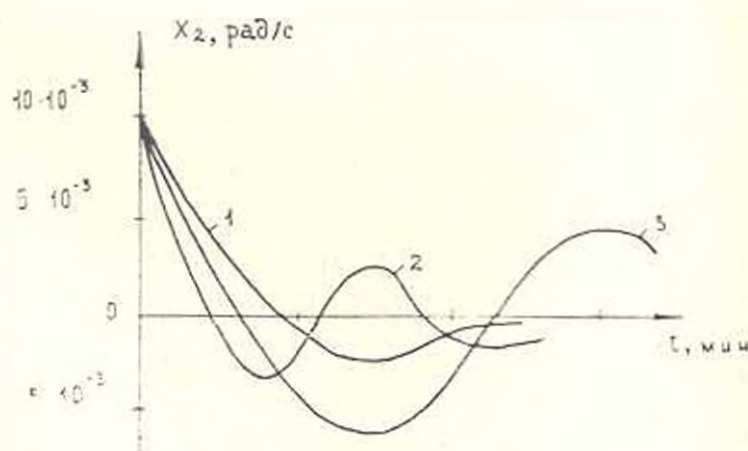


Рис. 2. Переходные процессы ИСЗ по угловой скорости крена.

МКДМ, тогда как квазиоптимальные системы при всех наборах начальных условий обеспечивают необходимый переходный процесс. В случае нулевого начального коэффициента МКДМ характеристики квазиоптимальных и линеаризованной систем близки друг к другу. Этот факт объясняется тем, что при малых начальных значениях МКДМ все три закона управления почти совпадают. Переходные процессы ИСЗ по углу и угловой скорости крена при коэффициенте, равном половине максимального начального значения МКДМ, соответственно показаны на рис. 1 и 2. Кривые 1 и 2 получены по методам 1 и 2, а кривые 3 — на основе линеаризации. По этим рисункам можно сделать следующие выводы. Переходный процесс системы, вычисленный на основе линеаризации, является совершенно неприемлемым. Квазиоптимальный метод 2 позволяет получить меньшее (по сравнению с методом 1) перерегулирование, однако при этом переходный процесс является колебательным. Для несимметричного ИСЗ проводилось также вычисление системы управления, при котором учитывались только линейные и постоянные члены. Оптимизация выполнялась относительно квадратичного функционала качества. В этом случае длительность переходного процесса была больше часа.

Далее рассматривалась система управления осесимметричным ИСЗ, в которой маховики используются для точного управления, а именно — уменьшения углов рыскания и тангажа с максимально возможного значения $18 \cdot 10^{-2} \text{ рад}$ до 10^{-3} рад за время 8 мин. При этом максимальные начальные значения угловых скоростей рыскания и тангажа равны 10^{-1} рад/с , а скорость крена приблизительно равна 10^{-4} рад/с . Анализ полученных результатов показывает, что они сходны с предыдущими результатами. В этом случае также при коэффициенте, равном 0,7 максимального начального значения МКДМ, система управления, вычисленная на основе линеаризации, оказывается не в состоянии уменьшить угловые ошибки до необходимых пределов в течение заданного времени, тогда как системы, полученные на основе квазиоптимальных методов, уменьшают угловые ошибки до величины 10^{-3} рад за время 8 мин и меньше.

Ер. и-т нар. хоз.

8.11.1986

Հ. Կ. ԲՐՈՒՅՅԱՆ

ԵՐԿՐԻ ԱՆՀԱՄԱԶԱՓ ԵՎ ԱՌԱՅՔԱՀԱՄԱԶԱՓ ԱՐՀԵՍՏԱԿԱՆ
ՄՈՒՐԱԿԱՆԵՐԻ ԿԵՂԾ ՀԱՄԱՐՅԱՆ ԿԱՌԱՎԱՐՈՒՄԸ

Ա ի փ ո փ ո ի

Դիտարկվում է Երկրի արհեստական մոլորակի տարածական դրոթյունի ու զծային համակարգի սինթեզման խնդիրը թափանիվների օգնությամբ: Կեղծ համարյա համակարգերի համար էՀՄ-ի վրա ուսումնասիրվում են Երկրի արհեստական մոլորակի բնութագրերի մոդելավորման միջոցով կառա-

վարման պրոցեսները: Ստացված արդյունքների վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ բոլոր դեպքերում կառավարման համակարգը, որը կառուցվում է զր-ծայնացման հիման վրա, ի վիճակի չէ փոքրացնելու տրված ժամանակամիջոցում անկյունային սխալները այն դեպքում, երբ կնդծ համարյա համակարգերը սկզբնական պայմանների ցանկացած հավաքածուի ժամանակ ապահովում են պահանջվող կառավարման պրոցեսները:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Брутян В. К. Управление пространственным положением ИСЗ при помощи маховиков // Изв. АрмССР. Сер. ГН — 1987 — Т. XL — № 1 — С. 19—23.
2. Брутян В. К. Основные аспекты теории непрерывных марковских управляемых систем и ее приложение — Ереван: Айтаст, 1981 — 298 с.
3. Инженерный справочник по космической технике / Под ред. А. В. Солодова. — М: Военное изд-во МО СССР, 1977. — 430 с.

Изв. АН АрмССР (сер. ГН). т. XL, № 3, 1987

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

С. О. МКРТЧЯН, В. В. ТАТЕВОСЯН, А. М. АВЕТИСЯН

ПОВЫШЕНИЕ ОДНОРОДНОСТИ РЕЗИСТИВНЫХ ПЛЕНОК

В технологии изготовления гибридных интегральных схем (ГИС) одной из важнейших технологических задач является повышение однородности напыленных пленок, которое достигается групповым характером технологических операций на общей подложке. Однако, даже в этом случае возможен разброс параметров удаленных друг от друга участков микросхем из-за неоднородности плотности потоков частиц, конденсирующихся на подложке. Поскольку напыление является основной технологической операцией, то разброс параметров, полученный в процессе напыления, является источником разброса параметров при всех последующих операциях. Очевидно, что разработка метода повышения однородности конденсированных пленок является одной из основных задач современной микроэлектроники.

В настоящее время в цифровой, аналоговой и вычислительной технике широкое распространение получили резистивные микросхемы, представляющие собой набор резисторов. Основное требование, предъявляемое к резистивным микросхемам — согласованность резисторов по величине сопротивления. В случае прецизионных резистивных микросхем это требование значительно усложняется согласованностью ТКС резисторов, которая должна превышать $10^{-1}/^{\circ}\text{C}$ [1].

С целью решения этой задачи объектом исследования являлись пленки, полученные по тонкопленочной танталовой технологии. Из танталовых соединений наибольшее распространение получили соединения

с алюминием [2, 3]. Пленки из танталовых соединений были получены методом катодного распыления из составных мишеней, которые представляют собой танталовый лист марки ТВ 4 с размерами $150 \times 150 \times 3$ мм, с закрепленными на нем алюминиевыми таблетками марки А 99,9 диаметром 10 мм. В качестве подложек использовались плоские пластины из ситалла марки СТ 50-1.

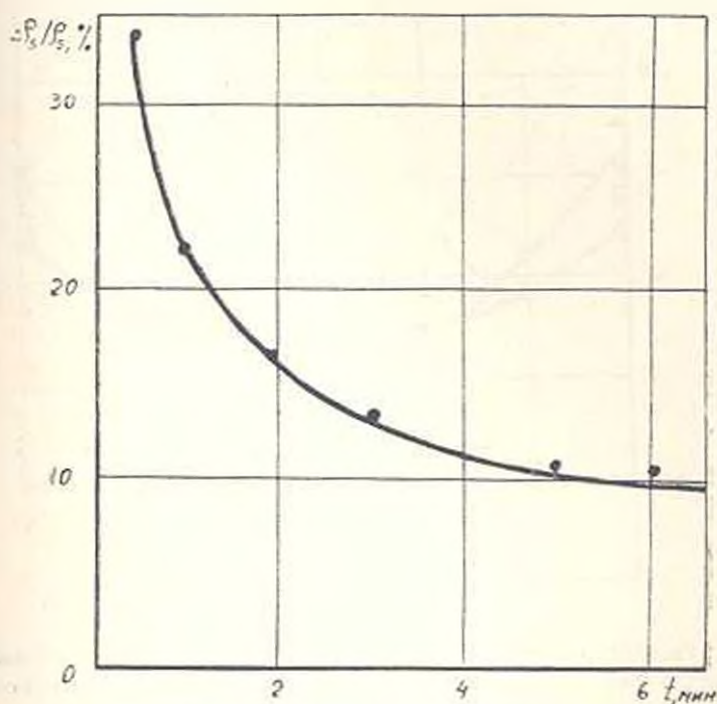


Рис. 1. Зависимость $\Delta\rho_s/\rho_s$ пленки $Ta-Al$ от времени распыления.

Параметрами, определяющими степень разброса, были выбраны удельное поверхностное сопротивление и толщина пленки. На рис. 1 показано относительное изменение удельного поверхностного сопротивления $\Delta\rho_s/\rho_s = (\rho_{s\max} - \rho_{s\min})/\rho_{ср}$ пленки $Ta-Al$ на некотором участке подложки в зависимости от времени распыления. Как видно, с ростом толщины пленки разброс параметра уменьшается, составляя менее 10%. На рис. 2 показано распределение разброса параметров на подложке. Здесь значение ρ_s растет от центра подложки к их периферии. Такой же эффект наблюдается и в случае использования TaN . Распознавая закономерность распределения разброса параметров по всей поверхности подложки, можно представить разброс параметров по всем точкам. Каждая точка подложки имеет себе симметричную по значению удельного поверхностного сопротивления точку. Для снятия этого распределения (рис. 2) из четырех разных партий были выбраны 40 подложек и на каждой из них было определено ρ_s в 40 идентичных для всех подложек точках (8 горизонтальных и 5 вертикальных).

Для сравнения и оценки полученного распределения напыление производилось параллельно, в идентичных условиях как для $Ta-Al$, так и TaN . Оценки распределения разброса параметров пленок $Ta-Al$ и TaN , можно заметить, что у пленки TaN кривая разброса более пологая.

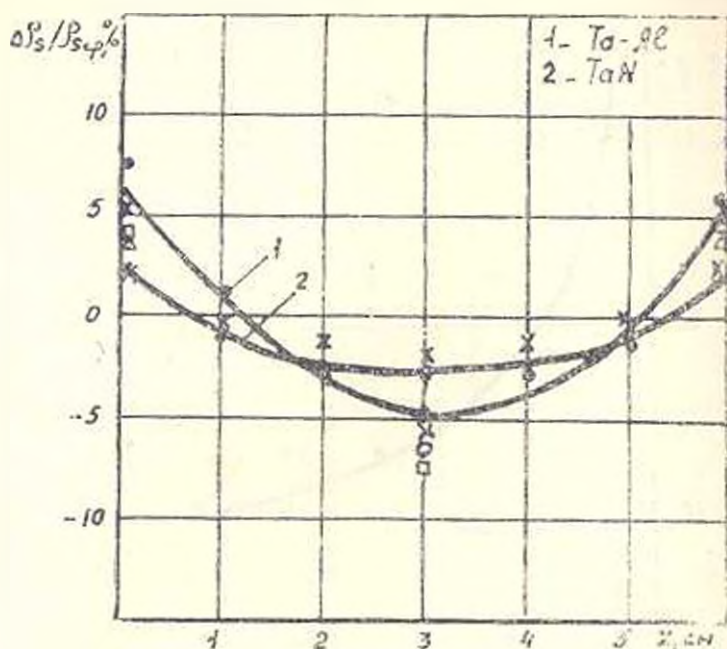


Рис. 2. Распределение разброса параметров на сигналовых подложках для пленок TaN и $Ta-Al$. $\bullet, \times, \circ$ — средние значения величин различных партий.

При уменьшении размеров таблеток алюминия с их количественным уплотнением на поверхности танталовых мишеней можно добиться распределения разброса параметра, близкого к аналогичному для TaN . Большого усреднения распределения разброса при равномерном расположении алюминиевых таблеток на поверхности танталовых мишеней не удастся.

Для более точного определения характера изменения разброса параметров в точках, равноудаленных от центра подложки, был получен график зависимости $\Delta\rho$ от радиуса исходящего центра подложки r (рис. 3 и 4). Исходя из этого графика, картина распределения разброса параметров на поверхности подложки будет иметь эллипсообразную форму (рис. 4), причем, с уменьшением размеров и уплотнением расположения алюминиевых таблеток на поверхности танталовой мишени эллипс растягивается.

Для повышения однородности распределения разброса параметров целесообразно алюминиевые таблетки расположить эллипсом на поверхности танталовой мишени, как показано на рис. 4. Последнее

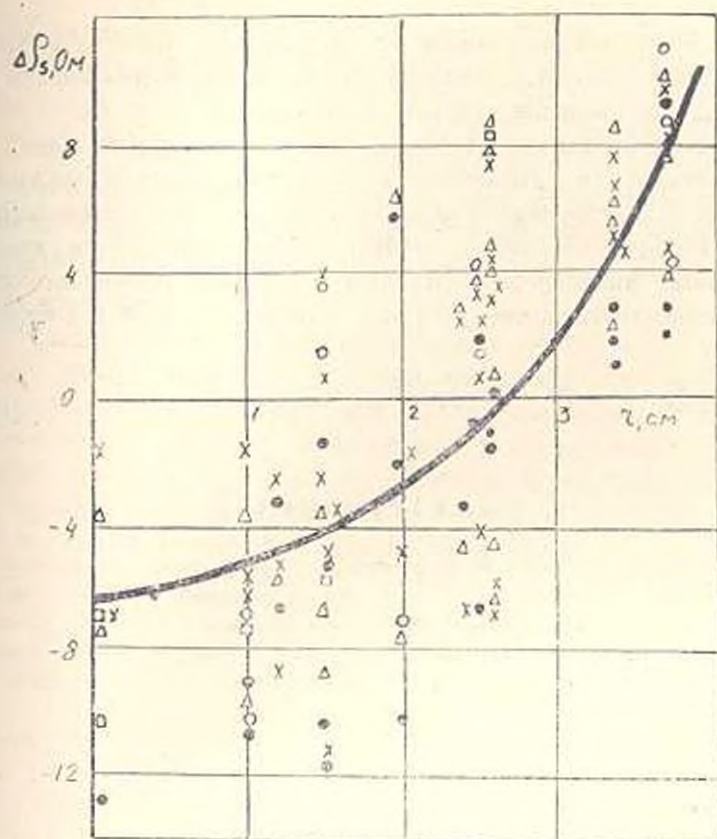


Рис. 3. Зависимость ΔP_s от радиуса r , исходящего от центра подложки для пленок Ta — Al.

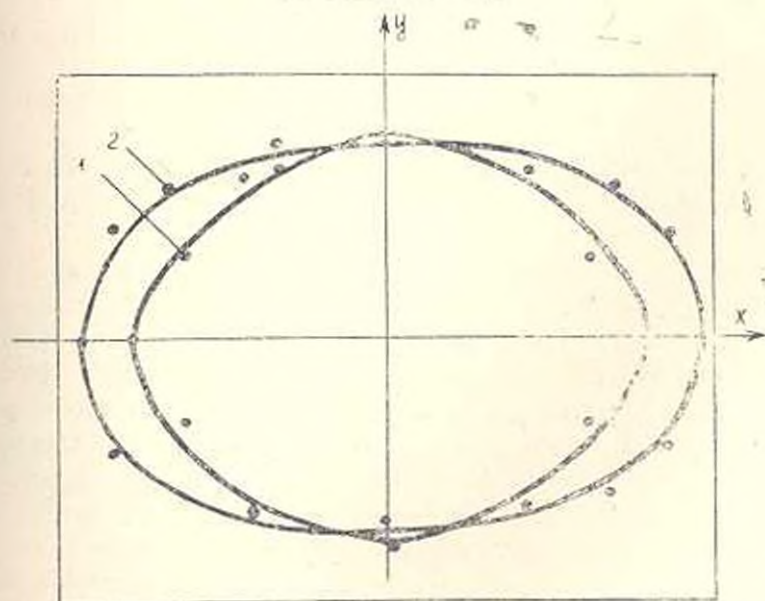


Рис. 4. Вид распределения удельного сопротивления на поверхности подложек для пленок Ta — Al (1) и TaNi (2).

позволяет получать достаточно однородные по толщине и удельному поверхностному сопротивлению $Ta-Al$ пленки с минимальным разбросом параметров (меньше, чем у TaN пленок).

При использовании ситалловых подложек радиусы эллипсообразного расположения таблеток должны подбираться такими, чтобы соответствовали сторонам прямоугольной подложки. Выполнение этих условий обеспечивает максимальную однородность пленок, полученных из составных мишеней $Ta-Al$. Этот способ повышения однородности пленок может быть применен при использовании любой составной мишени.

ЕрПИ им. К. Маркса

17. IX. 1986

ЛИТЕРАТУРА

1. Рахманин Н. М., Реуданик В. В. Резисторы для прецизионных микросхем цифро-аналоговых преобразователей на основе пленок системы тантал-алюминий // *Электронная техника*. — 1979. — Сер. 5, вып. 6 (37). — С. 22—29.
2. Апетисян А. М. Сравнение свойств резистивных пленок сплавов на основе тантала // *Электронная техника*, сер. Радиодетали и радиокомпоненты. — 1983. — Вып. 1 (50). — С. 13—15.
3. Бинкинская С. К., Буганова Л. Ф., Литчинский Н. С. Использование анодно-окисных пленок тантал-алюминия для изготовления прецизионных резисторов ГИС // *Техника средств связи*. — 1981. — Вып. 5. — С. 62—66.

Изв. АН АрмССР (сер. ТН), т. XI, № 5, 1987

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

Н. С. ХОНДКАРЯН

АНАЛИЗ МНОГОУРОВНЕВОЙ ОБУЧАЮЩЕЙСЯ СИСТЕМЫ МЕТОДАМИ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Одним из наиболее важных методических приемов при анализе принципов управления и переработки информации в различных отделах мозга показали себя методы математического моделирования, опирающиеся на физиологические представления о принципах функционирования реальных нервных клеток [1, 2]. Недостатки такого рода работ связаны с упрощенным математическим аппаратом, используемым для описания как отдельного нейронного элемента, так и связей между ними в имитируемой сети. В настоящей работе дано математическое описание самоорганизующейся обучающейся нейронной сети, в которой модель нейронного элемента и связи между элементами опираются на существующие на сегодняшний день физиологические и модельные представления.

Модель состоит из n уровней, расположенных один над другим (рис. 1). Каждый уровень содержит $U_i(n)$ возбуждающих и $V_i(n)$ тормозных нейронов. Здесь $n = (n_x, n_y)$ определяет расположение клетки. Каждая возбуждающая клетка $U_i(n)$ l -го слоя принимает фиксированное количество окончаний нервных волокон (синапсов) от возбуждающих $U_{l-1}(n+m)$ (из проекционной зоны) и тормозного $V_{l-1}(n)$ нейронов предыдущего слоя $l-1$. Под действием ритмического ряда импульсы веса синапсов изменяются, что в модели соответствует изменению количества медиатора, высвобождаемого в синаптическую щель [3]. При таком подходе характеристикой модифицируемого синапса является величина выброса медиатора V_i в момент поступления i -го импульса по данному входу. Ранее было показано, что величина выброса медиатора определяется произведением двух величин — мобилизации медиатора $e(t)$ и величины изменения его количества в пресинаптическом окончании $W(t)$ [3, 4].

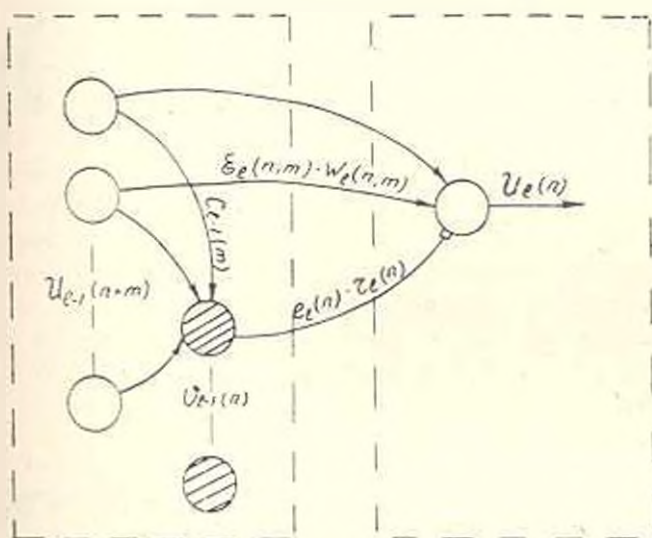


Рис. 1. Многоуровневая обучающаяся нейронная сеть

Обозначим параметры пресинаптического окончания клетки $U_i(n)$ по каждому из возбуждающих входов через $z_l(n, m)$ и $W_l(n, m)$, а параметры пресинаптического окончания той же клетки по тормозному входу от клетки $V_{l-1}(n)$ — $e_l(n)$ и $r_l(n)$. Тогда выход нейрона $U_l(n)$ запишем в виде

$$U_l(n) = \varphi \left[\frac{1 + \sum_m \xi_l S_l U_{l-1}(n+m) z_l(n, m) W_l(n, m)}{1 + V_{l-1}(n) e_l(n) r_l(n)} - 1 \right], \quad (1)$$

где S_l — проекционная зона клетки.

При этом:

$$\varphi[x] = \begin{cases} x, & \text{если } x \geq 0; \\ 0, & \text{если } x < 0. \end{cases} \quad (2)$$

Приведенная форма определения суммарного постсинаптического потенциала (отношение величины суммарного возбуждающего потенциала l -го слоя к величине тормозного влияния того же слоя) объясняется необходимостью ограничения скорости увеличения процесса обучения.

Если знаменатель $V_{l-1}(n) e_l(n) \ll 1$, то $U_l(n)$ приобретает вид, используемый для описания обычного аналогово-порогового элемента [3].

Тормозная клетка $V_{l-1}(n)$ принимает синаптические соединения $C_{l-1}(v)$ от возбуждающих клеток $U_{l-1}(n+m)$ и на его выходе потенциал равен

$$V_{l-1}(n) = \sum_v \xi S_l C_{l-1}(v) U_{l-1}(n+m), \quad (3)$$

где

$$\sum_v \xi S_l C_{l-1}(v) = 1. \quad (4)$$

Для того, чтобы модель нейронной системы была способна к самообучению, необходимо задать правила модификации (изменения весов) афферентных синаптических соединений от нейронов проекционной зоны и тормозного нейрона к нейрону вышестоящего слоя. В настоящей модели синаптическая модификация основана на видоизмененной гипотезе Бриндли [5, 6]. Параметры синаптического соединения от пресинаптического нейрона, входящего в проекционную зону $U_{l-1}(n+m)$ к постсинаптическому нейрону $U_l(n)$, изменяются только при условии срабатывания обоих нейронов, причем, потенциал постсинаптического нейрона должен быть максимальным в некоторой зоне распределения, заданной для каждого афферентного нейрона.

Введем функцию:

$$\delta_l(n) = \begin{cases} 1, & \text{если } U_l(n) \geq U_l(n+m) \text{ для каждой } v \in \Omega_l; \\ 0, & \text{в противном случае,} \end{cases} \quad (5)$$

где Ω определяет зону распределения клетки.

Если функция $\delta_l(n)$ принимает значение, равное единице, то скорость изменения синаптической модификации будет определяться, исходя из следующих условий. Обозначим:

$$e_l(n, m) W_l(n, m) = B_l(n, m); \quad e_l(n) r_l(n) = D_l(n).$$

Если $U_l(n) = 0$, то

$$\Delta B_l(n, m) = q_0 C_{l-1}(m) U_{l-1}(n+m) \delta_l(n), \quad (6)$$

$$\Delta D_l(n) = q_0 V_{l-1}(n) \delta_l(n), \quad (7)$$

а если $U_l(n) > 0$, то

$$\Delta B_i(n, m) = q_i C_{i-1}(m) U_{i-1}(n+m) \delta_i(n), \quad (8)$$

$$\Delta D_i(n) = \frac{\sum_m \xi S_i \Delta B_i(n, m) U_{i-1}(n+m) \delta_i(n)}{2V_{i-1}(n)} =$$

$$= \frac{q_i \sum_m \xi S_i C_{i-1}(m) U_{i-1}^2(n+m)}{2V_{i-1}(n)}, \quad q_1 > q_0 > 0. \quad (9)$$

На основе приведенных уравнений разработан алгоритм машинных расчетов, позволяющий проводить численный анализ процессов переработки информации в нейронных структурах мозга. На рис. 2 и 3 показана эффективность воспроизведения полного образа в зависимости от местоположения слоя, в котором выбрана клетка с максимальной активностью.

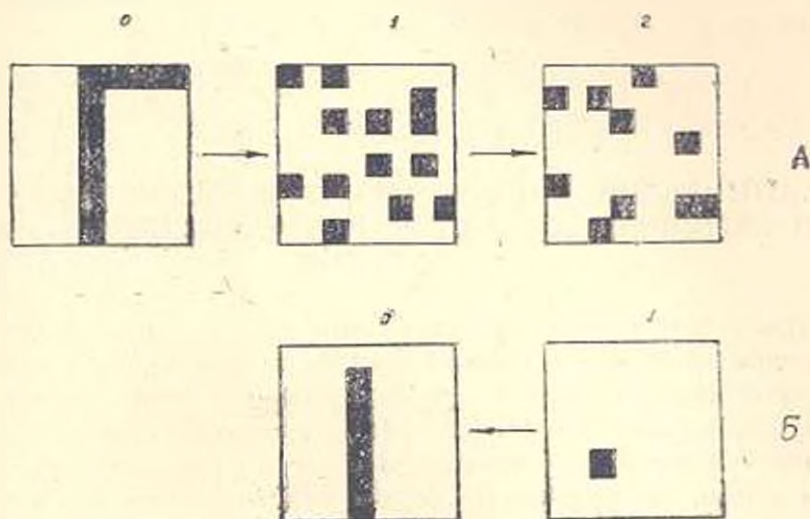


Рис. 2. А — ответы сети на паттерн стимулов, соответствующих букве «Г». Стимулы предъявлены нулевому уровню 40-кратным повторением. После сорока предъявлений выделяются клетки, имеющие максимальную активность в зонах распределения. Б — обратное воспроизведение от одиночной клетки второго слоя. Исходные данные: проекционная зона и зона распределения — квадраты 3×3 и 2×2 соответственно. Коэффициенты обучения $q_0 = 2$, $q_1 = 8$.



Рис. 3. Обратное воспроизведение от одиночной клетки третьего слоя.

1. Элементы теории биологических анализаторов / Под ред. Н. В. Позина. — М.: Наука, 1978. — 360 с.
2. Perkel D. E. A computer program for simulating a network of interacting neurons. Comp. and Biomed. Res. — 1976, — v. 9, — № 1, — p. 31–43.
3. Мелконян Д. С., Мкртчян О. А., Хондкрян Н. С. Математическое описание поведения синапса в условиях ритмической стимуляции // ДАН АрмССР. — 1977. — Т. 65. — № 1. — С. 59–64.
4. Хондкрян Н. С., Мелконян Д. С. Анализ механизмов синаптической пластичности в нейронах красного ядра методами имитационного моделирования // Биол. журн. Армении. — 1985. — № 5. — С. 387–392.
5. Marr D. A theory of cerebellar cortex. J. Physiol. — 1969. — V. 202. — P. 437.
- Fukushima E. Cognitron: A self-organizing multilayered neural network. Biol. Cybernetics. — 1975. — V. 20 — P. 121–136.

Изв. АН АрмССР (сер. ТН), г. XL, № 5, 1987

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

А. С. ОВАКИМЯН

ОПТИМИЗАЦИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ С ДПМС ПРИ ЧАСТОТНО-ТОКОВОМ УПРАВЛЕНИИ

Двигатели с переменным магнитным сопротивлением относятся к синхронным машинам с наиболее простой и технологичной конструкцией, обладающей пассивным зубчатым ротором и сосредоточенной обмоткой управления на статоре. Частотно-токовое управление подразумевает формирование кривых токов фаз в функции углового положения ротора, что равнозначно формированию электромагнитного момента двигателя. Если не учитывать коэффициенты взаимоиндуктивности фаз, которые на порядок меньше, чем собственные индуктивности [1], электромагнитный момент, развиваемый ДПМС, будет равняться:

$$M = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^m i_i^2 L'_i(\theta), \quad (1)$$

где i_i — ток, протекающий в i -той фазе; m — число фаз; $L'_i(\theta)$ — производная собственной индуктивности фазы в функции углового положения ротора θ (здесь и в дальнейшем производные обозначены со штрихами).

Как показано в [2], для обеспечения требуемого момента при минимуме потерь в обмотках ток должен протекать только в той фазе, которая при данном θ обладает наибольшей $L'_i(\theta)$ по сравнению с другими. Исходя из этого, можно выделить оптимальные угловые диапазоны коммутаций фаз: для симметричной m -фазной машины угловые диапазоны равны $2\pi/m$ эл. градусов. В каждом диапазоне обтекает

током только одна фаза, обладающая наибольшей $L_-(0)$. Величина тока в данной фазе определяется из выражения (1):

$$i_1 = \frac{2M}{L_-(\theta)} \quad (2)$$

Рассмотрим три основные задачи оптимального управления:

1. Задача о минимуме потерь — отработать заданное перемещение, за заданное время при минимуме потерь в обмотках.

2. Задача о максимальном быстродействии — отработать заданное перемещение при заданных потерях в обмотках за минимум времени.

3. Задача о максимальной производительности — за заданное время и заданные потери в обмотках отработать максимальное перемещение.

Решение данных задач требует определения оптимальных траекторий $\dot{\theta}$ и ω в функции θ . Основные параметры оптимального управления выразим через θ :

а) потери в обмотках —

$$Q = \int_0^1 \frac{FR}{\omega} d\theta \quad (3)$$

б) время перемещения —

$$T = \int_0^1 \frac{1}{\omega} d\theta \quad (4)$$

в) угол перемещения —

$$\varphi = \int_0^1 d\theta \quad (5)$$

г) уравнение движения —

$$M - M_c = I\omega \frac{d\omega}{d\theta} \quad (6)$$

где R — активное сопротивление фазы; ω — угловая частота вращения ротора; M_c и I — моменты сопротивления и инерции, приведенные к валу двигателя.

При решении задач о минимуме потерь и максимальном быстродействии считается, что заданный путь не выходит за пределы оптимального диапазона коммутаций фаз, что не сужает диапазон решения задач, т. к. любой участок пути можно подразделить на ряд участков, приняв конечные значения скорости и тока предыдущего участка за начальные последующего. Аналогично, при решении задачи о максимальной производительности принято, что заданное время и потери таковы, что перемещение ротора не может быть больше оптимального диапазо-

на коммутаций фаз ДПМС. Тогда на основании уравнений (2) и (6) имеем:

$$i^2 = \frac{2}{L'} (\omega I \omega' + M_c). \quad (7)$$

Вышеприведенные задачи решим методом классического вариационного исчисления и уравнение Эйлера запишем в виде:

$$\frac{\partial F}{\partial \omega} = \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\frac{\partial F}{\partial \omega'} \right). \quad (8)$$

Величина F для трех вышеприведенных задач равна:

$$\begin{aligned} F &= \frac{2R}{\omega L'} (\omega I \omega' + M_c) + \lambda_0 + \lambda_1 \frac{1}{\omega}; \\ F &= \frac{1}{\omega} + \lambda_0 + \lambda_2 \frac{2R}{\omega L'} (\omega I \omega' + M_c); \\ F &= 1 + \lambda_1 \frac{1}{\omega} + \lambda_2 \frac{2R}{\omega L'} (\omega I \omega' + M_c), \end{aligned} \quad (9)$$

где $\lambda_0, \lambda_1, \lambda_2$ — постоянные, учитывающие соответственно ограничения на пройденный путь, время и потери в обмотках.

Рассмотрим три частных случая нагрузки: $M_c = \text{const}$; $M_c = M_0 + k\omega$; $M_c = M_0 + k\omega^2$. Подставив (9) в (8), определим оптимальные траектории ω , а из 7 — оптимальные токи (таблица).

Таблица

Оптимальные траектории ω и i

Нагрузка	ω	i
$M_c = \text{const}$	$\sqrt{\left(\frac{M_c}{I} + \frac{\lambda L'}{2RI} \frac{L'}{L''}\right)}$	$\sqrt{M_c \left(\frac{3}{L'} - \frac{L''}{L'^2}\right) + \frac{\lambda}{R} \left(1 - \frac{L' L''}{2L'^2}\right)}$
$M_c = M_0 + k\omega$	$\sqrt{\left(M_0 + \frac{\lambda L'}{2R} \frac{L'}{L''}\right)}$	$\sqrt{M_0 \left(\frac{3}{L'} - \frac{L''}{L'^2}\right) + \frac{\lambda}{R} \left(1 - \frac{L' L''}{2L'^2}\right) + 2k} \sqrt{\left(\frac{M_0}{I} + \frac{\lambda L'}{2RI} \frac{L'}{L''}\right)}$
$M_c = M_0 + k\omega^2$	$\sqrt{\frac{(2M_0 R + \lambda L') L'}{2R(kL' + L'')}} \frac{L'}{L''}$	$\sqrt{M_0 \left[\frac{3}{L'} + \frac{kL' - L''}{(kL' + L'')^2}\right] + \frac{\lambda}{R} \left[1 - \frac{L' L''}{2(kL' + L'')^2}\right]}$

Здесь L'' и L''' — вторая и третья производные собственной индуктивности фазы в функции углового положения ротора, а λ учитывает ограничения: для минимума потерь $\lambda = \lambda_2$; максимального быстродействия $\lambda = \frac{1}{\lambda_2}$; максимальной производительности $\lambda = \frac{\lambda_2}{\lambda_2}$.

Коэффициенты λ_1 и λ_2 можно определить, подставив выражения ω и i

из таблицы в уравнения (3) и (4). Отсутствие коэффициента λ_0 в выражениях ω и i объясняется тем, что независимым фактором является пройденный путь, который уже учитывается в $L(\theta)$.

Аналогично можно определить оптимальные траектории ω и i при любой другой заданной нагрузке. Как видно из таблицы, выражения ω и i для случая $M_c = \text{const}$ можно представить, как частный случай для $M_c = M_0 + k\omega$ или $M_c = M_0 + k\omega^2$, если k приравнять к нулю. Выражения, приведенные в таблице, представляют наиболее общий случай, из них можно получить решения других оптимизационных задач без учета ограничений на время или потери, если λ приравнять нулю. В частности, оптимизационная задача определения кривых ω и i , обеспечивающих минимум потерь в обмотках при заданном перемещении, без ограничения на время для случая $M_c = \text{const}$ имеет следующее решение:

$$\omega = \sqrt{\frac{M_c L'}{I L^2}}; \quad i = \sqrt{M_c \left(\frac{3}{L'} - \frac{L''}{L'^2} \right)}, \quad (10)$$

которое получено из верхней строки таблицы подстановкой $\lambda = 0$.

Таким образом, применение методов классического вариационного исчисления позволяет аналитически описать оптимальные траектории ω и i в функции θ для обеспечения требуемой динамики электропривода с ДПМС.

ЕрПИ им. К. Маркса

27. III. 1985

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Расчетное и экспериментальное определение статических угловых характеристик ДПМС / Э. М. Агабабян, С. А. Казарян, А. С. Овакимян и др. // Эл. транспорт: Сб. науч. тр. ЕрПИ. — 1982. — С. 4—10.
- 2 Овакимян А. С., Авакян М. В. Определение оптимальных законов частотно-токового управления для синхронных двигателей специальных конструкций // Эл. машины. Вопросы теории и расчета: Сб. науч. тр. ЕрПИ — 1985. — С. 72—77.

Изв. АН АрмССР (сер. ТII), т. XL, № 5, 1987

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

Э. С. АБОВЯН, В. Е. АДАМЯН, А. Г. КАРАГЕЗЯН, А. С. ЦОГОСЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ОСНОВЕ ДИСИЛИЦИДА МОЛИБДЕНА

С целью улучшения эксплуатационных свойств нагревательных элементов на основе дисилицида молибдена проведены работы по изучению влияния различных пластифицирующих материалов [1], а также по выяснению роли основных сырьевых компонентов при синтезе $MoSi_2$ [2].

В настоящей работе проведено комплексное исследование микро-структуры этих нагревательных элементов, полученных методом самовоспламеняющегося высокотемпературного синтеза (СВС) [3]. Целью работы было определение параметров, характеризующих микро-структуру материала высокотемпературных нагревателей СМ-1 отечественного производства и выявление факторов, отрицательно влияющих на некоторые их эксплуатационные характеристики.

Для металлографических и рентгенографических исследований готовились шлифы в виде таблеток, вырезанных поперек нагревательных элементов. Из сравнительного анализа различных металлографических снимков (рис. 1) и визуального наблюдения микро-структуры всей поверхности шлифов следует, что основная поликристаллическая масса ($MoSi_2$) нагревателя, поры и включения различного происхожде-



Рис. 1. Микроснимок от поверхности нагревательного элемента СМ-1 ($\times 135$).

ния в образце СМ-1 распределены неравномерно по поверхности среза. Максимальные размеры этих дефектных областей достигают 100 мкм и более, а средний размер зерен дефектных областей (60—70 мкм) почти на порядок превосходит размеры зерен однородных областей основной массы дисилицида молибдена. Поверхностная плотность таких включений достаточно высока (порядка 6—7 %), так что кристаллические зерна дисилицида молибдена в образце СМ-1 не образуют единого матричного каркаса. Эти результаты свидетельствуют о низкой степени гомогенности материала нагревателя СМ-1.

Характер распределения интенсивности на различных дифракционных кольцах свидетельствует о том, что в использованном для СВС реакции порошке кристаллиты молибдена имеют примерно одинаковые размеры (~ 20 мкм). Дебаеграмма порошка кремния характерна тем, что на фоне сплошных дифракционных колец четко выделяются отдельные яркие пятна, имеющие макроскопические размеры. Появление подобных рефлексов на сплошных дебаевских кольцах свидетельствует о присутствии как очень мелких (порядка 1 мкм), так и достаточно крупных кристаллов (~ 100 мкм) в исходной массе порошка кремния [4]. Эти данные показывают, что наличие дисперсности в размерах кристаллитов исходных компонент, вступающих в реакцию СВС, может стать основной причиной, приводящей к негомогенному синтезу дисилицида молибдена, который связан с различием реакционной поверхности кристаллитов исходных веществ. Таким образом, непрореагировавшие компоненты в синтезируемом продукте СВС могут при-

вести к снижению окалиностойкости изделия и ухудшению эксплуатационных свойств нагревательного элемента.

Изучение изображений микроструктуры отработанных образцов СМ-1 показывает, что в процессе работы нагревателя происходит объединение соседних дефектных участков в большие области, что приводит к резкому нарушению локальной однородности микроструктуры. При прерывистом режиме работы этому способствует также «вытеснение» дефектных участков со стороны основной массы нагревателя. На рис. 2 видны «очищенные» от микропор и включений большие области основной массы и четко локализованные островки дефектной структуры на поверхности среза. На различных фрагментах снимка хорошо просматриваются разные стадии роста и эволюции микротрещин, в результате чего происходит слияние соседних дефектных участков. Это приводит к возрастанию размеров структурных неоднородностей и при прерывистом режиме работы нагревателя может стать причиной разрушения элемента за счет появления сильной анизотропии термических искажений.



Рис. 2. Микроснимок от поверхности отработанного нагревательного элемента ($\times 850$).



Рис. 3. Рентгенограмма отработанного образца, полученная методом обратной съемки (Cu-излучение).

Рентгенограммы, полученные методом обратной съемки от отработанных образцов СМ-1 (рис. 3), подтверждают выше сделанные выводы. В результате периодического нагрева и охлаждения нагревателя СМ-1 происходит интенсивный процесс собирательной рекристаллизации — укрупнение кристаллов диоксида молибдена за счет присоединения соседних зерен. Действительно, прерывистый и пятнистый характер распределения интенсивности дифракционных колец указывает на то, что в отработанном образце максимальные размеры кристаллитов достигают порядка 100 мкм и более.

Ухудшение эксплуатационных характеристик нагревательных элементов СМ-1 при работе в циклических режимах, по-видимому, связано не только с неомогенностью продукта реакции СВС вследствие полидисперсности зерен исходных компонент, но и с возможным несовершенством последующего процесса спекания. Поэтому для стабилизации микроструктурных параметров нагревательного элемента СМ-1 необходимо также изучение и выявление оптимального режима процесса спекания этих изделий.

На основе полученных экспериментальных данных показано, что отсутствие монодисперсности размеров кристаллов исходных компонент реакции СВС, приводящее к неомогенности материала нагревателя, а также увеличение размеров зерен диоксида молибдена за счет процесса собирательной рекристаллизации при прерывистом режиме работы являются факторами, приводящими к относительно быстрому разрушению нагревательного элемента СМ-1.

ЕГУ

25 VII 1984

ЛИТЕРАТУРА

1. Влияние жаростойких добавок на эксплуатационные свойства электронагревателей / Л. А. Даниелян, М. Б. Гутман, А. С. Погосян и др. // Промышленность Армян. — 1983 — № 3. — С. 46—48.
2. Тугоплавкие бориды и силициды / Сост. под ред. Г. В. Самсонова. — Киев: Наука думка, 1977 — 163 с.
3. А. с. 428856 СССР. Способ изготовления высокотемпературных нагревателей из диоксида молибдена / А. С. Погосян, А. Х. Балян, Г. К. Геворкян и др. (СССР). — Оpubл. в Б. И., 1974, № 19. — 2 с.
4. Русаков А. А. Рентгенография металлов. — М.: Атомиздат, 1977 — 479 с.

Изв. АН АрмССР (сер. III), т. XI, № 5, 1987

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

А. А. АРУТЮНЯН, В. И. СААКОВ, А. М. АРАКЕЛЯН

К ВОПРОСУ О РАЦИОНАЛЬНОМ РЕГУЛИРОВАНИИ НАПРЯЖЕНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ ЭНЕРГОСИСТЕМ

Для оценки существующего состояния в электрических сетях 110 кВ и выше энергосистем (ЭС) выполнено обследование использования трансформаторов (Т) с устройствами регулирования напряжения (РПН), а также источников реактивной мощности (ИРМ). Согласно полученным данным (табл. 1), только 39% Т с РПН работают с использованием автоматических регуляторов коэффициентов трансформации (АРКТ), а остальные 61% Т — без АРКТ. Более половины (53,5%) ЭС используют АРКТ меньше, чем на одной трети от общего числа Т с РПН.

Таблица 1

Данные о трансформаторах с РПН по классам напряжения

ММ пп	Показатели	110	220	330	500	750	Всего
1	Число трансформаторов с РПН, %	86,8	9,4	2,4	1,3	0,1	100
2	Из них работающих с АРКТ, %	41	30	20	5,8	—	39
	без АРКТ, %	59	70	80	94,2	100	61
3	Среднее число переключений на один трансформатор за сутки, млн. с АРКТ	3,4	2,32	7,05	1,0	—	3,49
	без АРКТ	0,53	0,67	1,38	0,61	0,08	0,59

Из общего числа устройств РПН Т. работающих с АРКТ, у 22,2% производится 1—2 переключения за сутки, а у 40,1% — чаще двух. При работе без АРКТ примерно у 64% устройств РПН Т производится 1—2 переключений за неделю, а у 4,4% от общего числа устройств РПН Т вообще не используются.

Наблюдается существенное различие в числах переключений устройств РПН по отдельным ЭС. Более 10 переключений за сутки при работе РПН с АРКТ имеет место в 12 ЭС (17% от общего количества исследованных ЭС). В режиме ПБВ (при отключенной нагрузке) регулирование практикуется на Т с РПН в 28 ЭС (40%).

Таблица 2

Показатели отдельных групп энергосистем, классифицированных по проценту использования устройств РПН трансформаторов, работающих в режиме АРКТ

ММ пп	Показатели	Группы энергосистем			
		I	II	III	IV ¹
1.	Число энергосистем в группе	10	15	16	30
2.	Доля группы в общем количестве, %	14,1	21,1	22,6	42,2
3.	Процент трансформаторов, работающих с АРКТ:				
	— пределы	71—100	45—68	28—42	0—28
	— среднее значение	85,6	58,8	35	9,3
4.	Среднее число отключенных трансформаторов из-за поврежденных РПН за год:				
	на 10 ⁴ переключений	11,5	3,7	5,2	31,6
	на 10 ² трансформаторов	11,5	7,8	4,3	28,2
5.	Среднее число переключений на один трансформатор в год	294	2134	819	891

В целях классификации ЭС по показателю процента использования РПН в режиме АРКТ полученные данные можно представить четырьмя группами (табл. 2). Так как данные упорядочены, с ростом номера группы число устройств РПН, эксплуатируемых в режиме АРКТ, уменьшается. Важным фактором является число ЭС в группах.

Так, в четвертую группу входят 30 ЭС (42,2%), где процент использования АРКТ всего 9,3%, в первую группу входят 10 ЭС (14,1%) с высокой степенью использования АРКТ.

Установленные значения коэффициентов трансформации T (КТТ) для устройств РПН с отключенными АРКТ, как правило, выбирают интуитивно на основе опыта, а в лучшем случае — на основе расчетов оптимизации установившегося режима электрической сети по ее регулируемым параметрам — напряжению и реактивной мощности, с обеспечением минимума потерь мощности. Однако выбор КТТ на основе такого расчета правильный лишь для рассматриваемого одного режима. Для последующего режима потребуются новый оптимизационный расчет, что не во всех случаях реально. Следовательно, возникает необходимость определения таких КТТ, которые можно использовать за определенный период времени.

Результаты расчетов показывают, что значения потерь энергии при оптимальных режимах и оптимизации по среднеквадратичным значениям мощностей узлов этой же сети за один и тот же период времени примерно равны. Следовательно, полученные значения КТТ и присоединенных мощностей ИРМ практически обеспечивают близкий к минимальному уровень потерь, т. е. оптимизация распространяется на весь период регулирования. Полученные временно-стабильные значения КТТ (ВСКТТ) и мощностей присоединенных ИРМ предварительно проверяются. Цель такой проверки — оценить обеспечение ими требуемых пределов напряжений узлов за период регулирования. Для этого на ЭВМ выполняется два расчета установившихся режимов при полученных значениях КТТ и мощностей ИРМ (без оптимизации). В первом случае имитируется максимум, во втором — минимум нагрузки электрической системы. По результатам расчета режимов выделяются те узлы нагрузок, где отклонения напряжений превышают допустимые значения. Если выявляется, что в каком-то нагрузочном узле не обеспечиваются требуемые пределы напряжения при режиме максимума или минимума нагрузки, то полученные параметры регулирования корректируются для обеспечения качества напряжения.

Методика проверена на примере электрической сети 110 кВ и выше одной из ЭС, содержащей 47 трансформаторных ветвей. Если в режиме минимума и максимума нагрузки системы при реальных КТТ требуемое качество напряжения не обеспечивалось соответственно в 65 и 7 узлах, то при ВСКТТ эти числа составляли 2 и 0. Это показывает, что при использовании ВСКТТ значительно лучше обеспечиваются требуемые ограничения напряжений на шинах трансформаторов.

Полученные результаты показывают о возможности регулирования напряжения в электрических сетях с применением ВСКТТ, обеспечивающих ограниченное число переключений устройств РПН T .

Ի Ն Վ Ա Ն Դ Ա Կ Ո Ւ Թ Յ Ո Ւ Ն

էջ

Մ Ն Ք Ե Ն Ա Շ Ի Ն Ո Ւ Թ Յ Ո Ւ Ն

Ա. Գ. Սատկյան, Յու. Պ. Շեքոլև, Ն. Ս. Խախտեյան: Հոգևածային փորձարկումների մասնակ միկրոկարծրությունների բաշխման մասին	3
---	---

Ն Յ Ո Ւ Խ Ա Դ Ի Տ Ո Ւ Թ Յ Ո Ւ Ն

Վ. Ա. Ալիխանյան, Յու. Կ. Հաբուսյանյան, Վ. Ի. Զբյւսյան, Մ. Գ. Ռաբոյան: Երկաթաֆոսֆորային նռակաված համաձուլվածքների մագնիսական և էլեկտրական հատկությունների ուսումնասիրումը փորձի պլանավորման մեթոդով	10
Մ. Ռ. Մարտիրոսյան: Զոլվածքի մեծությունը փաթաթման ժամանակ և պոլիմերային կոմպոզիցիան նյութից կաուցիվածքի ամրությունը	14

Է Ն Ե Ր Գ Ե Տ Ի Կ Ա

Գ. Ա. Հայրապետյան, Ռ. Ջ. Մուրադյան, Ս. Ն. Մուսեկյան, Ի. Զ. Չերնոմզով: K-300—240 ապի տուբրինձ և Նրա ավտոմատ կարգավորման համակարգի պարամետրերի շեղման ազդեցությունը կառավարման ինպուլսի տեղադրյալ վրա	15
Տ. Ս. Կեռնի: Հեռավոր էլեկտրահաղորդման գծի վրա ղեկավարվող ազդագրծիչների գերադասելի տեղադրման որոշումը պլանավորման տեսության մեթոդներով	22

Տ Ե Ն Ն Ի Ա Կ Ա Ն Կ Ի Ք Ն Ո Ւ Ն Տ Ի Ա

Վ. Կ. Բառյան: Երկրի անհամաչափ և առանցքահամաչափ արհեստական մոլորակների կեղծ օպտիմալ կառավարումը	26
--	----

Գ Ի Տ Ա Կ Ա Ն Ն Ո Ւ Թ Ե Ր

Ս. Ն. Մկրտչյան, Վ. Վ. Քաղեոյան, Ա. Մ. Ավետիսյան: Դիմադրային թաղանթների համառոտության բարձրացումը	30
Կ. Ս. Խոնդկարյան: Բազմամակարդակային ուսուցող համակարգի վերլուծությունը նմանակային մոդելացման մեթոդներով	34
Ա. Ս. Հովակիմյան: ՓՄՄԸ էլեկտրաշարժառեւերների դինամիկական ռեժիմների օպտիմալացումը հանախանյառահասանքային ղեկավարման դեպքում	39
Է. Ս. Աբովյան, Վ. Ե. Աղամյան, Ա. Գ. Ղարաբաղյան, Ա. Ս. Պաղեսյան: Մոլորդների երկհիցելիդի հիմքի վրա ստեղծված չեռուցյալին տարրերի միկրոկառուցվածքի հետազոտումը	41
Ա. Ա. Հաբուսյանյան, Վ. Ի. Սաճեկով, Ա. Մ. Առաքելյան: Էներգահամակարգերի էլեկտրական ցանցերում լարման նպատակահարմար կարգավորման հարցի վերաբերյալ	44

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

МАШИНОСТРОЕНИЕ

- М. Г. Стикчи, Ю. П. Шагаев, Н. С. Исахьян. О распределении микротвердости при изгибании на усталость 3

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

- К. А. Алиханян, К. К. Арутюнян, Н. Н. Чичакин, М. Г. Бабалян. Исследование магнитных и электрических свойств железофосфорных спеченных сплавов методом планирования эксперимента 10
- М. М. Мартиросян. Величина натяга при намотке и прочность конструкций из полимерных композиционных материалов (ПКМ) 14

ЭНЕРГЕТИКА

- Г. А. Аларпетян, Р. Д. Мурадян, А. П. Мусасьян, Н. Э. Черномозов. Влияние разброса параметров турбины К-300-240 и ее САР на длительность управляющего импульса 18
- Т. С. Гичини. Определение целесообразного места установки на дальней линии электропередачи управляемых компенсаторов методами теории планирования 22

ТЕХНИЧЕСКАЯ КИБЕРНЕТИКА

- В. К. Брутян. Квазиоптимальное управление несимметричными и осесимметричными искусственными спутниками земли 26

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

- С. О. Мкртчян, В. В. Татеносян, А. М. Аветисян. Повышение однородности резистивных пленок 30
- Н. С. Хондкарян. Анализ многоуровневой обучающейся системы методом имитационного моделирования 34
- А. С. Олакинян. Оптимизация динамических режимов работы электроприводов с ДПМС при частотно-токовом управлении 38
- Э. С. Абовян, В. Е. Адамян, А. Г. Карыгезян, А. С. Полюсян. Исследование микроструктуры нагревательных элементов на основе дисципила молибдена 41
- И. А. Арутюнян, В. И. Сааков, А. И. Аракелян. К вопросу рационального регулирования напряжения в электрических сетях энергосистемы 44