

ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ
ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ

ՏԵԴԵԿԱԳԻՐ
ИЗВЕСТИЯ

АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

ՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՍԵՐԻԱ
СЕРИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

իջադատվում է 1947 թ. հունիսի 1-ից

Կ Մ Բ Ա Գ Բ Ա Կ Ա Ն Կ Ո Ւ Ե Գ Ի Ա

Պատրյան Ի. Վ. (պատ. խմբագիր), Աղոնց Հ. Տ. (պատ. խմբագրի տեղակալ),
Ալեքսանյան Գ. Վ., Անտոնյան Ա. Կ., Փորոյան Տ. Ա., Զապոյան Մ. Ա., Եսայա-
րով Ա. Գ., Տեր-Ազարև Ի. Ա., Փինոսյան Գ. Վ. (պատ. խմբագրի տեղակալ)
Պատասխանատու ընթացակարգը Խոսիկյան Զ. Կ.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Казьян М. В. (ответ. редактор), Авоян Г. Г. (зам. ответ. редактора),
Алексеевский В. В., Анимян А. К., Гороян Т. А., Завоян М. А., Па-
заров А. Г., Панаджян В. В. (зам. ответ. редактора), Тер-Азгриян Н. А.
Ответственный секретарь Степанян Э. К.

Խմբագրությունը գտնվում էրևան-19, Բարեկամության փող. 24

Адрес редакции: Ереван-19, ул. Барекамутян, 24г.

МАШИНОСТРОЕНИЕ

И. В. ОЛЕЙНИК, М. Г. СТАКЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИКЛИЧЕСКОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ
 ТЕРМООБРАБОТАННЫХ СТАЛЕЙ

В современном машиностроении все больше получают распространение расчеты деталей и узлов на долговечность. Стремление создать высокопроизводительную машину с минимальным расходом материалов заставляет не только использовать прочностные резервы конструкции за счет совершенствования методов расчета и технологии изготовления деталей, но и прогнозировать гарантийный срок службы машины, в пределах которого обеспечивается работоспособность ее деталей и узлов.

Одним из эффективных методов повышения циклической долговечности деталей является их термическая обработка. В работе [1] показано, что в интервале твердостей $HRC = 17 \div 50$ для среднеуглеродистых и низколегированных сталей относительный рост показателей долговечности составляет примерно $1,4 \div 3,2$, в связи с чем для закаленных деталей незначительные колебания напряжений могут вызвать изменение числа циклов в несколько или десятки раз, т. е. их чувствительность к перегрузкам резко возрастает.

В настоящее время не существует общепринятого метода оценки долговечности и чувствительности к перегрузкам в зависимости от вида термообработки. Если учесть, что кривые выносливости закаленных деталей могут быть аппроксимированы до значения $N_f \approx 10^8$, охватывающего их срок службы, инженерный расчет по долговечности приобретает реальный смысл. Эффект упрочнения, достигаемый при термообработке, учитывается коэффициентом β_{Δ} , представляющим отношение пределов выносливости термообработанных и отожженных образцов [2]. Для оценки того же эффекта по долговечности предлагается коэффициент в виде инкливого отношения

$$\beta_{\Delta} = \frac{N}{N'} \quad (1)$$

где N и N' — долговечности сопоставляемых образцов при данном напряжении σ_p .

Учитывая переменность дисперсии долговечностей S_N^2 от уровня σ_p и ее изменение в связи с формой, размерами, режимом нагружения и видом термообработки деталей, можно записать, что

$$\beta_N = \frac{N_n}{N_0} = \frac{\bar{N} + uS_N}{\bar{N}' + uS_N'} = \frac{(1 + uV_N)\bar{N}}{(1 + uV_N')\bar{N}'} = A_N \bar{\beta}_{N'} \quad (2)$$

где u — квантиль нормального распределения; $\bar{\beta}_{N'}$, \bar{N} , \bar{N}' — средневероятные значения β_N , N и N' ; V_N , V_N' — коэффициенты вариации долговечностей; A_N — вероятностный коэффициент.

При действии указанных факторов можно считать, что $V_N \neq V_N'$ и $\bar{\beta}_{N'} \neq \text{const}$, следовательно, β_N — случайная величина, зависящая от τ_1 и вероятности неразрушения $I(N)$.

Для вывода функции $\beta_N = f[\sigma_1, I(N)]$ используем уравнение кривой выносливости в параметрическом виде

$$\lg N_i = (\lg \bar{N} + uS_{N_i}) - (\bar{m} + uS_m)(\lg \tau_i - \lg \tau) - C_n - m_n \lg \tau_i. \quad (3)$$

Согласно взаимному расположению сопоставляемых кривых выносливости наметим зоны напряжений, в пределах которых вид функции β_N остается неизменным (на рис. 1 параметры кривой отождествленных образцов имеют штриховое обозначение).

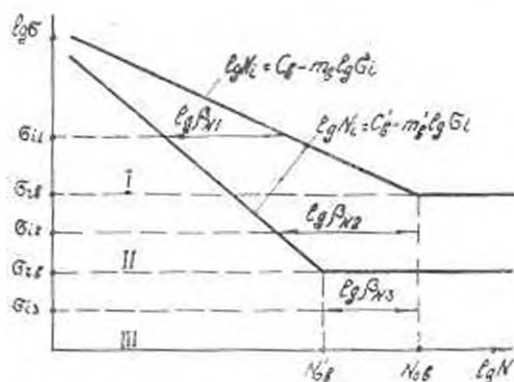


Рис. 1. К определению зависимостей (4) — (6).

I зона — $\sigma_1 > \sigma_{re}$. При $\tau_{11} = \text{const}$ $\lg \beta_{N1} = \lg N_i - \lg N_i'$
или, согласно (3),

$$\lg \beta_{N1} = [C_n - C_n'] - [m_n - m_n'] \lg \tau_i; \quad (4)$$

обозначим

$$\lg \beta_{N1} = \Delta C_{n1} - \Delta m_{n1} \lg \tau_i. \quad (4a)$$

II зона — $\sigma_{re} < \sigma_1 < \sigma_{re}$. При $\tau_{12} = \text{const}$ $\lg \beta_{N2} = \lg N_0 - \lg N_i'$
или

$$\lg \beta_{N2} = [(C_n - C_n') - m_n \lg \tau_{re}] + m_n' \lg \tau_i. \quad (5)$$

откуда

$$\lg \beta_{N2} = \Delta C_{n2} + m_n' \lg \tau_i. \quad (5a)$$

III зона — $\sigma_a < \sigma'_{0b}$. Коэффициент β_N однозначно определяется лишь на наклонных участках кривых выносливости, поэтому β_N здесь достигает граничного значения $\beta_N = \frac{N_{0b}}{N_{0a}}$, следовательно,

$$\lg \beta_N = [C_b - C_a] - [m_b \lg \sigma'_{0b} - m'_a \lg \sigma'_{0a}] = \text{const}, \quad (6)$$

или

$$\lg \beta'_N = \Delta C_{a1} - \Delta(m_a \lg \sigma'_{0a}). \quad (6a)$$

В статье рассматриваются результаты циклических испытаний образцов из стали 45 и 40X [гладкие (Гл) и с концентратором напряжений (К), $d = 10; 25$ мм], подвергнутых отжигу (О), нормализации (Н), улучшению (У) и закалке (З) при стационарном и программном режимах нагружения [1, 2].

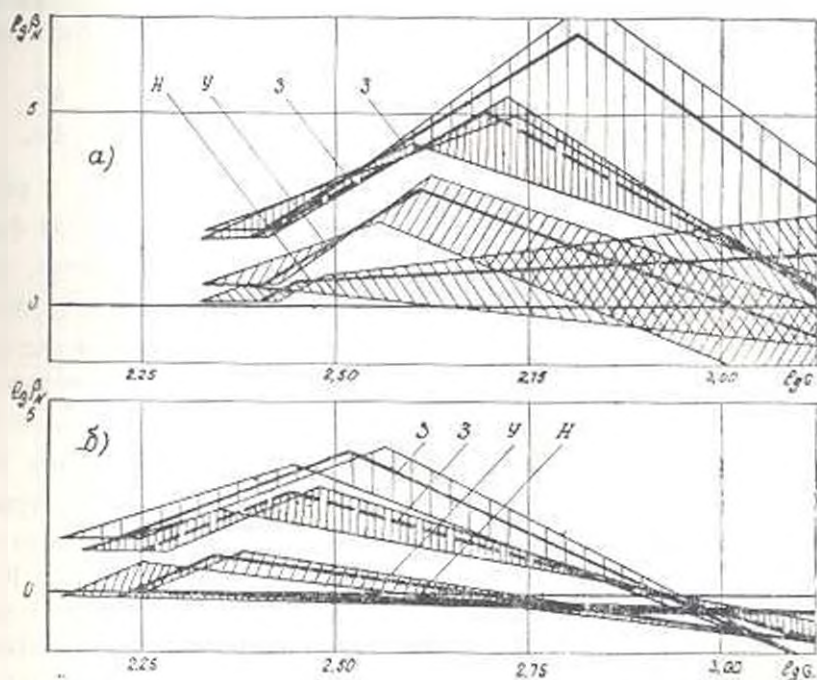


Рис. 2. Изменение коэффициента β_N в зависимости от σ и $l(N)$:

а) стационарное нагружение—образцы из стали 45 ($\varnothing 10$ Гл) и из стали 40X ($\varnothing 25$ Гл);

б) программное нагружение—образцы из стали 45 ($\varnothing 25$ К) и из стали 40X ($\varnothing 25$ К).

Пунктирные линии относятся к образцам из стали 40X.

На рис. 2 представлены зависимости (4)–(6а), подсчитанные согласно данным [1, 2] при $l(N) = 10; 50$ и 99,9%. Как видно, основными факторами, влияющими на величину β_N , являются концентрация напряжений и твердость образцов. Функция $\beta_N = f[\sigma; l(N)]$ имеет возрастающе-убывающий характер с максимальным значением $\beta_{N_{max}}$.

соответствующими длительному пределу выносливости τ_{r0} . В связи с рассеянием τ_{r0} вероятные значения $\beta_{N \max}$ распределены на некотором участке τ_1 и зависят от $l(N)$. Дисперсия $S_{\beta_N}^2$ переменна от τ и зависит от форм, размеров и вида термообработки образцов. Для гладких закаленных образцов меньшего диаметра средневероятные значения $\bar{\beta}_N$ и $S_{\beta_N}^2$ максимальны, а $\beta_{N \max}$ перемещены в зону высоких напряжений. Для надрезанных образцов при низких твердостях $\beta_N \approx 1$, дисперсия $S_{\beta_N}^2$ весьма незначительна и преобладающей является I зона.

Соотношение зон функции $\beta_N = f\{\tau; l(N)\}$, а также значения $\beta_{N \max}$, $\beta_{N \min}$, $\bar{\beta}_N$ и $S_{\beta_N}^2$ зависят от взаимного расположения и размеров областей рассеяния $\lg N$, термообработанных и отожженных образцов, которое можно оценить соответствующими характеристиками выносливости. Выделим группу относительных величин, учитывающих изменение этих характеристик в связи с действием рассмотренных факторов:

$$\delta\tau_n = \frac{\tau_{r0}}{\tau_{r0}}, \quad \delta m_n = \frac{m_n}{m_n}, \quad \delta C_n = \frac{C_n}{C_n}, \quad \delta N_n = \frac{\lg N_{00}}{\lg N_{00}}, \quad \delta b = \frac{\delta C_n}{\delta m_n}. \quad (7)$$

Наряду с τ_{r0} , величина $\delta\tau_n$ определяет соотношение зон β_N и расположение точки с $\beta_{N \max}$. В большинстве $\delta\tau_n > 1$, в связи с чем функция β_N определена во всех трех зонах. При низких твердостях, свойственных нормализации, может наблюдаться условие $\delta\tau_n \geq 1$, благодаря чему II зона максимально сокращается или вовсе отсутствует. В [1] показано, что при переходе к неравновесным структурным состояниям $\delta\tau_n$ пропорционально растут и на уровне $\bar{\tau}_1$ достигают значений: для закаленных образцов $\delta\tau_n = 2,0 - 2,5$, улучшенных $\delta\tau_n = 1,3 - 1,6$ и нормализованных $\delta\tau_n = 1,0 - 1,15$. Меньшие интервальные значения $\delta\tau_n$ соответствуют надрезанным образцам большого диаметра, поэтому при HRC = 45 - 50 для гладких образцов $d = 10$ мм протяженность I зоны минимальная. При умеренных и низких твердостях I зона постепенно увеличивается за счет II зоны и охватывает все больший интервал τ_1 . В связи с изменением $\delta\tau_n$ встречаются два варианта функции β_N (табл. 1).

Интенсивность изменения β_N в I и II зонах оценивается величиной δm_n , так как связь между Δm_n и m_n можно записать в виде $\Delta m_n = m_n(\delta m_n - 1)$. Средневероятные значения $\bar{\delta m}$ меняются в пределах: для нормализованных образцов $\bar{\delta m} = 0,91 - 1,10$, улучшенных $\bar{\delta m} = 1,30 - 1,75$ и закаленных $\bar{\delta m} = 1,95 - 2,45$. Здесь наблюдаются условия $\delta m_n > \delta m_{nk}$ и $\delta m_n < \delta m_{00}$, равно как $m_n > m_{nk}$ и $m_n > m_{00}$. С увеличением твердости эти неравенства усиливаются, поэтому наклон β_N максимальный для гладких закаленных и минимальный для над-

резанных нормализованных образцов. Во II зоне интенсивность β_N определяется величиной m_s , поэтому при испытаниях серий образцов, отличающихся лишь видом термообработки, наклон β_N остается неизменным (рис. 2). Принятый режим нагружения способствует усилению крутизны β_N . В зависимости от величины Δm_s возможны три варианта изменения наклона β_N (табл. 1).

Таблица 1

№ п/п	$\Delta \sigma_s$	ΔM_s	Δm_s	$\Delta \beta$	Вид зависимости $\beta_N = f(\sigma)$
1			>1		
2	>1	>1	≈ 1	>1	
3			<1		
4			>1		
5	>1	≈ 1	≈ 1	>1	
6			<1		
7			>1		
8	>1	<1	≈ 1	>1	
9			<1		
10			>1		
11	≈ 1	>1	≈ 1	>1	
12			<1		
13			>1	<1	
14	≈ 1	≈ 1	≈ 1	≈ 1	
15			<1	>1	
16			>1	<1	
17	≈ 1	<1	≈ 1	<1	
18			<1	>1	

Отношение ΔN_s формирует конечный участок кривой β_N . С увеличением твердости их значения пропорционально растут и в большинстве $\Delta N_s > 1$. При низких твердостях масштабный эффект и концентрация напряжений способствуют снижению его значений до $\Delta N_s < 1$, а под действием программного нагружения ΔN_s несколько увеличивается. Здесь возможны три варианта конечных участков β_N (табл. 1).

Отношение δb учитывает изменение характеристик выносливости в комплексе и определяет величину коэффициента β_N в целом. Благодаря разной интенсивности изменения этих характеристик можно записать, что для гладких образцов $\delta m_{0.2} > \delta C_{0.2}$, с увеличением диаметра образцов $\delta m_{0.2} \leq \delta C_{0.2}$, а при наличии надрезов $\delta m_{0.2} < \delta C_{0.2}$, т. е. $\delta b_c > 1$, $\delta b_d \leq 1$ и $\delta b_s < 1$. Значения β_N пропорциональны δb , поэтому они минимальны для надрезанных образцов большого диаметра, а при нормализации достигают до $\beta_N \leq 1$. Наименшие величины (7) показывают, что в зонах I—III коэффициент β_N больше единицы, если одновременно соблюдаются неравенства $\delta z_s > 1$, $\delta m_s = 1$, δN_s и $\delta b > 1$.

Параметры уравнения (4а) $\Delta m_{0.2}$ и $\Delta C_{0.2}$ взаимосвязаны и по структуре схожи с характеристиками выносливости m_s и C_s . Это предопределяет их аналогичное изменение в зависимости от действия рассмотренных факторов (рис. 3 и 4). С увеличением твердости $\Delta m_{0.2}$ и $\Delta C_{0.2}$ возрастают, благодаря "эффекту тренировки" программное нагружение способствует увеличению их значений, а под действием масштабного эффекта и концентрации напряжений $\Delta m_{0.2}$ и $\Delta C_{0.2}$ резко снижаются. Если их представить в виде:

$$\Delta m_{0.2} = (\bar{m} - \bar{m}') + u(S_m - S_m') = \Delta \bar{m} + u \cdot \Delta S_m; \quad (3)$$

$$\Delta C_{0.2} = \Delta \bar{C} + u[\Delta S_N + \Delta(S_m \lg \tau)], \quad (9)$$

то, согласно [1], $\Delta \bar{m}$, $\Delta \bar{C}$, ΔS_m , ΔS_N , $\Delta(S_m \lg \tau) > 0$, и, поэтому, при отрицательных квантилях u , соответствующих $1(N) > 50\%$, вероятные значения $\Delta m_{0.2}$ и $\Delta C_{0.2}$ падают.

Изменение $\Delta m_{0.2}$ и $\Delta C_{0.2}$ от твердости пропорционально, что позволяет для оценки их значений использовать линейный регрессионный анализ, и зависимости $\Delta m_{0.2}$; $\Delta C_{0.2} = f(\text{HRC})$ выразить уравнениями

$$y_i = \bar{y} + r \frac{S_y}{S_x} (x_i - \bar{x}) \quad \text{или} \quad y_i = ax_i + b, \quad (10)$$

где

$$r_i = \text{HRC}; \quad y_i = \Delta m_{0.2}; \quad \Delta C_{0.2}.$$

Расчитанные параметры уравнения (10) представлены в табл. 2, откуда видно, что теснота корреляционной связи между $\Delta m_{0.2}$, $\Delta C_{0.2}$ и HRC достаточно высокая. Наличие на рис. 3 и 4 начальной точки с координатами (HRC_{0.2}, 0) (HRC_{0.2} — твердость отоженных образцов) для семейства линий $\Delta m_{0.2}$ и $\Delta C_{0.2}$ обуславливает обратно пропорциональное изменение значений a и b .

Из рассмотрения данных табл. 3, где представлены вероятные значения параметров (5а) и (5б), можно заключить, что коэффициент β_N во II зоне зависит, в основном, от характеристик выносливости отоженных образцов. Преобразуя структуру параметра $\Delta C_{0.2}$, согласно рис. 1 можно записать, что

$$\Delta C_{0.2} = [C_0 - m_0 \lg \tau_{0.2}] - C_0 = \lg N_{0.2} - C_0. \quad (11)$$

Таблица 2

№ пп.	Режим	Конструкция	Материал	Термо-обработка	$\Delta C_1 = f_1$ (HRC)								
					$f(N) = 10^9 / s$			$f(N) = 50^9 / s$			$f(N) = 99,9^9 / s$		
					a_1	b_1	r	a_1	b_1	r	a_1	b_1	r
1 2 3	Стойко-рот	Ø10ГЛ 25ГЛ	Ст. 45	О, Н, У, З	2,048	-38,687	0,979	1,511	-32,033	0,981	1,240	-17,419	0,952
					1,545	-23,451	0,983	1,343	-22,016	0,991	0,853	-13,723	0,984
					1,342	-26,836	—	1,146	-22,910	—	0,672	-13,431	—
4 5 6	Стойко-рот	Ø10К 25К	Ст. 45	О, Н, У, З	0,749	-13,580	0,991	0,610	-11,949	0,986	0,396	-8,012	0,952
					0,958	-17,671	0,983	0,554	-15,878	0,992	0,602	-11,551	0,983
7 8 9	Прокатный	Ø10ГЛ 25ГЛ	Ст. 45	О, Н, У, З	0,575	-11,495	—	0,503	-10,054	—	0,329	-6,573	—
					2,459	-44,950	0,981	2,335	-40,326	0,984	2,036	-39,163	0,988
10 11 12	Прокатный	Ø10К 25К	Ст. 45	О, Н, У, З	1,691	-24,919	0,991	1,517	-22,224	0,990	1,098	-15,719	0,989
					1,577	-31,542	—	1,404	-28,056	—	0,982	-19,640	—
10 11 12	Прокатный	Ø10К 25К	Ст. 45	О, Н, У, З	0,831	-15,160	0,991	0,734	-13,372	0,989	0,493	-9,055	0,976
					1,015	-18,811	0,996	0,952	-17,205	0,993	0,730	-13,247	0,994
10 11 12	Прокатный	Ø10К 25К	Ст. 40X	О, З	0,594	-11,880	—	0,506	-10,520	—	0,362	-7,539	—

Примечание табл. 2

№ пп.	$\Delta m_1 = f_1$ (HRC)								
	$f(N) = 10^9$			$f(N) = 50^9$			$f(N) = 99,9^9$		
	a_1	b_1	r	a_1	b_1	r	a_1	b_1	r
1	0,625	-11,533	0,966	0,555	-9,838	0,969	0,365	-5,022	0,925
2	0,490	-7,831	0,986	0,403	-6,721	0,984	0,263	-4,045	0,972
3	0,427	-8,534	—	0,361	-7,229	—	0,204	-4,078	—
4	0,215	-4,429	0,954	0,211	-3,909	0,975	0,129	-2,654	0,915
5	0,429	-6,049	0,993	0,292	-5,424	0,991	0,203	-3,913	0,976
6	0,196	-3,920	—	0,171	-3,413	—	0,109	-2,187	—
7	0,783	-14,122	0,971	0,733	-12,613	0,975	0,661	-8,971	0,952
8	0,542	-7,523	0,982	0,485	-6,677	0,981	0,346	-4,637	0,978
9	0,509	-10,169	—	0,451	-9,021	—	0,313	-6,250	—
10	0,278	-4,998	0,985	0,244	-4,402	0,981	0,163	-2,958	0,957
11	0,355	-6,312	0,997	0,323	-5,751	0,997	0,247	-4,395	0,997
12	0,203	-4,050	—	0,179	-3,580	—	0,122	-2,445	—

Таблица 3

№ пп	Режим	Конструкция	Материал	Герметизация	$I(N) = 10\%$			$I(N) = 50\%$			$I(N) = 99,9\%$		
					ΔC_{a2}	m_a	$\lg \beta_{a2}$	ΔC_{a2}	m_a	$\lg \beta_{a2}$	ΔC_{a2}	m_a	$\lg \beta_{a2}$
1	Стационарный	10ГЛ	Ст. 45	Н	-36,622		0,0837	-30,932		0,0832	-17,196		0,0839
2				У	-36,280	15,143	0,4238	-30,589	12,888	0,4264	-16,849	7,443	0,4306
3				З	-34,805		1,9011	-29,113		1,9017	-15,374		1,9053
4		Ø25ГЛ	.	Н	-27,519		-0,1063	-25,336		-0,1062	-20,067		-0,1061
5				У	-27,328	11,551	0,0845	-25,144	10,726	0,0855	-19,872	8,735	0,0884
6				З	-25,757		1,6563	-23,573		1,6572	-18,301		1,6596
7		.	Ст. 40Х	З	-26,740	11,793	1,7303	-24,476	10,969	1,7308	-19,101	8,979	1,7326
8				Н	-13,765		-0,1199	-12,474		-0,1214	-9,370		-0,1323
9				У	-13,896	6,206	-0,2511	-12,601	5,715	-0,2486	-9,450	4,529	-0,2419
10		Ø10К	Ст. 45	З	-12,487		1,1575	-11,192		1,1606	-8,070		1,1681
11				Н	-17,112		0,0355	-15,962		0,0345	-13,189	6,337	0,0300
12				У	-17,124	7,842	0,0238	-15,972	7,401	0,0245	-13,193		0,0263
13		Ø25К	.	З	-15,758		1,3915	-14,603		1,3932	-11,822		1,3975
14				Н	-15,496	7,418	1,1924	-14,109	6,901	1,1943	-10,762	5,654	1,1990
15	У			-40,523		0,0494	-32,998		0,0494	-14,834		0,0534	
16	Ø10ГЛ	Ст. 45	У	-40,035	16,504	0,5381	-32,509	13,548	0,5391	-14,341	6,413	0,5462	
17			З	-39,673		1,8994	-31,147		1,9004	-12,980		0,9078	
18			Н	-27,035		0,1534	-24,966		0,1542	-19,971		0,1566	
19	Ø25ГЛ	.	У	-26,941	11,285	0,2475	-24,872	10,514	0,2486	-19,876	8,652	0,2519	
20			З	-25,412		1,7766	-25,342		1,7778	-18,347		1,7814	
21			Н	-29,924	12,948	1,5255	-27,589	12,077	1,5263	-21,953	9,976	1,5286	
22	Прогрессивный	Ø10К	Ст. 45	Н	-16,031		-0,0475	-13,638		-0,0486	-7,867		-0,0540
23				У	-16,067	6,763	-0,0829	-13,659	6,128	-0,0805	-7,886	4,594	-0,0723
24				З	-11,791		1,1926	-12,393		1,1955	-6,609		1,2049
25	Ø25К	.	Н	-18,073		-0,0679	-16,615		-0,0679	-13,097		-0,0676	
26			У	-18,023	8,029	-0,0179	-16,564	7,482	-0,0172	-13,045	6,093	-0,0154	
27			З	-16,586		1,1488	-15,126		1,4208	-11,603		1,4269	
28	.	Ст. 40Х	З	-17,320	8,080	1,1160	-15,798	7,500	1,1173	-12,125	6,100	1,1206	

В интервале $HRC = 17 - 50 \lg N_{0.2}$ меняется в пределах 6,0–8,0, а $C_2 = 18,89 - 39,15$, поэтому, с увеличением твердости образцов и по мере расширения II зоны, значимость характеристик m' и C' для ϑ_N возрастает. Под действием рассмотренных факторов граничные значения ϑ_N^* меняются аналогично ϑ_N .

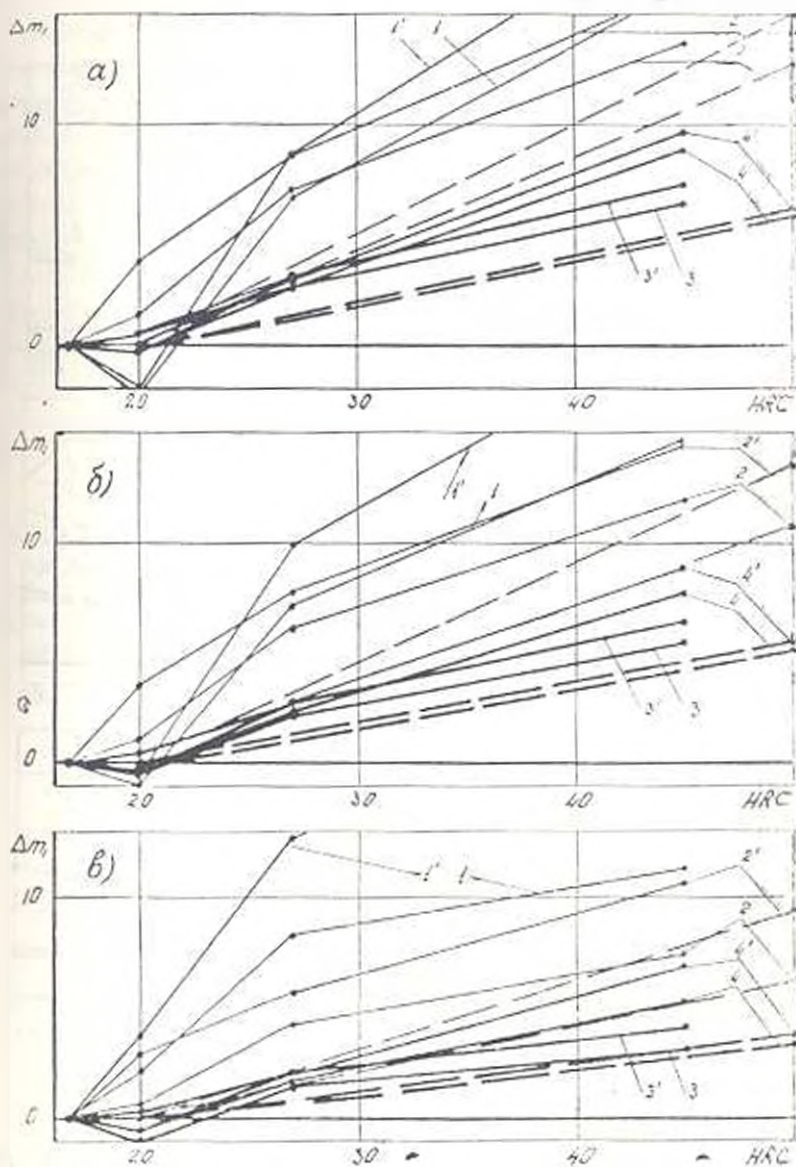


Рис. 3. Изменение параметра Δm_i в зависимости от HRC и $I(N)$:
 а) $I(N) = 10\%$; б) $I(N) = 50\%$; в) $I(N) = 99,9\%$; 1 — $\varnothing 10Гз$; 2 — $\varnothing 25Гз$;
 3 — $\varnothing 10К$; 1' — $\varnothing 25К$. (Пунктирные линии относятся к образцам из стали
 40Х, а цифры со штрихом — программному нагружению.)

Изменение относительных величин (7) и параметров (4а) ÷ (4б) показывает, что наиболее распространенным видом функции $\vartheta_N =$

$= f[\alpha_T, I(N)]$ является l -й (табл. 1). Разнообразие ее ветвей в связи с незначительным эффектом упрочнения свойственно режиму нормализации, для которого встречаются 1, 3, 7 и 9-й варианты функции β_N . Для улучшенных образцов свойственны 1-й и 7-й варианты, а для закаленных — 1-й. Принятый режим нагружения и уровень вероятности неразрушения существенным образом не меняют вид β_N , а влияние концев траекции напряжений с увеличением твердости ослабевает.

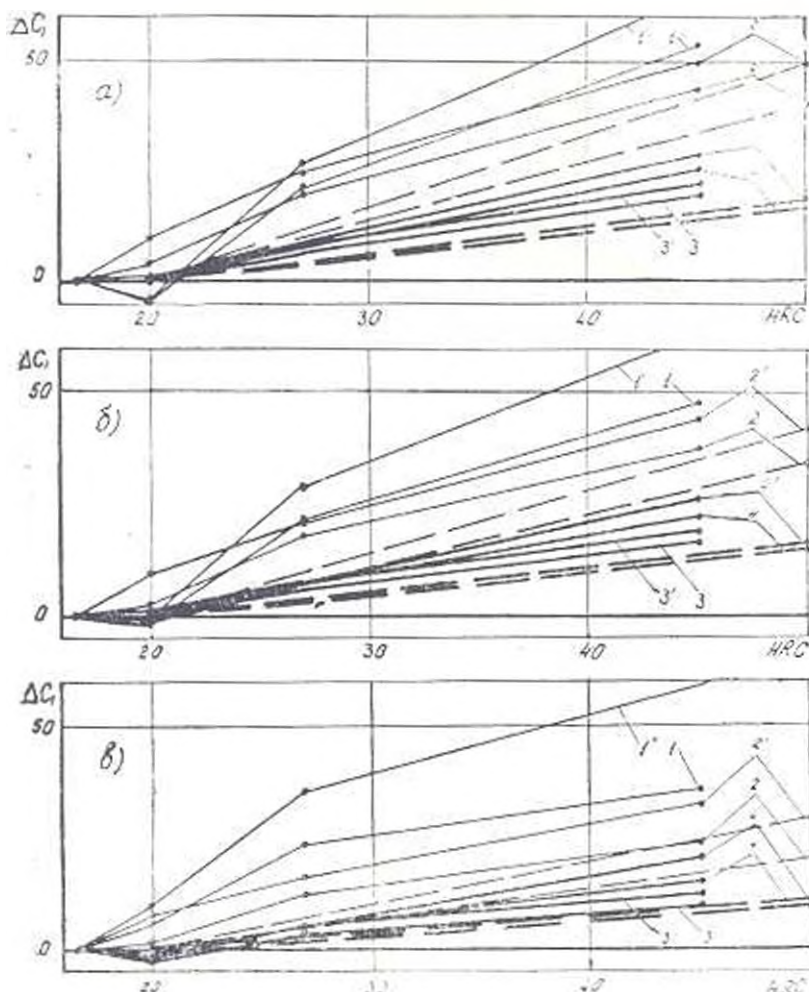


Рис. 4. Изменение параметра ΔC_i в зависимости от HRC и $I(N)$.
(Условные обозначения те же, что и на рис. 3.)

Предложенная методика расчета диклоного отношения β_N позволяет производить оценку эффекта упрочнения по долговечности в связи с видом термообработки, конструктивными и эксплуатационными факторами и благодаря строгому учету этих факторов наметить сроки службы деталей при заданной вероятности их безотказной работы.

Ն. Վ. ԱՆՆԻԿ, Մ. Գ. ՍՏԱԿՅԱՆ

ԶԵՐՄԱՄՇԱՆՎԱՆ ՊՈՎՊԱՏՆԵՐԻ ՑԻԿՎԱՅԻՆ
ԵՐԿԱՐԱԿԵՑՈՒԹՅԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ

Ա. մ. վ. ո. վ. ո. մ.

Առաջարկված է β_N գործակիցը, որ հաշվի է առնում ջերմամշակված պողպատների ցիկլային երկարակեցություն հարաբերական աճը և նրանց դժայրունությունը գերբևեռվածքների նկատմամբ: Յուրյ է արված, որ β_N -ն վիճակագրական մեծություն է և կախված է Ը գերլարումների մակարդակից ու շթալքայվելու $I(N)$ հաճանականությունից՝ նկնելով համեմատվող դիմացկունության կորերի փոխադարձ դասավորությունից՝ որոշված են β_N -ի փոփոխման գոնաները և նրանցից չաքաքանչյուրի համար ստացված են $\beta_N = f(z; I(N))$ կախումները:

Ուսումնասիրված է ջերմամշակման տեսակի, բեռնվածության սեփմի, փորձանմուշների չափերի և կոնստրուկտիվ ձևերի ազդեցությունը $\beta_N = f(z; I(N))$ կորի պարամետրների վրա:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Олейник И. В., Бэзер В. В., Стакян М. Г., Гаспарян С. А. Оценка характеристик выносливости термообработанных сталей. «Известия АН АрмССР (серия Т. II)», т. XXIX, № 1, 1976.
2. Олейник И. В., Бэзер В. В., Стакян М. Г. Исследование эффекта упрочнения термообработанных сталей. «Известия АН АрмССР (серия Т. II)», т. XXIX, № 2, 1976.

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

А. А. САФАРЯН, В. А. САРАДЖЕВ

К ТЕОРИИ ЛИНЕЙНЫХ МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ
 ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

В последнее время в приборах автоматики и информационно-измерительной техники нашли широкое применение линейные магнитоэлектрические преобразователи (ЛМП), служащие в качестве исполнительных органов к устройствам индикации и регистрации.

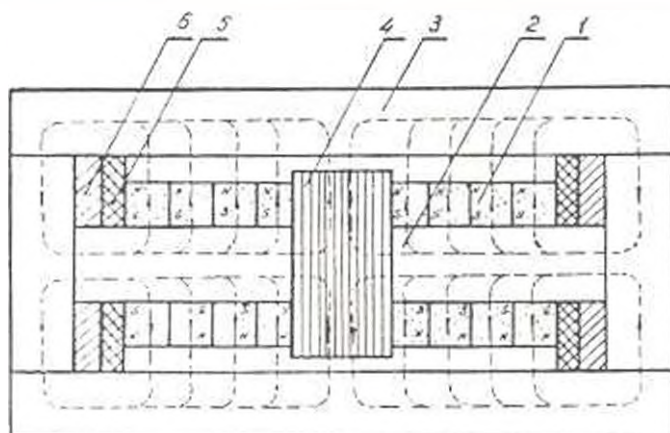


Рис. 1

В данной статье последуются ЛМП, конструкция которого приведеца на рис. 1. Кольцевые постоянные магниты 1 с радиальным намагничиванием собираются на стержневом магнитопроводе 2 из магнитомягкого материала (армко). Стержень с магнитными кольцами устанавливается в яме 3 (тоже из магнитомягкого материала) и фиксируется боковыми стенками яма. На кольцевые магниты надевается подвижная катушка 4, которая перемещается в воздушном зазоре внутри ЛМП. Для уменьшения ударной силы подвижной катушки по краям ЛМП установлены амортизаторы 5 из мягкого материала (фетр), а также антимагнитные латунные кольца 6, которые уменьшают до минимума потоки рассеивания по краям.

Конструкция этого ЛМП позволяет через пазы, проделанные с двух сторон яма, передавать перемещение катушки к органам индикации (стрелка) и регистрации (выступающее перо), а также осуществлять подачу напряжения на подвижную катушку через токопроводы.

Принцип работы ЛМП заключается в следующем: при прохождении тока через обмотку подвижной катушки ее электромагнитное поле, взаимодействуя с полем постоянного магнита, вызывает аксиальное усилие, движущее катушку в одну или другую сторону в зависимости от направления тока.

Данная конструкция более подробно проанализирована в [1], опробована и благодаря своим повышенным технико-экономическим показателям (большое тяговое усилие, высокий к. п. д., малые габариты) находит широкое применение в следящих системах автокомпенсаторов.

Для расчета магнитной цепи описанного ЛМП важное значение имеет определение закона распределения магнитной индукции по всей длине рабочего зазора. Для этой цели используется теория электрических и магнитных цепей с распределенными параметрами [2, 3, 4]. При этом отличительной особенностью схемы замещения является наличие поперечно включенных источников магнитной энергии, установленных через равные промежутки вдоль всей цепи.

В данной статье рассматриваются некоторые вопросы по теории цепей с равномерно распределенной поперечной намагничивающей силой (и. с.).

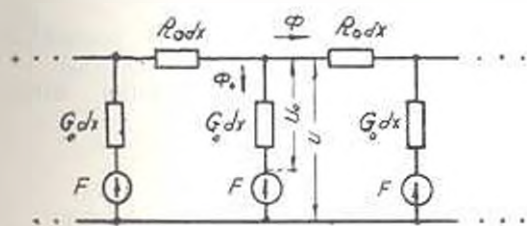


Рис. 2.

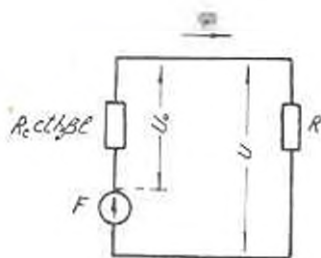


Рис. 3.

На рис. 2 показана схема замещения половины исследуемого магнитопровода с распределенными параметрами. Эту схему можно охарактеризовать как однородную магнитную линию с равномерно распределенной вдоль всей линии постоянной поперечной и. с. в виде кольцевых магнитов и с нагрузкой, включенной в конце линии. На схеме и в тексте статьи приняты следующие обозначения:

R_0 и G_0 — соответственно продольное магнитное сопротивление и поперечная магнитная проводимость, приходящиеся на единицу длины линии („первичные параметры линии“);

R — магнитное сопротивление нагрузки;

F — постоянная поперечная и. с.;

Φ — продольный магнитный поток;

Φ_0 — поперечный магнитный поток, приходящийся на единицу длины линии;

U — „магнитное напряжение“ (разность скалярных магнитных потенциалов) в различных сечениях линии;

$U_0 = U - P$ — результирующее магнитное напряжение, непосредственно определяющее величину поперечного магнитного потока Φ_0 ;

x — расстояние данной точки линии от конца, т. е. от места включения нагрузки;

U_1 и Φ_1 — соответственно магнитное напряжение и продольный магнитный поток в начале линии;

U_2 и Φ_2 — то же в конце линии;

U и Φ — то же в любой точке линии.

Очевидно, рассматриваемая однородная магнитная линия является аналогом однородной («длинной») линии постоянного тока с постоянной «д. с.» равномерно распределенной вдоль всей линии. Так как такого рода линия не рассматривалась в литературе, то в данной статье поставлена задача исследовать законы распределения всех интересующих нас величин вдоль линии. С целью облегчения проведения аналогии с линией постоянного тока сохранены традиционные термины (например, напряжение) и положительные направления.

Из рассмотренной схемы замещения легко получить дифференциальные уравнения:

$$-\frac{dU}{dx} = R_0 \Phi; \quad -\frac{d\Phi}{dx} = G_0 U. \quad (1)$$

Решение этих уравнений для установившегося режима имеет вид [5, 6]:

$$U_x = \frac{1}{2} (U_{02} - R_c \Phi_2) e^{-\beta x} + \frac{1}{2} (U_{02} + R_c \Phi_2) e^{-\beta l - x};$$

$$\Phi = \frac{1}{2} \left(\Phi_2 + \frac{U_{02}}{R_c} \right) e^{2\beta x} - \frac{1}{2} \left(\Phi_2 - \frac{U_{02}}{R_c} \right) e^{-2\beta x}, \quad (2)$$

где $R_c = \sqrt{\frac{R_0}{G_0}}$ — волновое (характеристическое) сопротивление линии;

$\beta = \sqrt{R_0 G_0}$ — коэффициент затухания («вторичные параметры линии»).

То же решение может быть выражено и через гиперболические функции:

$$U_x = U_{02} \operatorname{ch} \beta x + R_c \Phi_2 \operatorname{sh} \beta x;$$

$$\Phi = \Phi_2 \operatorname{ch} \beta x - \frac{U_{02}}{R_c} \operatorname{sh} \beta x. \quad (3)$$

Если длина l , то при $x=l$, т. е. в начале линии, продольный магнитный поток $\Phi = \Phi_1 = 0$. Таким образом,

$$\Phi_2 \operatorname{ch} \beta l - \frac{U_{02}}{R_c} \operatorname{sh} \beta l = 0,$$

откуда

$$\Phi_2 = \frac{U_{02}}{R_c} \operatorname{th} \beta l. \quad (4)$$

Подставляя это значение в первое из уравнений (3), после несложных преобразований получим

$$U_{01} = \frac{U_{02}}{\operatorname{ch} \beta l}. \quad (5)$$

Произведя ту же подстановку в уравнении (2), получим:

$$\begin{aligned} U'_0 &= \frac{U_{02}}{2} (1 - \operatorname{th} \beta l) e^{\beta x} - \frac{U_{02}}{2} (1 + \operatorname{th} \beta l) e^{-\beta x}; \\ \Phi &= \frac{\Phi_2}{2} (1 - \operatorname{ch} \beta l) e^{\beta x} + \frac{\Phi_2}{2} (1 + \operatorname{ch} \beta l) e^{-\beta x}. \end{aligned} \quad (6)$$

Так как в этих выражениях вторые члены представляют собой волны U_0 и Φ , распространяющиеся от конца линии к началу, а первые члены—волны U_0 и Φ , распространяющиеся от начала линии к концу, то, взяв отношение первых членов ко вторым при $x=l$, получим коэффициенты отражения волн от начала линии.

Коэффициент отражения магнитного напряжения

$$K_U = \frac{(1 - \operatorname{th} \beta l) e^{\beta l}}{(1 + \operatorname{th} \beta l) e^{-\beta l}} = \frac{\operatorname{ch} \beta l - \operatorname{sh} \beta l}{\operatorname{ch} \beta l + \operatorname{sh} \beta l} e^{2\beta l} = \frac{e^{-\beta l}}{e^{\beta l}} \cdot e^{2\beta l} = 1. \quad (7)$$

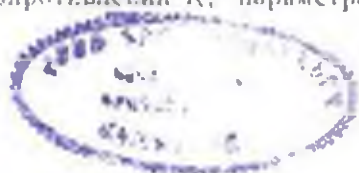
Коэффициент отражения магнитного потока

$$K_\Phi = \frac{(1 - \operatorname{ch} \beta l) e^{\beta l}}{(1 + \operatorname{ch} \beta l) e^{-\beta l}} = \frac{\operatorname{sh} \beta l - \operatorname{ch} \beta l}{\operatorname{sh} \beta l + \operatorname{ch} \beta l} e^{2\beta l} = -\frac{e^{-\beta l}}{e^{\beta l}} e^{2\beta l} = -1. \quad (8)$$

Таким образом, волна U_0 отражается от начала линии с тем же знаком, а волна Φ —с обратным знаком. Иными словами, отражение U_0 и Φ от начала линии происходит так, как отражение волн напряжения и тока от разомкнутого конца линии передачи. Следовательно, для волн U_0 и Φ рассматриваемая магнитная линия находится как бы в режиме холостого хода по отношению к своему началу.

Весьма своеобразным обстоятельством является также тот факт, что волны U_0 и Φ распространяются противоположно тому, что имеет место в обычной линии с генераторным входом (началом линии) и нагрузочным выходом (концом линии). В исследуемом нами случае прямая (падающая) волна распространяется от конца линии к ее началу, а обратная (отраженная) волна—от начала линии к ее концу.

Так как $F = U'_0 - U_{02}$, причем $U_{02} = R_c \Phi_2$, и из (4) $U_{02} = -R_c \Phi_2 \operatorname{cth} \beta l$, то $F = (R + R_c \operatorname{cth} \beta l) \Phi_2$, откуда видно, что при заданной распределенной и, с. F , нагрузочном сопротивлении R , параметрах линии R_c



и G_0 и длине линии l магнитный поток в нагрузке вычисляется по формуле:

$$\Phi_2 = \frac{F}{R + R_c \operatorname{cth} \beta l}. \quad (9)$$

Приходим к выводу, что по отношению к нагрузке вся линия представляет собой активный двухполюсник (эквивалентный генератор) с и. с. F и входным (внутренним) сопротивлением $R_c \operatorname{cth} \beta l$. Соответствующая схема приведена на рис. 3.

Магнитное напряжение на нагрузке, т. е. в конце линии,

$$U_2 = \frac{FR}{R + R_c \operatorname{cth} \beta l}, \quad (10)$$

а магнитное напряжение в начале линии

$$U_1 = \frac{U_2 - F}{\operatorname{ch} \beta l} + F. \quad (11)$$

Заметим также, что результирующее магнитное напряжение U_0 , которое непосредственно определяет величину поперечного магнитного потока Φ_0 , а следовательно, и магнитной индукции в воздушном зазоре B_0 , может быть представлено как падение магнитного напряжения на внутреннем сопротивлении эквивалентного генератора.

Возвращаясь к формулам (6), отметим, что так как магнитный поток в нагрузке $\Phi_2 > 0$ и $\operatorname{cth} \beta l > 1$, то прямая (падающая) волна магнитного потока, распространяющаяся от конца линии к ее началу, всегда положительная, а обратная (отраженная) волна магнитного потока, распространяющаяся от начала линии к ее концу, всегда отрицательная. Учитывая соотношение (5) и то, что $\operatorname{th} \beta l < 1$, можно утверждать, что как прямая, так и обратная волна U_0 всегда отрицательны.

На основании изложенного можно начертить картину распределения продольного магнитного потока Φ и магнитного напряжения U_0 вдоль линии. Прямые волны снабжены индексом φ , обратные — индексом ψ (рис. 4 и 5). Так как $U = U_0 + F$, то кривые U_0 одновременно являются кривыми U по отношению к дополнительной оси абсцисс, которая проходит на величину F ниже основной оси абсцисс. Эта дополнительная ось изображена пунктиром.

Из полученных кривых видно, что продольный магнитный поток в линии возрастает от ее начала к концу, достигая максимума на нагрузке, а напряжение, напротив, падает от начала линии к концу и на нагрузке достигает минимума. Величина же U_0 по абсолютной величине возрастает на всем протяжении от начала линии до конца. Таково же будет и распределение вдоль линии поперечных магнитных потоков Φ_0 и магнитной индукции в воздушном зазоре B_0 . Соответствующая кривая (без учета знака минус) для обеих половин магни-

топровода изображена на рис. 6. Она представляет собой цепную линию.

В самом деле, подставляя в первое из уравнений (3) значение Φ_2 из (4), получим:

$$U_0 = U'_{02} (\operatorname{ch} \beta x - \operatorname{th} \beta x \cdot \operatorname{sh} \beta x) = U'_{02} \frac{\operatorname{ch} \beta l \cdot \operatorname{ch} \beta x - \operatorname{sh} \beta l \cdot \operatorname{sh} \beta x}{\operatorname{ch} \beta l} = \\ = \frac{U'_{02}}{\operatorname{ch} \beta l} \operatorname{ch} \beta(l-x) = U'_{01} \operatorname{ch} \beta(l-x) - U'_{01} \operatorname{ch} \beta x',$$

где U'_{01} — значение магнитного напряжения U'_0 в начале линии; $x' = l - x$ — расстояние данной точки от начала линии.

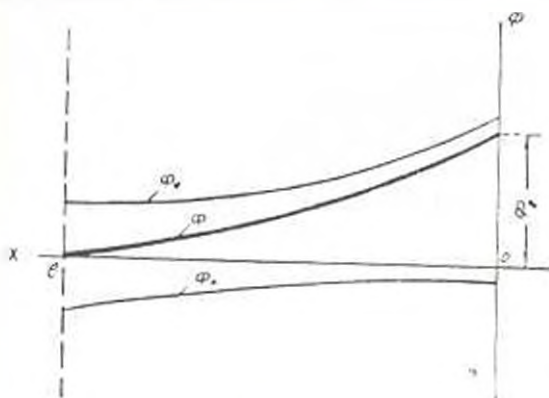


Рис. 4.

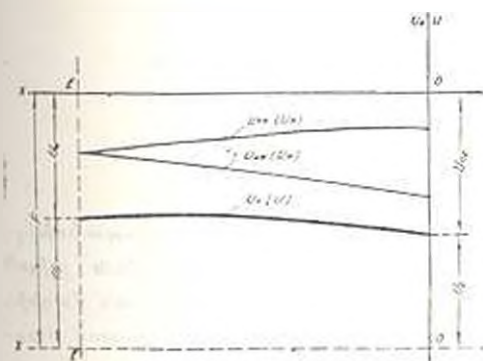


Рис. 5.

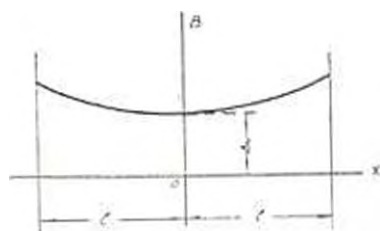


Рис. 6.

Так как поперечный магнитный поток на единицу длины линии Φ_0 и магнитная индукция в воздушном зазоре магнитопровода B_0 пропорциональны U_0 , то будем иметь:

$$\Phi_0 = \Phi_{01} \operatorname{ch} \beta x; \quad B_0 = B_{01} \operatorname{ch} \beta x. \quad (12)$$

Экспериментальная проверка выражения (12), произведенная при помощи теслаамперметра типа Ф4354/1, показала достоверность полученных результатов.

Технические характеристики исследуемого ЛМП, применяемого в качестве преобразующего или исполнительного элемента в устройствах автоматики, будут зависеть от выведенного соотношения (12), которое определяет точность установления подвижной катушки по отметкам шкалы прибора.

Описанный в статье ЛМП имеет по сравнению с ныне существующими исполнительными элементами а 5 раз больше быстродействие (0,5 с вместо 2,5 с), повышенную точность и надежность. На основе такого ЛМП создан автокомпенсатор, защищенный авторским свидетельством [7].

Выводы

1. В статье исследована однородная магнитная линия с распределенными параметрами и с постоянной поперечной намагничивающей силой, равномерно распределенной вдоль всей линии. Найдены законы распределения вдоль такой линии продольных и поперечных магнитных потоков, разности скалярных магнитных потенциалов и магнитной индукции в воздушном зазоре. Последняя распределяется вдоль магнитопровода по закону цепной линии.

2. Все полученные соотношения могут быть соответственно перенесены на электрическую линию с распределенными параметрами и с постоянной поперечной э.д.с.

Поступило 4.11.1976

Ս. Ա. ՍԱԳԱՐՅԱՆ, Վ. Ա. ՍԱՐԱԺՅԵՎ

ԿԵՍՏՆԻ, ԼՄՊ-ԿԵՆՏՐԱԼԻԿԵՏՐԱՎԱՆ ԿԵՐՊԱՓՈՒԿՆԵՐԵՐԻ ՏՆՈՒԹՅԱՆ ԾՈՒՐԶԸ

Ա Վ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Ընդամենը քննարկված են զծային մագնիսակլեկտրական կերպափոխիչների մագնիսական շղթայի տեսության որոշ հարցեր: Մագնիսական շղթան դիտված է որպես համասարաչափ բաշխված հաստատուն լայնական մագնիսաշարժ ուժով համասուն դիմ, սրն ստեղծվում է շառավղային կերպով մագնիսաղյված օղակածն հաստատուն մագնիսներին:

Գտնված են լայնական ու երկաշնական մագնիսական հասրերի և օղային բացակում մագնիսական ինդուկցայի բաշխման օրենքները, ինչպես նաև սկալյար մագնիսական պոտենցիալների աարրերությունը, արատհալված հիպերբոլիկ ֆունկցիաներով:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Сафарян А. А., Тер-Мартirosян М. Г., Хойжаияц Ю. М., Таталян Р. С. Автоматические компенсационные приборы с линейным исполнительным двигателем. «Приборы и системы управления», № 4, 1975.

2. Куликовский Л. Ф., Зарипов М. Ф. Индуктивные преобразователи перемещения с распределенными параметрами. «Энергия», М., 1966.
3. Зарипов М. Ф. Преобразователи с распределенными параметрами М., «Энергия», 1969.
4. Белый М. И. Электромагнитные преобразователи с распределенными параметрами. Ульяновск, 1968.
5. Нейман Л. Р., Демирчян К. С. Теоретические основы электротехники. Часть II. М.—Л., «Энергия», 1966.
6. Зевеке Г. В., Нонкин П. А., Нетушил А. В., Страхов С. В. Основы теории цепей. М.—Л., «Энергия», 1965.
7. Сафарян А. А., Тер-Миргиросян М. Г., Арутюнян Р. М., Акопян П. С., Ходжа-лиев Ю. М. Автоматический компенсатор. Авт. свид., кл. G01g 17/06, № 5169b2 «Бюллетень открытий и изобретений», № 21, 1976, стр. 152.

ЭНЕРГЕТИКА

Ю. Г. ГРИГОРЬЯН, К. В. ГАСПАРЯН, А. Ф. ДЬЯКОВ

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СУТОЧНЫХ ГРАФИКОВ НАГРУЗОК
 ЭНЕРГОСИСТЕМ ПРИМЕНЕНИЕМ ОПЕРАТОРА
 ПРЕДСКАЗАНИЯ

В связи с непрерывным ростом производства и потребления электроэнергия важное значение приобретает прогнозирование нагрузок отдельных электростанций и целых энергетических систем. Такие прогнозы позволяют избежать потерь и более рационально распределять энергию среди потребителей. Предсказание потребления электроэнергии дает возможность упорядочить работу электростанций и создает условия для безаварийной работы сетей электроснабжения.

В настоящей работе применяется один из алгоритмов предсказания для прогнозирования суточных нагрузок энергосистем. Случайными факторами, влияющими на точность прогнозирования, являются метеорологические условия и коэффициенты годового прироста нагрузок, однако эти факторы в работе не учитываются.

Постановка задачи и описание алгоритма прогнозирования. Задача прогнозирования нагрузок ставится в следующем виде: зная нагрузки энергосистемы за какие-то n последовательных дней определить нагрузки в следующий $(n+1)$ -ый день. Ввиду того, что в отдельные дни недели и часы нагрузки энергосистемы претерпевают изменения, которые описывается стационарной случайной функцией $x(t)$ (представляющей собой стационарную последовательность значений), будущие значения нагрузок определим, пользуясь оператором предсказания Колмогорова [1]

$$g[x(t)] = r_0 + \sum_{i=1}^n r_{0i} x_{ni} + \sum_{n=1}^n \sum_{a=1}^n r_{nna} x_{na} x_{ni} + \dots + \sum_{a=1}^n \sum_{a-1=1}^n \sum_{a-2=1}^n r_{naa-1a-2} x_{na} x_{a-1a-2} x_{ni} + \dots \quad (1)$$

где $g[x(t)]$ — будущее предсказываемое значение функции; x_{ni} — значения этой функции в прошлом ($i = 1, \dots, n$); r_{ni} — корреляционные коэффициенты, определяющие влияние (вес) каждого члена формулы на предсказываемое значение функции; n — длина предистории.

Для предсказания будущего значения функции по трем данным о ходе изменения этой функции в прошлом получается формула:

$$g[x(t)] = r_0 + \sum_{n_1=2}^3 r_{n_1} x_{n_1} + \sum_{n_2=2}^3 \sum_{n_1=1}^3 r_{n_1 n_2} x_{n_1} x_{n_2} + \\ + \sum_{n_1=1}^3 \sum_{n_2=1}^3 \sum_{n_3=1}^3 r_{n_1 n_2 n_3} x_{n_1} x_{n_2} x_{n_3}. \quad (2)$$

В формуле (2) возьмем члены, не содержащие вторых и третьих степеней x_{n_i} , т. к. они существенно не улучшают предсказание. В результате получается выражение (3), по которому и будет вестись прогнозирование:

$$g[x(t)] = r_0 + r_1 x_1 + r_2 x_2 + r_3 x_3 + r_4 x_1 x_2 + r_5 x_2 x_3 + \\ + r_6 x_1 x_3 + r_7 x_1 x_2 x_3. \quad (3)$$

Здесь $g[x(t)]$ — значение функции $x(t)$ в будущий момент времени; x_1, x_2, x_3 — значения функции $x(t)$ в предшествующие моменты времени;

r_i — коэффициенты влияния (веса) каждого члена.

Введя обозначения:

$$x_1 = x_1; \quad x_2 = x_2; \quad x_3 = x_3; \quad x_1 x_2 = x_4; \quad x_2 x_3 = x_5; \quad x_1 x_3 = x_6; \quad x_1 x_2 x_3 = x_7. \quad (4)$$

уравнение предсказания (3) принимает линейный вид:

$$g = r_0 + \sum_{i=1}^7 r_i x_i. \quad (5)$$

Среднеквадратичная ошибка предсказания определяется выражением:

$$\Delta = \bar{\varepsilon}^2 = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (g_0^{(k)} - g^{(k)})^2, \quad (6)$$

где $g_0^{(k)} = r_0 + \sum_{i=1}^7 r_i x_i^{(k)}$; $N = n - 3$; $x_i^{(k)}$, $k = 1, \dots, N$ — обучающая последовательность (предыстория);

$$\left. \begin{aligned} g_1^{(k)} &= x_1^{(k+3)}, \\ x_2^{(k)} &= x_1^{(k+1)}, \\ x_3^{(k)} &= x_1^{(k+2)}, \\ x_4^{(k)} &= x_1^{(k)} \cdot x_1^{(k+1)}, \\ x_5^{(k)} &= x_1^{(k-1)} \cdot x_1^{(k+2)}, \\ x_6^{(k)} &= x_1^{(k)} \cdot x_1^{(k+2)}, \\ x_7^{(k)} &= x_1^{(k)} \cdot x_1^{(k+1)} \cdot x_1^{(k+2)}. \end{aligned} \right\} k = 1, \dots, N$$

Ввиду положительной определенности квадратичной формы (6), минимум ошибки всегда существует и он единственен. Множественно-корреляционный (регрессионный) анализ позволяет выбрать коэффициенты влияния так, чтобы получить минимум среднеквадратичной ошибки предсказания.

Чтобы определить минимум среднеквадратичной ошибки находятся значения восьми частных производных и приравниваются к нулю:

$$\frac{\partial \Delta}{\partial r_i} = 0 \quad (i = 0, 1, \dots, 7)$$

или

$$\sum_{k=1}^N r_i \overline{x_i^{(k)} x_j^{(k)}} - \overline{x_i x_j} \quad (j = 0, 1, \dots, 7)$$

Эти уравнения являются основными расчетными уравнениями («нормальными уравнениями регрессии»).

В развернутом виде получается:

$$\left. \begin{aligned} r_0 + r_1 \overline{x_1} + r_2 \overline{x_2} + \dots + r_7 \overline{x_7} &= \overline{g_0} \\ r_0 \overline{x_1} + r_1 \overline{x_1^2} + r_2 \overline{x_2 x_1} + \dots + r_7 \overline{x_1 x_7} &= \overline{g_0 x_1} \\ r_0 \overline{x_2} + r_1 \overline{x_1 x_2} + r_2 \overline{x_2^2} + \dots + r_7 \overline{x_2 x_7} &= \overline{g_0 x_2} \\ \dots &\dots \\ r_0 \overline{x_7} + r_1 \overline{x_1 x_7} + r_2 \overline{x_2 x_7} + \dots + r_7 \overline{x_7^2} &= \overline{g_0 x_7} \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

где

$$\overline{x_i} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N x_i^{(k)}; \quad x_0 = 1;$$

$$\overline{x_i x_j} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N x_i^{(k)} x_j^{(k)};$$

$$\overline{g_0} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N g_0^{(k)};$$

$$\overline{g_0 x_i} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N g_0^{(k)} x_i^{(k)}.$$

Решение системы (8) для обучающей последовательности $x_i^{(k)}$ ($k = 1, 2, \dots, n$) даст некоторые значения r_i^0 ($i = 0, 1, \dots, 7$) корреляционных коэффициентов, которые при подстановке в (5) и дают требуемый оператор предсказания

$$g = r_0^0 + \sum_{i=1}^7 r_i^0 x_i \quad (9)$$

или, при подстановке в (3), оператор предсказания принимает вид:

$$g = r_0^0 + r_1^0 x_1 + r_2^0 x_2 + r_3^0 x_3 + r_4^0 x_1 x_2 + r_5^0 x_2 x_3 + r_6^0 x_1 x_3 + r_7^0 x_1 x_2 x_3. \quad (10)$$

Пусть теперь имеются три следующих друг за другом значения функции $x(t)$: x_1^0 , x_2^0 , x_3^0 , тогда, согласно (10), получается предсказываемое значение

$$\bar{x}_4^0 = r_0^0 + r_1^0 x_1^0 + \dots + r_7^0 x_1^0 x_2^0 x_3^0. \quad (11)$$

Даны нагрузки $\{P_j^i(k)\}$ для фиксированного k ,

где $k = 1, 2, \dots, 7$ — указывает на день недели;

$j = 1, 2, \dots, 24$ — указывает на час;

$i = 1, 2, \dots, n$ — порядковый номер нагрузок;

n — длина предыстории.

Требуется предсказать нагрузки $\bar{P}_{n+1}^j(k)$ следующего дня.

Выражение (3) для фиксированного k дает:

$$\begin{aligned} \bar{P}_{n+1}^j(k) = & r_0^j(k) + P_{n-2}^j(k) \cdot r_1^j(k) + P_{n-1}^j(k) \cdot r_2^j(k) + P_n^j(k) \cdot r_3^j(k) + \\ & + P_{n-2}^j(k) P_{n-1}^j(k) r_4^j(k) + P_{n-1}^j(k) P_n^j(k) r_5^j(k) + P_{n-2}^j(k) P_n^j(k) r_6^j(k) + \\ & + P_{n-2}^j(k) \cdot P_{n-1}^j(k) P_n^j(k) \cdot r_7^j(k), \end{aligned} \quad (12)$$

где $j = 1, 2, \dots, 24$,

т. е. по трем данным значениям нагрузок $P_{n-2}^j(k)$, $P_{n-1}^j(k)$, $P_n^j(k)$ предсказано непосредственно следующее значение нагрузки $\bar{P}_{n+1}^j(k)$ (k и j — фиксированы). Таким образом, осталось определить корреляционные коэффициенты $r_m^j(k)$, где $m = 0, 1, \dots, 7$. Для этого применяется вышеизложенный алгоритм прогнозирования.

Учитывая тот факт, что число уравнений системы (8) для однозначного решения не может быть меньше числа неизвестных, получается, что длина предыстории n должна быть не меньше 11 ($n \geq 11$) ввиду того, что система условных уравнений, из которых потом получается система нормальных уравнений (8), составляется по четырем последовательным данным. Так что для получения 8 нормальных уравнений нужно иметь минимум 11 значений нагрузок. В дальнейшем берется именно это минимальное число нагрузок, т. к. взяв их больше 11, эти нагрузки будут уже заметно отличаться друг от друга ввиду того, что значения нагрузок энергосистем существенно зависят от времени года, а среди них, наверняка, будут нагрузки из двух соседних эрмен года, и прогноз будет недостаточно точным.

Теперь рассмотрим подробнее принцип получения системы нормальных уравнений из системы условных уравнений.

Для получения системы условных уравнений берутся по 4 последовательных значения значения нагрузок:

$$P_{i-3}^j, P_{i-2}^j, P_{i-1}^j, P_{i+1}^j.$$

Далее берется оператор предсказания, где в качестве предсказываемого значения $\overline{P}_{i-1}^j(k)$ взято действительное значение нагрузки $P_{i-1}^j(k)$:

$$\begin{aligned} P_{i-1}^j(k) = r_0(k) + P_i^j(k) r_1(k) - P_{i-1}^j(k) r_2(k) + P_{i+2}^j(k) r_3(k) + \\ + P_i^j(k) P_{i+1}^j(k) r_4(k) + P_{i-1}^j(k) P_{i+2}^j(k) r_5(k) - P_i^j(k) P_{i+2}^j(k) r_6(k) + \\ + P_i^j(k) P_{i+1}^j(k) P_{i+2}^j(k) r_7(k); \end{aligned} \quad (13)$$

j — фиксировано; $i = 1, 2, \dots, 8$.

Таким образом, получается система из 8 условных уравнений. По известному правилу построения нормальных уравнений Гаусса [1] каждое условное уравнение умножается на его переменную, а почленно суммирование дает систему из восьми нормальных уравнений для определения корреляционных коэффициентов $r_m(k)$ ($m = 0, 1, \dots, 7$). В частности, для получения m -го нормального уравнения обе стороны каждого условного уравнения умножаются на свои коэффициенты при $r_{m-1}(k)$, и почленно складываются левые и правые части. Система нормальных уравнений имеет вид*:

$$\left. \begin{aligned} r_0 + r_1 P_1 - r_2 \overline{P}_2 + \dots + r_7 \overline{P}_7 &= \overline{P}_0; \\ -r_1 \overline{P}_1 &= r_1 \overline{P}_1^2 - r_2 P_2 \overline{P}_1 + \dots + r_7 \overline{P}_1 \overline{P}_7 - \overline{P}_0 \overline{P}_1; \\ r_2 \overline{P}_2 &= r_2 \overline{P}_1 \overline{P}_2 - r_3 \overline{P}_2^2 + \dots + r_7 \overline{P}_2 \overline{P}_7 = \overline{P}_0 \overline{P}_2; \\ &\dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \\ r_7 \overline{P}_7 &= r_7 \overline{P}_1 \overline{P}_7 - r_6 P_8 \overline{P}_7 + \dots = \overline{P}_0 \overline{P}_7 \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

где

$$\begin{aligned} P_i^{(k)} &= P_i^j(k); \quad (i = 1, 2, \dots, 11); \\ P_1^{(k)} &= P_{1+2}^{(k)}; \\ P_2^{(k)} &= P_{2+2}^{(k)}; \\ P_3^{(k)} &= P_3^{(k)} P_{3+3}^{(k)}; \\ P_4^{(k)} &= P_{3+1}^{(k)} P_{3+2}^{(k)}; \\ P_5^{(k)} &= P_3^{(k)} P_{3-2}^{(k)}; \\ P_6^{(k)} &= P_3^{(k)} P_{3-1}^{(k)} P_{3+2}^{(k)}; \\ P_7^{(k)} &= P_3^{(k)}; \\ \overline{P}_k &= \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 P_i^{(k)}; \quad (k = 0, \dots, 7) \\ \overline{P}_k P_j &= \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 P_i^{(k)} P_j^{(i)}; \quad (j = 1, 2, \dots, 7) \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} P_i^{(k)} \\ P_1^{(k)} \\ P_2^{(k)} \\ P_3^{(k)} \\ P_4^{(k)} \\ P_5^{(k)} \\ P_6^{(k)} \\ P_7^{(k)} \\ \overline{P}_k \\ \overline{P}_k P_j \end{aligned}} \right\} i = 1, 2, \dots, 8$$

* Чтобы не умножать формулы, индексом k и j опускаются, но надо помнить, что k — фиксировано с самого начала, а $j = 1, \dots, 24$, т. е. для каждого часа j получается своя нормальная система уравнений.

Решение системы (14) дает последовательность корреляционных коэффициентов $r_0^0, r_1^0, \dots, r_{T-1}^0$, которые при подстановке в (12) и дают требуемый оператор предсказания.

Для рабочих дней указанный метод позволяет получить предсказание со среднеквадратичным отклонением в пиках $\varepsilon = 1 \text{ э}^2 = 10-15$.

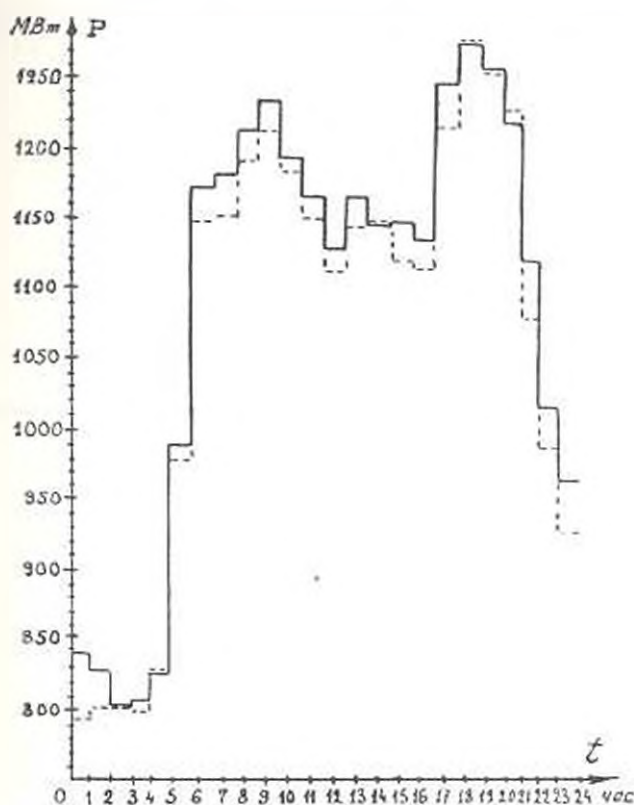


Рис. 1. Графики действительных и прогнозируемых нагрузок на 25 февраля 1974 г. для РЭУ Ставропольэнерго: — действительный график; --- прогнозируемый график.

В приложении дается типовый пример, решенный по предлагаемому методу на ЭВМ «Урал-14Д» на языке «Фортран-4», и построен прогнозируемый суточный график нагрузок, который приведен на рис. 1 (для сравнения приведен также наблюдаемый в действительности график нагрузок). Анализ совместного графика показывает, что точность прогнозирования выше для максимальных нагрузок дня.

З а к л ю ч е н и е

1. Результаты расчетов, выполненных для РЭУ Ставропольэнерго, показали, что наиболее точно прогнозируются максимальные нагрузки дня (ошибка порядка 1%), что обычно представляет наибольший интерес.

2. Точность прогнозирования можно улучшить, учитывая метеорологические условия и коэффициент годового прироста нагрузок.

3. Данная работа успешно внедряется в РЭУ Ставропольэнерго.

П Р И Л О Ж Е Н И Е

Программа PROGNOZ

Назначение. Предсказание суточных нагрузок.

Описание параметров

- JN=24 — число интервалов разбиения суток.
 MN=11 — число нагрузок предшествующих прогнозируемой.
 Y — массив нагрузок предшествующих прогнозируемой.
 LA — массив дат дней недели, для которых ведется прогноз.
 LB — массив наименований месяцев, для которых ведется прогноз.
 A — матрица левой части системы нормальных уравнений.
 B — массив свободных членов системы нормальных уравнений.
 X — массив неизвестных членов системы нормальных уравнений.
 UL — рабочий массив, используемый при решении системы нормальных уравнений.
 YX — матрица предшествующих нагрузок, состоящая из 11 строк, каждая из которых содержит 24 нагрузки соответствующего дня.
 GXT — матрица прогнозируемых нагрузок, состоящая из 8 строк, каждая из которых содержит 24 прогнозируемые нагрузки соответствующего дня.

```

SUBROUTINE APQST (AR, IP, IQ, IS, IT, X, N1)
  DIMENSION X (100)
  AR = 0; DO 11 = 1, N1
1  AR = AR + X (1) * * IP * X (1 - 1) * * IQ * X (1 - 2) * * IS * X (1 - 3) * * IT
  RETURN; END
c
      1
  DIMENSION A (8, 8), UL (8, 8), B (8), X (8), LA (8), LB (8),
  *Y (100), YX (11, 24), GXT (8, 24)
  COMMON IPS (45)
10  FORMAT (I3)
11  FORMAT (5F13,6)
16  FORMAT (40X, 'ПОНЕДЕЛЬНИК')
  WRITE 16
f
      2
  READ 10, JN, READ 10, MN
  N = MN - 3
  DO 5IK = 1, JN
  READ 11, (Y (I), I = 1, MN)
c
      3
  A (1, 1) = N
  CALL APQST (AT, 1, 0, 0, 0, Y, N)
  A (1, 2) = AT; A (2, 1) = AT
  CALL APQST (AT, 0, 1, 0, 0, Y, N)
  A (1, 3) = AT; A (3, 1) = AT
  CALL APQST (AT, 0, 0, 1, 0, Y, N)
  A (1, 4) = AT; A (4, 1) = AT
  CALL APQST (AT, 1, 1, 0, 0, Y, N)
  A (1, 5) = AT; A (2, 3) = AT; A (3, 2) = AT; A (5, 1) = AT
  CALL APOST (AT, 0, 1, 1, 0, Y, N)

```

```

A (1, 6)=AT; A (3, 4)=AT; A (4, 3)=AT; A (6, 1)=AT
CALL APQST (AT, 1, 0, 1, 0, Y, N)
A (1, 7)=AT; A (2, 4)=AT; A (4, 2)=AT; A (7, 1)=AT
CALL APQST (AT, 1, 1, 1, 0, Y, N)
A (1, 8)=AT; A (2, 5)=AT; A (3, 7)=AT; A (4, 5)=AT
A (5, 4)=AT; A (6, 2)=AT; A (7, 3)=AT; A (8, 1)=AT
CALL APQST (AT, 2, 0, 0, 0, Y, N)
A (2, 2)=AT
CALL APQST (AT, 2, 1, 0, 0, Y, N)
A (2, 5)=AT; A (5, 2)=AT
CALL APQST (AT, 2, 0, 1, 0, Y, N)
A (2, 7)=AT; A (7, 2)=AT
CALL APQST (AT, 2, 1, 1, 0, Y, N)
A (2, 8)=AT; A (5, 7)=AT; A (7, 5)=AT; A (8, 2)=AT
CALL APQST (AT, 0, 2, 0, 0, Y, N)
A (3, 3)=AT
CALL APQST (AT, 1, 2, 0, 0, Y, N)
A (3, 5)=AT; A (5, 3)=AT
CALL APQST (AT, 0, 2, 1, 0, Y, N)
A (3, 6)=AT; A (6, 3)=AT
CALL APQST (AT, 1, 2, 1, 0, Y, N)
A (3, 8)=AT; A (5, 6)=AT; A (6, 5)=AT; A (8, 3)=AT
CALL APQST (AT, 0, 0, 2, 0, Y, N)
A (4, 4)=AT
CALL APQST (AT, 0, 1, 2, 0, Y, N)
A (4, 6)=AT; A (6, 4)=AT
CALL APQST (AT, 1, 0, 2, 0, Y, N)
A (4, 7)=AT; A (7, 4)=AT
CALL APQST (AT, 1, 1, 2, 0, Y, N)
A (4, 8)=AT; A (6, 7)=AT; A (7, 6)=AT; A (8, 4)=AT
CALL APQST (AT, 0, 0, 0, 1, Y, N)
B (1)=AT
CALL APQST (AT, 1, 0, 0, 1, Y, N)
B (2)=AT
CALL APQST (AT, 0, 1, 0, 1, Y, N)
B (3)=AT
CALL APQST (AT, 0, 0, 1, 1, Y, N)
B (4)=AT
CALL APQST (AT, 1, 1, 0, 1, Y, N)
B (5)=AT
CALL APQST (AT, 0, 1, 1, 1, Y, N)
B (6)=AT
CALL APQST (AT, 1, 0, 1, 1, Y, N)
B (7)=AT
CALL APQST (AT, 1, 1, 1, 1, Y, N)
B (8)=AT
4
NN=8
CALL DECOMPOSE (NN, A, U)
CALL SOLVE (NN, U, B, X)
5
DO 6: = 1, N
Y1=Y (J)
Y2=Y (J + 1)
Y3=Y (J + 2)

```

```

6  GXT(J, JK)=X(1) + X(2) * Y1 + X(3) * Y2 + X(4) * Y3
  + X(5) * Y1 * Y2 + X(6) * Y2 * Y3 + X(7) * Y1 * Y3 + X(8) * Y1 * Y2 * Y3
  DO 7, I = 1, MN
7  YX(J1, JK) = Y(J1)
5  CONTINUE
20 FORMAT (12A3)
21 FORMAT (20I2)
22 FORMAT (I2, A3, I2, ' - ЧАС', 3F8.1, 5X, 'Д. Н.', F6.1, 3X, 'П. Н.', F6.1)
30 FORMAT (//)
с
6
  READ 21, LA; READ 20, LB
  DO 23, J=1, N
  WRITE 30
  DO 23, IQ=1, JN
  JP=JQ
23 WRITE 22, LA(J), LB(J), JR, YX(J, JQ), YX(J-1, JQ),
  *YX(J+2, JQ), YX(J+3, JQ), GXT(J, JQ)
  STOP; END

```

Требуемые функции и подпрограммы

1. Подпрограмма APQST

Назначение. Нахождение коэффициентов системы нормальных уравнений.

Обращение

CALL APQST (AR, IP, IQ, IS, IT, X, NI)

Описание параметров

X — массив нагрузок;

IP, IQ, IS, IT — показатели степеней при нахождении коэффициентов системы нормальных уравнений, принимающие значения 0, 1, 2.

NI — MN — 3.

2. Подпрограмма SOLVE (библиотечная подпрограмма)

Обращение

CALL DECOMPOSE (NN, A, U)

CALL SOLVE (NN, UL, B, X)

NN — порядок системы.

X — массив неизвестных.

Метод:

Прогнозирование проводится последовательно для каждого часа.

Перевод комментариев в текст

1. Начало программы.
2. Ввод данных.
3. Расчет коэффициентов.
4. Решение системы.
5. Определение прогнозируемых величин.
6. Ввод информации для печати и печать.

ՅՈՒ. Գ. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ, Գ. Վ. ԿԼԱՊԱՐՅԱՆ, Ա. Ն. ԳՅԱՎՈՎ

**ԷՆԵՐԳԱՀԱՄԱԿԱՐԳՆԵՐԻ ԲԵՌՆՎԱԾՔՆԵՐԻ ՕՐԱԿԱՆ ԳՐԱՆԻՍՆԵՐԻ
ՆԱՆԱԳՈՒՇԱԿՈՒՄԸ ԿԱՆԽԱԳՈՒՇԱԿՄԱՆ ՕՊԵՐԱՏՈՐԻ
ԿԻՐԱՌՄԱՆ ՀԻՄԱՆ ՎՐԱ**

Ա մ փ ո փ ո ս մ

Հողվածում կիրառվում է էներգահամակարգերի բեռնվածքների օրական գրաֆիկների կանխագուշակման ալգորիթմներից մեկը: Այդ ալգորիթմի օգտագործումը հիմնավորված է նրանով, որ շաբաթվա նույնատեսն օրերին և ժամերին էներգահամակարգերի բեռնվածքները փոփոխվում են բնդհանուր օրինաչափությամբ (իրենցից ներկայացնում են արժեքների ստացիոնար հաջորդականություն) և Կախված շաբաթվա օրից և ժամից արվում է բեռերի հաջորդականությունը:

Ունենալով նախորդ օրերի բեռնվածքների արժեքները, հողվածում շաբաղրված ալգորիթմը նետրավորություն է տալիս նախագուշակել անմիջապես հաջորդ օրվա բեռնվածքները:

Տվյալ ալգորիթմով կազմված են ծրագրեր «Նախի-2» և «Ուրալ-14» և ԼՂՏ համար («Ճորտրան-1» լեզվով):

Ստավրապոլի ՇէՎ համար կատարված հաշվարկների արդյունքները ցույց տվեցին, որ առավել ճշգրիտ նախագուշակվում են օրվա մաքսիմալ բեռնվածքները (սխալի կարգը 1%), իսկ բնդհանրապես, օրվա մեծագրությամբ սխալի կարգը ստացվել է մինչև 5%: Հաշվի առնելով էղանակի պայմանները և էներգահամակարգի բեռնվածքների տարեկան աճի դորժակիցը, կարելի է բավարարել նախագուշակման ճշտությունը:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Новахненко А. Г., Ланс В. Г. Прееказание случайных процессов. «Наукова думка», Киев, 1971.
2. Фармер Э. Д. Метод предсказания нестационарных процессов и его применение к задаче оценки нагрузки. Тр. II междунар. конгресса ИФАК, М., 1963.

ЭНЕРГЕТИКА

А. А. АРУТКНЯН

ФОРМИРОВАНИЕ ГИБРИДНОЙ МАТРИЦЫ НА ЦВМ

Как известно из теории электрических цепей, уравнения установившегося режима электрической системы основаны на матрицах Y или Z :

$$Y\dot{U} = \dot{I}; \quad (1)$$

$$Y\dot{I} = \dot{U}. \quad (2)$$

Из этих уравнений, путем преобразований, можно получить по два уравнения с гибридными матрицами (ГМ) [1]. Под ГМ понимается смешанное использование Y и Z . Одно из таких уравнений, полученное из (1), имеет следующий вид:

$$\left[\begin{array}{c} Y_{ik}^{-1} \\ Y_{sk}Y_{ik}^{-1} \end{array} \right] \left[\begin{array}{c} -Y_{ik}^{-1}Y_{im} \\ Y_{sm} - Y_{sk}Y_{ik}^{-1}Y_{im} \end{array} \right] \cdot \left[\begin{array}{c} \dot{I}_k \\ \dot{U}_m \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} \dot{U}_i \\ \dot{I}_s \end{array} \right]. \quad (3)$$

Таким способом, при расчетах установившихся режимов электрических систем на базе ГМ, одновременно можно воспользоваться преимуществами матриц Y и Z [2].

В настоящей статье приводятся алгоритм и программа формирования ГМ на ЦВМ открытых и закрытых схем замещения электрических сетей.

Постановка задачи. Задаются: параметры схемы замещения в форме

$$Z_{mk} = r_{mk} + jx_{mk}$$

где m, k — индексы узлов, характеризующие ветви схемы замещения, $m \in N_0, k \in N_0$;

N_0 — множество всех узлов схемы.

Требуется: на основе матрицы Y формировать ГМ, входящую в (3).

Разделим множество N_0 всех узлов схемы на подмножества Γ, Π, Π, \dots , т. е.:

$$\Gamma \subset N_0; \quad \Pi \subset N_0; \quad \Pi \subset N_0, \quad (4)$$

где Γ, Π, Π — соответственно подмножества генераторных, нагрузочных и сетевых узлов схемы.

Число элементов этих подмножества соответственно обозначим латинскими буквами g , n , p . Межсистемные связи могут войти в подмножество Γ или H .

При открытой (исходной) схеме условия (4) соблюдаются. В случае закрытой схемы $\Pi = \emptyset$, так как закрытая схема (многополюсник) получается путем эквивалентного преобразования исходной схемы, в процессе которого исключаются узлы, входящие в подмножество Π .

Вопросы формирования (и программной реализации) исходной матрицы Y , а также ее эквивалентирование рассмотрены в [4, 5], поэтому принимается, что матрица Y сформирована.

Для решения поставленной задачи разделим матрицу Y на четыре подматрицы [1, 2]:

$$\left[\begin{array}{c|c} Y_{\Gamma\Gamma} & Y_{\Gamma\Pi} \\ \hline Y_{\Pi\Gamma} & Y_{\Pi\Pi} \end{array} \right] \quad (5)$$

где $\Gamma, k = \overline{1, g}$; $\Pi, s, m = \overline{1, n-p}$ (при закрытой схеме $n = 0$).

В общем случае деление Y на блоки может быть произвольным. Таким образом, формирование ГМ сводится к формированию отдельных ее подматриц.

Формирование IV подматрицы ГМ осуществляется непосредственно после формирования матрицы Y и сводится к эквивалентированию (для закрытых схем уже повторно) матрицы Y , исключив при этом узлы, входящие в множество Γ . Для достижения этой цели в программе эквивалентирования [4] введены изменения, позволяющие исключить любой узел схемы замещения.

Формирование I подматрицы ГМ связано с обращением комплексной матрицы (КМ)

$$Y_{\Gamma\Gamma} = G_{\Gamma\Gamma} - jB_{\Gamma\Gamma}.$$

Для использования стандартных подпрограмм из библиотеки ЦВМ при обращении КМ необходимо разделить действительные и мнимые части [7, 8]. При таком разделе [6], принимая

$$Y^{-1} = Z, \quad Z = R + jX,$$

действительные и мнимые части обратной КМ определяются выражениями:

$$R = G + BG^{-1}B; \quad X = RBG^{-1}.$$

Однако, как справедливо указывается в [3], Y^{-1} может быть вычислен при условии существования G^{-1} и $[G + BG^{-1}B]^{-1}$. Доказывается лемма, согласно которой КМ порядка $g \times g$ обратима, если только обратима матрица A $2g \times 2g$:

$$A = \left[\begin{array}{c|c} G & -B \\ \hline B & G \end{array} \right] \quad (6)$$

Данный алгоритм обращения КМ дает возможность при разовом обращении формировать I подматрицу ГМ. Для этой цели использована подпрограмма решения системы алгебраических уравнений методом Жордана-Гаусса с соответствующими изменениями, необходимыми при обращении матриц.

Формирование II и III подматриц ГМ сводится к умножению матрицы $Z_{k, s}$ слева с обратным знаком на матрицу $Y_{m, s}$ и справа без изменения знака на $Y_{k, s}$; при этом последние две матрицы в программе представлены только с ненулевыми элементами. Такой алгоритм позволит решать системы с большими числами узлов.

Обозначим

$$Z_{k, s} Y_{m, s} = D_{k, m}; \quad Y_{k, s} Z_{k, s} = D_{k, k},$$

где $D_{k, m} = d_{k, m} + jd'_{k, m}$; $D_{k, k} = d_{k, k} + jd'_{k, k}$; $c, k = \overline{1, r}$; $s, m = \overline{r+1, n+r}$, можно определить выражения действительных и мнимых частей элементов матриц $D_{k, m}$ и $D_{k, k}$:

для II подматрицы

$$d'_{k, m} = -\sum_{j \in T} (c_{k, j} g_{j, m} + x_{k, j} b_{j, m}),$$

$$d_{k, m} = -\sum_{j \in T} (x_{k, j} g_{j, m} - c_{k, j} b_{j, m}),$$

для III подматрицы

$$d'_{k, k} = \sum_{j \in T} (g_{k, j} c_{j, k} - b_{k, j} x_{j, k}),$$

$$d_{k, k} = \sum_{j \in T} (g_{k, j} x_{j, k} - b_{k, j} c_{j, k}).$$

Поскольку $Y_{m, s}^T = Y_{k, s}$, то $Z_{k, s} Y_{m, s}^T = Y_{k, s} Z_{k, s}$, т. е. в данном случае

$$D_{k, m} = -D_{k, k}. \quad (7)$$

Таким образом, III подматрицу можно получить путем транспонирования II подматрицы с обратным знаком. Уравнение (3) с гибридной матрицей окончательно примет следующий вид:

$$\begin{bmatrix} c_{k, k} - jx_{k, k} & d_{k, m} + jd'_{k, m} \\ d'_{k, k} + jx_{k, k} & c_{k, m} - jb_{k, m} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_k \\ U_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U_k \\ I_s \end{bmatrix}. \quad (8)$$

Уравнения на базе ГМ дают возможность смешанного использования методов Гаусса-Зейделя (для подматрицы Z) и Ньютона-Рафсона (для подматрицы Y) в расчетах установившихся режимов электрических систем. При этом, учитывая (7), а также симметричность I и II подматриц, можно в памяти ЦВМ хранить только треугольную ГМ.

На основе изложенного алгоритма составлена программа на алгоритмическом языке ФОРТРАН-4, блок-схема которой приведена на рис. 1, где NZ — признак схемы. При $NZ = 0$ формируется ГМ открытой схемы, при $NZ \neq 0$ — закрытой схемы.

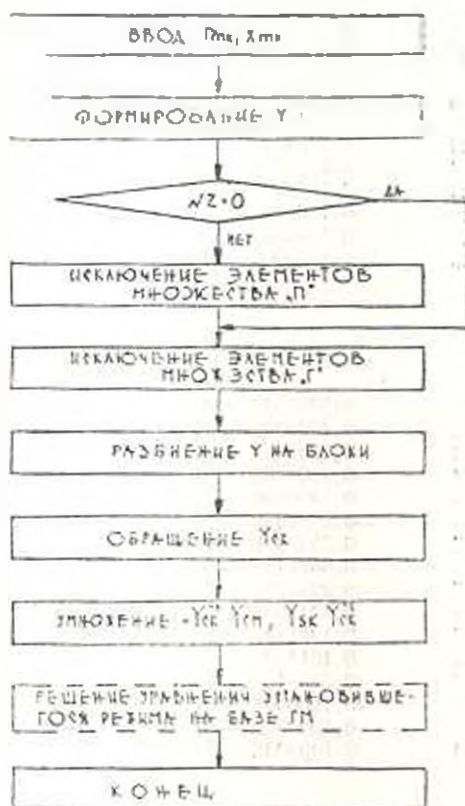


Рис. 1.

Ниже, в качестве примера, приводится расчет ГМ тестовой задачи АрмНИЭ $n = 28$. Время счета на ЦВМ «Урал-14Д» составляет 56 сек. ($E \pm 02 = 10^{-4}$).

Г М М А Т Р И Ц А

6	7	0,973551E - 00	0,310397E + 01
1	1	0,454000E + 00	0,100000E + 02
2	2	0,130000E + 01	0,170000E + 02
3	3	0,200000E + 01	0,957000E + 02
4	4	0,500000E - 00	0,150000E - 02
5	5	0,500000E - 00	0,160000E + 02
6	6	0,445804E - 01	0,279936E + 02
7	7	0,325333E + 01	0,293309E + 02
8	8	0,490000E + 00	0,140000E + 02
9	9	0,300000E + 01	0,620000E + 01
10	10	0,200000E - 00	0,500000E + 01

II ПОДМАТРИЦА

1	11	0,100000E + 01	0,278533E - 10
2	13	0,100000E + 01	-0,163709E - 10
3	17	0,100000E + 01	0,000000E 000
4	18	0,100000E + 01	-0,113687E - 12
5	19	0,100000E + 01	0,000000E 000
6	19	0,988136E - 01	0,408705E - 02
6	20	0,667745E + 00	0,131113E - 01
6	22	0,131699E - 00	0,936927E - 02
6	23	0,101742E + 00	-0,265676E - 01
7	19	0,553998E + 01	0,887606E - 02
7	20	0,229875E + 00	0,340230E - 01
7	22	0,128179E - 00	0,193506E - 01
7	23	0,586546E + 00	-0,622496E - 01
8	26	0,100000E + 01	-0,788987E - 10
9	27	0,100000E + 01	0,909495E - 12
10	28	0,100000E + 01	0,932232E - 11

III ПОДМАТРИЦА

11	1	-0,100000E - 01	-0,278533E - 10
13	2	-0,100000E + 01	0,163709E - 10
17	3	-0,100000E + 01	0,000000E 000
18	4	-0,100000E + 01	0,113687E - 12
19	5	-0,100000E + 01	0,000000E 000
19	6	-0,988136E - 01	-0,408705E - 02
19	7	-0,553998E - 01	-0,887606E - 02
20	6	0,667745E + 00	0,131113E - 01
20	7	0,229875E + 00	-0,340230E - 01
22	6	0,131699E + 00	-0,936927E - 02
22	7	-0,128179E - 00	-0,193506E - 01
23	6	-0,101742E + 00	0,265676E - 01
23	7	-0,586546E + 00	0,622496E - 01
26	8	-0,100000E + 01	0,788987E - 10
27	9	-0,100000E + 01	-0,909495E - 12
28	10	-0,100000E + 01	-0,932232E - 11

IV ПОДМАТРИЦА

11	11	0,409823E - 02	0,114625E - 01
12	12	0,104623E - 01	0,193632E - 01
13	13	0,105879E - 01	0,257698E - 01
14	14	0,510394E - 02	0,114328E - 01
15	15	0,156578E - 01	0,432825E - 01
16	16	0,248095E - 01	0,729102E - 01
17	17	0,116971E - 01	0,178415E - 01
18	18	0,391670E - 02	0,554169E - 01
19	19	0,165572E - 01	0,595638E - 01
20	20	0,506761E - 01	0,129480E - 00
21	21	0,296416E - 01	0,717162E - 01
22	22	0,845121E - 02	0,363545E - 01
23	23	0,847343E + 02	0,816277E - 01
24	24	0,152097E + 01	0,104945E - 00
25	25	0,142293E + 01	0,789623E - 01
26	26	0,657430E + 02	0,500683E - 01
27	27	0,117812E + 02	0,740894E - 02
28	28	0,208012E + 02	0,842932E - 02

IV ПОДМАТРИЦА (продолжение)

11	12	-0,316010E - 02	-0,783249E - 02
11	13	-0,517190E - 03	-0,467160E - 02
11	16	-0,274148E - 04	0,279479E - 03
11	18	-0,393520E - 03	-0,167893E - 02
12	13	-0,730219E - 02	0,115308E - 01
13	14	-0,199819E - 02	-0,432298E - 02
13	16	-0,237061E - 04	-0,742735E - 03
13	18	-0,740632E - 03	-0,450172E - 02
14	15	-0,340576E - 02	-0,710983E - 02
15	16	0,122520E - 01	-0,361727E - 01
16	18	0,809243E - 03	-0,178738E - 01
16	17	-0,116971E - 01	-0,178415E - 01
18	24	-0,196731E - 02	-0,313624E - 01
19	21	-0,115990E - 02	-0,196036E - 02
19	23	0,373404E - 03	-0,177475E - 02
19	20	0,15251E - 01	-0,559287E - 01
20	22	-0,470183E - 02	-0,817604E - 02
20	24	-0,145476E - 02	-0,736852E - 02
20	21	0,267253E - 01	-0,562537E - 01
20	23	0,765153E - 03	-0,185313E - 02
21	23	-0,956271E - 03	-0,154624E - 01
22	24	-0,259069E - 02	-0,262181E - 01
23	24	-0,232915E - 02	-0,289508E - 01
24	25	-0,109133E - 01	-0,446322E - 01
25	26	-0,31606E - 02	0,343300E - 01
26	27	-0,117812E - 02	-0,730894E - 02
26	28	-0,208012E - 02	-0,842932E - 02

Выводы

1. Для расчетов установившихся режимов электрических систем на базе ГМ необходимо формирование отдельных ее подматриц.

2. Предлагаемый алгоритм дает возможность эффективно и в целом формировать ГМ.

АрмНИИЭ

Поступило 15.X.1976

Ա. Ա. ՀԱՐՈՒԹՅԱՆՆԱՆ

ՀԻՐՐԻԿԱՆԻՆ ԱՍՏՐԻՑԱՅԻ ԿԱՌՈՒՅՈՒՄԸ ԹՂՄ-Ի ՎՐԱ

Ա մ փ ո փ ո ռ մ

Ծարադրված է ԹՂՄ-ի վրա հիրրիցարին մատրիցայի կառուցման ալգորիթի մասին, որն օգտագործվում է էլեկտրական սիստեմների հաստատված սեփականի հաշվարկներում:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Абонц Г. Т. Уравнения электрических режимов энергосистемы, основанные на гибридных матрицах. «Доклады АН АрмССР», т. LV, № 3, 1972.
2. Hale H. W., Goodrich R. W. Digital Computation of Power Flow-Some New Aspects. Trans. AIEE, vol. 78, 1959.

3. *Wintthrop W., Smith J. R. and Stephen Erdman.* A Note on the Inversion of Complex Matrices. *IEEE Transactions on Automatic control*, February, 1974.
4. Вопросы эквивалентирования, ускорения итерации и программирования расчетов режимов энергосистем. Отчет АрмНИИЭ за 1974 г № гос. регистрации 75026301, шиф. № Б404803.
5. *Арутюнян А. А.* Определение структуры эквивалентного многополюсника и пересчет матрицы узловых проводимостей при изменении в исходной схеме. «Известия АН АрмССР, серия техн. наук», т. XXXIX, № 3, 1976.
6. *Ланцоси К.* Практические методы прикладного анализа. М., Физматгиз, 1961.
7. *Ицкович И. Л.* Программирование для ЭВМ «Наури», М., «Статистика», 1975.
8. Сборник научных программ на ФОРТВАИ-е, Выпуск 2. М., «Статистика», 1974.

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

Р. А. АЛАВЕРДЯН, К. Х. ШАХБАЗЯН

ПОСТРОЕНИЕ КАСАТЕЛЬНЫХ ПРЯМЫХ К КРИВЫМ
ВТОРОГО ПОРЯДКА

Построение касательных прямых к кривым второго порядка имеет теоретическое и практическое значения в расчетах, связанных с проектированием передач и профилей в авиастроении, судостроении и в некоторых отраслях машиностроения. В известных методах [1-6] этот вопрос решается аналитически с последующей возможностью графических построений. Однако круг задач, решаемых в них, недостаточен широк. Исходя из этого, в настоящей работе с помощью аппарата начертательной геометрии впервые сделана попытка дать общий метод проведения касательных к кривым второго порядка, что одновременно дает возможность построения общих касательных к двум кривым второго порядка.

§ 1. Построение касательной к эллипсу в его заданной точке

С целью проведения касательной к эллипсу в его заданной точке M , выполним следующие построения (рис. 1, а).

Принимая эллипс за основание, строим произвольный круговой конус (произвольность не мешает решению задачи), т. е. от плоской задачи переходим к пространственной. Заданный эллипс определяется пересечением кругового конуса с плоскостью II . Чтобы через точку M провести в плоскости II касательную к эллипсу, нужно плоскость Q провести так, чтобы она касалась поверхности построенного конуса по образующей SM . Плоскость Q , а следовательно, и линия пересечения плоскостей Q и II будут касаться эллипса в точке M .

Решение на эллипре. Эллипс задан большой осью $(1, 2)$ и фокусом F (рис. 1, б). M — произвольная точка на нем. За ось X принимаем прямую, параллельную большой оси эллипса. Принимая большую ось, фокус f и точку m за горизонтальную проекцию эллипса, строим его фронтальную проекцию $(1'-2')$, f' и m' . Затем, принимая эллипс за основание, строим круговой конус, получаем фронтальную проекцию конуса $(1', s', 2')$. С помощью s' находим ее горизонтальную проекцию s . Соединяя точки $M(m, m')$ и $S(s, s')$, получаем образующую $SM(sm, s'm')$. Далее, по образующей SM проводим касательную плоскость к конусу.

Искомая касательная плоскость Q определяется образующей $SM(sm, s'm')$ и произвольной касательной к конусу. Для получения касательной возьмем на SM произвольную точку $K(k, k')$ и через нее проведем фронтально-проецирующую плоскость P , перпендикулярную к оси конуса. Плоскость P пересечет конус по окружности. Если в плоскости P через точку K провести касательную к окружности сечения, то будем уверены, что она будет касательной к поверхности конуса. Для этого совмещаем плоскость P с плоскостью H . Точка C_0 — центр совмещенного положения сечения, а точка K_0 — совмещенное положение точки K . В точке K_0 строим касательную прямую к совмещенной окружности. Так как построения проводятся в плоскости P , то продолжение касательной пересечется со следом P_H в некоторой точке $N(n, n')$, являющейся горизонтальным следом касательной прямой к поверхности конуса. Соединяя точки M и N , получим горизонтальный след Q_H , т. е. искомую касательную.

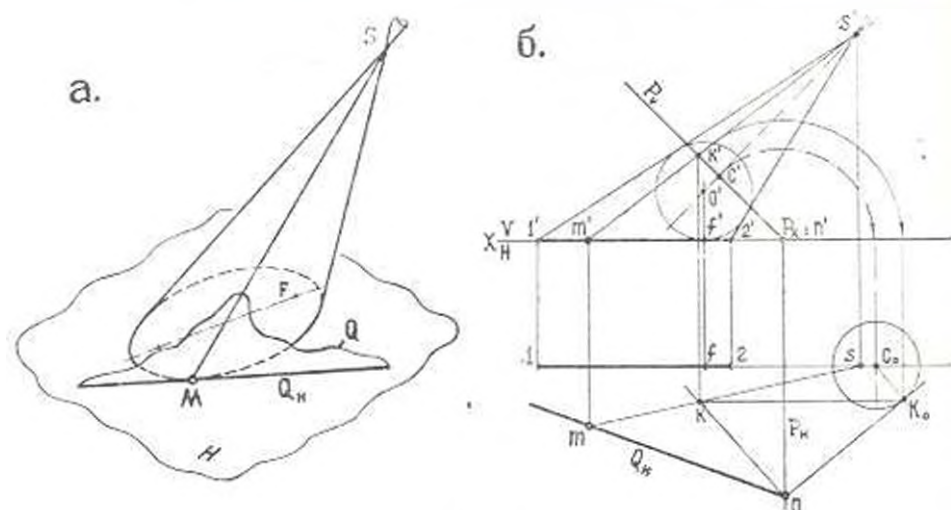


Рис. 1.

§ 2. *Через точку, находящуюся вне эллипса, провести касательные прямые к эллипсу.* Для этого воспользуемся решением предыдущей задачи. Заданный эллипс принимается за основание построенного конуса. Если через точку M (рис. 2, а) провести касательные плоскости Q_1 и Q_2 к поверхности конуса, то они будут касаться конуса по образующим, которые, в свою очередь, будут пересекаться с горизонтальной плоскостью H в некоторых точках N_1 и N_2 , являющихся точками, через которые должны проходить касательные прямые из точки M .

Решение на эюре. Эллипс задан большой осью $(1, 2)$ и фокусом F (рис. 2, б). Вне эллипса отметим произвольную точку M . Проведем ось X параллельно большой оси эллипса. Проекция конуса строится подобно предыдущему случаю. Для получения образующих касания, через точку $M(m, m')$ проведем фронтально-проецирующую

плоскость P так, чтобы она была одновременно перпендикулярна к оси полученного кругового конуса. Совместим плоскость P с горизонтальной плоскостью H . В совмещенном положении из точки M проведем две касательные прямые к окружности с центром C_0 , получим точки касания K_{10} и K_{20} . Обратным построением получим фронтальные проекции k'_1 и k'_2 и с их помощью — горизонтальные проекции k_1 и k_2 . $K_1(k_1, k'_1)$ и $K_2(k_2, k'_2)$ являются точками пересечения полученных образующих касания с плоскостью P . Соединяя точки K_1 и K_2 с вершиной конуса $S(s, s')$, получаем проекции касательных образующих $SK_1(sk_1, s'k'_1)$ и $SK_2(sk_2, s'k'_2)$. Касательные $MK_1(mk_1, m'k'_1)$ и $MK_2(mk_2, m'k'_2)$ к окружности и точки K_1 и K_2 с образующими SK_1 и SK_2 определяют две касательные плоскости Q_1 и Q_2 к поверхности конуса. Далее выводим горизонтальные следы $N_1(n_1, n'_1)$ и $N_2(n_2, n'_2)$ образующих SK_1 и SK_2 . Соединяя точки N_1 и N_2 с точкой M , получим горизонтальные следы Q_{1H} и Q_{2H} плоскостей Q_1 и Q_2 , т. е. искомые касательные.

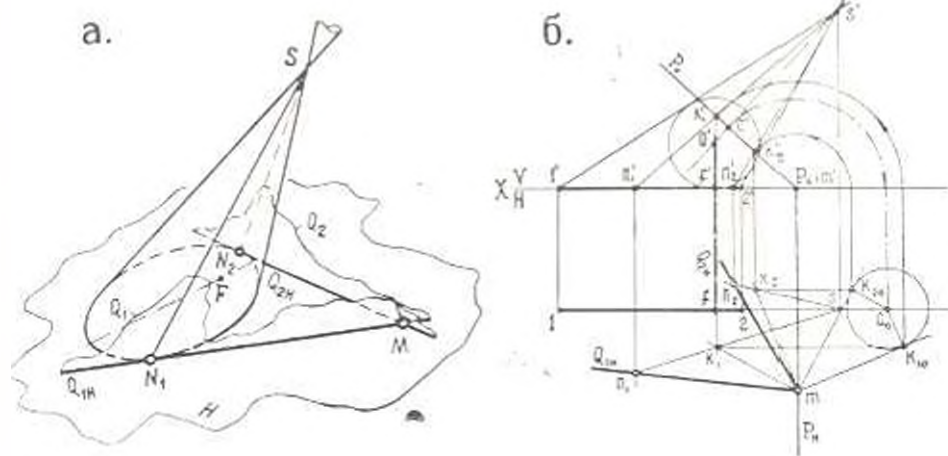


Рис. 2.

§ 3. Построение касательной к параболе в ее заданной точке. Заданная парабола (рис. 3, а) с точкой M принимается за осязание построенного кругового конуса. Если провести касательную плоскость Q к поверхности конуса по образующей SM , то линия пересечения плоскостей Q и H будет касаться параболы в точке M .

Решение в аналитическом виде. Парабола задана вершиной I и фокусом F . Точка $M(m, m')$ находится на ней (рис. 3, б). Проведем ось X параллельно оси симметрии параболы. Проекция кругового конуса строится так, как описано в §1. Соединяя точки M и S , определим образующую SM ($sm, s'm'$). Далее, по образующей SM проведем касательную плоскость Q к конусу, которая определяется образующей SM и произвольной касательной к конусу. Для получения касательной через произвольную точку $K(k, k')$ образующей SM проведем фронтальную

тально-проецирующую плоскость P , перпендикулярную к оси конуса. Если в плоскости P через точку K провести касательную к окружности сечения, то ясно, что эта прямая будет касательной к поверхности конуса. Для этого совмещаем плоскость P с плоскостью H . На совмещенном положении в точке K_0 строим касательную прямую к окружности с центром C_0 .

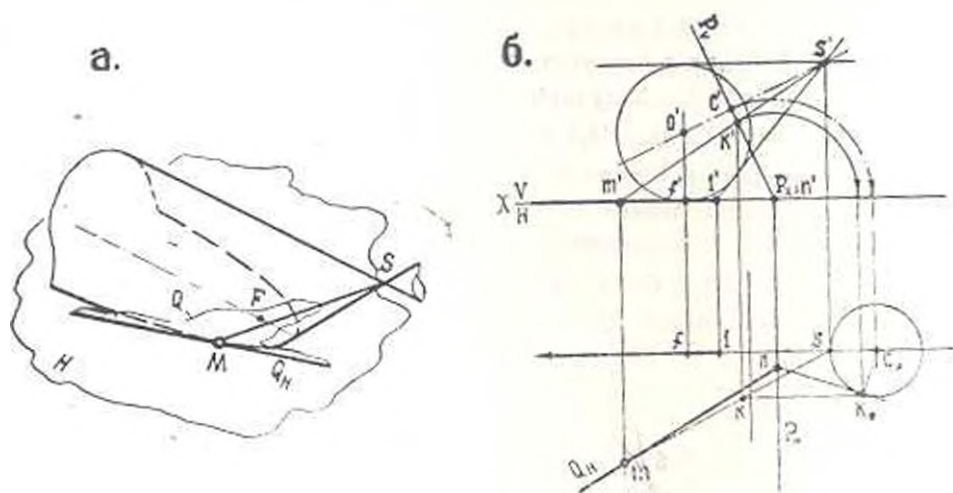


Рис. 3.

Продолжение касательной пересечется со следом P_{II} в некоторой точке $N(n, n')$. Получим горизонтальный след касательной прямой к поверхности конуса, которая с образующей SM определяет плоскость Q . Соединяя точки M и N получим горизонтальный след Q_H плоскости Q , т. е. искомую касательную.

§1. *Через точку, находящуюся вне параболы, провести касательные прямые к параболе.* Заданная парабола (рис. 4, а) принимается за основание построенного кругового конуса. Если через точку M провести две касательные плоскости Q_1 и Q_2 к поверхности конуса, то линии пересечения плоскостей Q_1 и Q_2 с плоскостью H определяют искомые касательные к параболе, проходящие через заданную точку M .

Решение на эюре. Парабола задана вершиной I и фокусом F (рис. 4, б). Вне параболы отметим произвольную точку M . Проведем ось X параллельно оси симметрии параболы. Проекции кругового конуса строятся так же, как и в § 1.

Для получения образующих касания, через которые и точку M проходят касательные плоскости Q_1 и Q_2 к поверхности конуса, через точку $M(m, m')$ проведем фронтально-проецирующую плоскость P так, чтобы она была одновременно перпендикулярна к оси полученного кругового конуса. После совмещаем плоскость P с плоскостью H . В совмещенном положении из точки M проведем две касательные прямые к окружности с центром C_0 , получим точки касания K_{10} и K_{20} . Обратным построением получим проекции точек $K_1(k_1, k_1')$ и $K_2(k_2, k_2')$.

Соединяя точки K_1 и K_1' с вершиной конуса $S(s, s')$, получим проекции образующих касания $SK_1(sk_1, s'k_1)$ и $SK_2(sk_2, s'k_2)$, которые с точкой M определяют две касательные плоскости Q_1 и Q_2 к поверхности конуса. Далее находим горизонтальные следы $N_1(n_1, n_1')$ и $N_2(n_2, n_2')$ образующих SK_1 и SK_2 . Соединяя точки N_1 и N_2 с точкой M , получим горизонтальные следы Q_{1H} и Q_{2H} плоскостей Q_1 и Q_2 , т. е. искомые касательные.

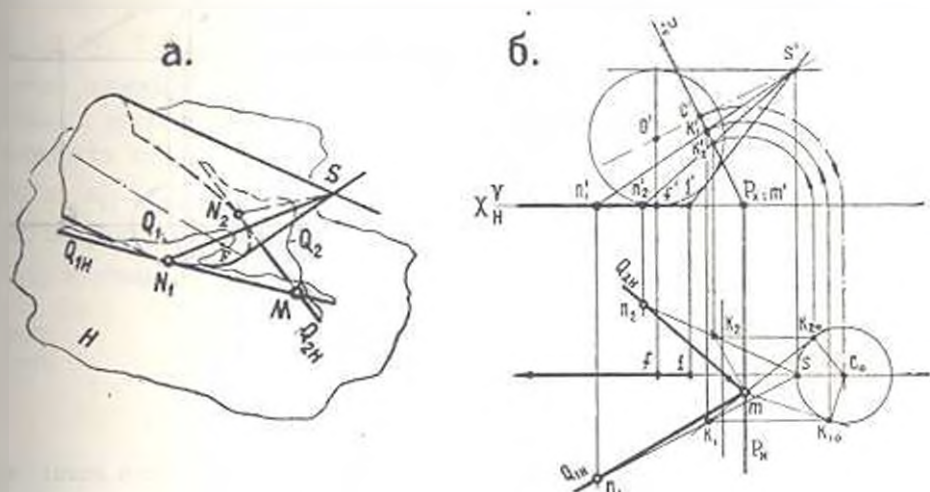


Рис. 4.

§ 5. *Построение касательной к гиперболе в ее заданной точке.* Заданную гиперболу с точкой M принимаем за основание построенного кругового конуса (рис. 5, а). Если проводить касательную плоскость Q к поверхности конуса по образующей SM , то линия пересечения плоскостей Q и H будет касаться гиперболе в точке M .

Решение на эюре. Гипербола задана вершинами 1 и 2 и фокусом F . Произвольная точка M находится на ней (рис. 5, б). Проведем ось X параллельно действительной оси гиперболы. Проекция кругового конуса строятся подобно предыдущему случаю. Соединяя точки $M(m, m')$ и $S(s, s')$ определяем образующую $SM(sm, s'm')$. Далее по образующей SM проводим касательную плоскость Q к конусу. Плоскость Q определяется образующей SM и произвольной касательной к конусу. Для построения касательной, через произвольную точку $K(k, k')$ образующей SM проведем фронтально-проецирующую плоскость P так, чтобы она была одновременно перпендикулярна к оси полученного кругового конуса.

Если в плоскости P через точку K провести касательную к окружности сечения, то ясно, что эта прямая будет касательной к поверхности конуса. Для этого совмещаем плоскость P с плоскостью H . В совмещенном положении в точке K строим касательную прямую к окружности с центром C . Продолжение касательной пересечется со

следом P_H в некоторой точке $N(n, n')$. Получим горизонтальный след касательной прямой к поверхности конуса в точке K , которая с образующей SN определяет плоскость Q . Соединяя точки M и N получим горизонтальный след Q_H плоскости Q , т. е. искомого касательную.

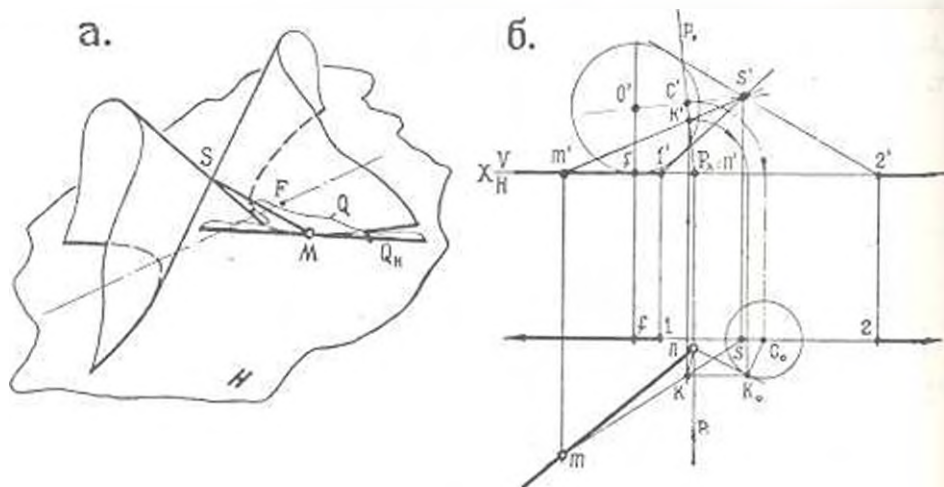


Рис. 5.

§ 6. Через точку, находящуюся вне гиперболы, провести касательные прямые к гиперболе. Заданная гипербола принимается за основание построенного кругового конуса. Если через точку M провести две касательные плоскости Q_1 и Q_2 к поверхности конуса, то линии пересечения плоскостей Q_1 и Q_2 с плоскостью H определяют искомого касательные к гиперболе, проходящие через точку M (рис. 6. а).

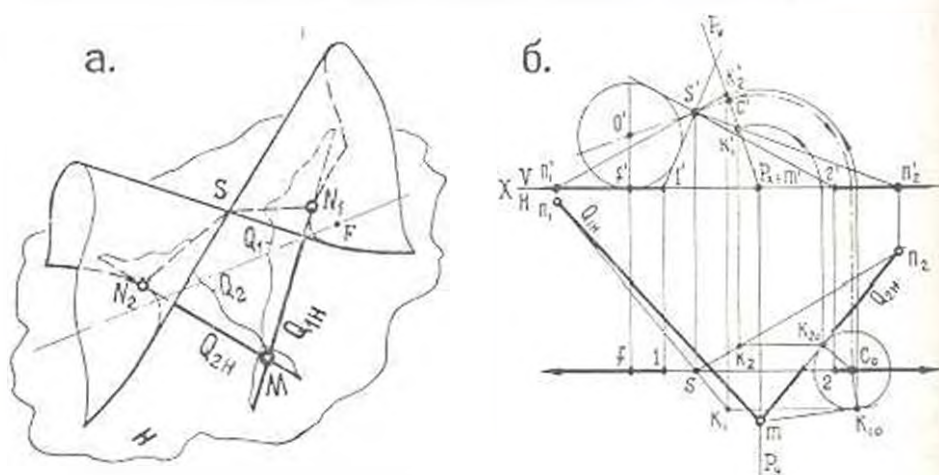


Рис. 6

Решение на эюре. Гипербола задана вершинами 1 и 2 и фокусом F . Вне гиперболы отметим произвольную точку M (рис. 6. б).

Проведем ось X параллельно действительной оси гиперболы. Проекции кругового конуса строятся подобно § 1. Для получения образующих касания, которые с точкой $M(m, m')$ определяют касательные плоскости Q_1 и Q_2 к поверхности конуса, через точку M проведем фронтально-проецирующую плоскость P так, чтобы она была одновременно перпендикулярна к оси полученного конуса. Далее совмещаем плоскость P с плоскостью H . В совмещенном положении из точки M проведем две касательные к окружности с центром S , получим точки касания K_{10} и K_{20} .

Обратным построением получим проекции точек $K_1(k_1, k_1')$ и $K_2(k_2, k_2')$. Соединяя точки K_1 и K_2 с вершиной конуса $S(s, s')$, получим проекции образующих касания $SK_1(sk_1, s'k_1')$ и $SK_2(sk_2, s'k_2')$, которые с точкой M определяют касательные плоскости Q_1 и Q_2 к поверхности конуса. Затем находим горизонтальные следы $N_1(n_1, n_1')$ и $N_2(n_2, n_2')$ образующих SK_1 и SK_2 . Соединяя точки N_1 и N_2 с точкой M , получим горизонтальные следы Q_{1H} и Q_{2H} плоскостей Q_1 и Q_2 , т. е. искомые касательные.

ЕрГУ
ЕрПИ

Поступило 22.VII 1976.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дешевой Г. М. Некоторые построения для кривых второго порядка. Л., 1965.
2. Дорфман А. Г. Оптика конических сечений. М., 1959.
3. Извольский И. А. Синтетическая геометрия. М., 1941.
4. Привалов И. И. Аналитическая геометрия. М., 1969.
5. Пеклич В. А. О построении нормалей к коническим сечениям. Сборник трудов, выпуск 48, серия начертательная геометрия.
6. Четверихин И. Ф. Методы геометрических построений. М., 1952.

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

Р. Г. СИМОНЯН, Ю. А. АБРАМЯН, В. А. АРУТЮНОВ

МАЛОГАБАРИТНЫЙ ГЕНЕРАТОР ШУМА
 ДЕЦИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА

На основе германиевых диодов типа ГМ01, работающих в режиме лавинного пробоя, предложена малогабаритная конструкция генератора шума дециметрового диапазона с блоком питания.

Известно, что лавинные диоды могут использоваться в качестве источников шума сверхвысоких частот. При этом, наряду с такими положительными качествами как значительный уровень спектральной плотности мощности шума (СПМШ), широкополосность, термостабильность и малогабаритность, таким источникам шума присущ существенный недостаток — трудноучитываемый импеданс, сильно зависящий от тока пробоя I_0 . Поэтому при конструировании генератора шума (ГШ) приходится компромиссно решать требования максимального уровня СПМШ при удовлетворительном согласовании выхода генератора с измеряемым трактом. Примером такого решения может быть конструкция, содержащая трансформатор для согласования импеданса диода с дополнительным ослабителем, улучшающим коэффициент стоячей волны (КСВ) выхода ГШ.

Подобная конструкция, описанная в [1] для ГШ на лавинно-пролетном диоде, обеспечивала в дециметровом диапазоне СПМШ $(1 \div 2) \times 10^3 \text{ КТ}_0$ при КСВ около 1,5. Хотя такая конструкция и решает указанные требования, однако применение трансформатора в дециметровом диапазоне увеличивает габариты и вес, снижая выигрыш от малогабаритности источника шума.

В предлагаемой, экспериментально подобранной, конструкции ГШ согласующий трансформатор отсутствует. Необходимое выходное сопротивление ГШ достигается включением параллельно диоду поглощающего резистора. Хотя при такой конструкции выходной сигнал и ослаблен, однако благодаря большой величине СПМШ лавинных диодов такой ГШ по величине СПМШ значительно превосходит генераторы на газоразрядных трубках и вакуумных диодах. Отметим также, что описанная ниже конструкция ГШ, обеспечивая величину СПМШ около 10^3 КТ_0 , практически не уступает по этому параметру ГШ дециметрового диапазона с согласующими трансформаторами, имея при этом лучший КСВ выхода и значительно меньшие габариты и вес.

Основой конструкции малогабаритного ГШ (рис. 1) является отрезок коаксиального 75-омного волновода, снабженный стандартными разъемами 2 и 5, причем разъем 5 является выходом ГШ, а к разъему 2 подключается поглощающий резистор 1 (в данном случае 75-омная стандартная нагрузка с КСВ, равным 1,05). Диод 4 устанавливается в пазах, которые, в свою очередь, закреплены в опорном конденсаторе 3 и центральном проводнике волновода. При таком включении диода питание подается на вывод конденсатора и к корпусу ГШ.

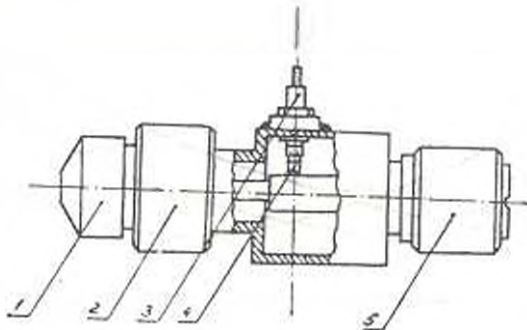


Рис. 1. Генератор шума на диоде ГА401А.

В данном ГШ в качестве источников шума использованы параметрические германиевые диффузионные диоды с напряжением лавинного пробоя $U_{пр} \approx 25$ В. Исследования обратной ветви вольт-амперной характеристики этих диодов в зависимости от I_0 и температуры, измерения зависимости СПМШ от I_0 подтвердили лавинный характер пробоя, сопровождающийся микроплазмами в начале пробоя. Возможность использования указанных диодов в качестве источников шума подтверждена также и проверкой стабильности лавинного пробоя во времени, на протяжении которой диоды выдерживались при пяти значениях тока I_0 от 0,1 до 3 мА в течение 3600 часов, причем ни самопроизвольного прекращения лавинного пробоя ни теплового пробоя не наблюдалось. Проведенные после такого испытания измерения величины СПМШ показали, что ее изменения лежат в пределах 0,2 дБ, причем не отмечалась взаимосвязь между величиной изменения СПМШ и испытательным током. Кроме этого, было проведено исследование взаимозаменяемости диодов ГА401А, в результате которого было установлено, что с ростом I_0 взаимозаменяемость существенно улучшается, и при $I_0 = 1$ мА для 26 случайно взятых диодов разброс СПМШ от среднего значения лежит в пределах 14%. Отметим, что у серийно выпускаемого газоразрядного источника шума типа ГШ-2 отклонения СПМШ, определенные по паспортным данным, лежат в пределах 18,5%.

Для описанной конструкции ГШ с помощью измерительной линии типа Р1-5 и измерительного приемника П5-20 с шириной полосы пропускания 0,8 МГц были сняты зависимости КСВ и СПМШ от тока I_0 и частоты (рис. 2 и 3).

Приведенные кривые (рис. 2) показывают, что при больших токах существует участок частот шириной около 500 МГц, в котором КСВ незначителен и постоянен, причем СПМШ составляет величину порядка $10^3 K T_0$, укажем здесь же, что при таких токах пробой в германиевых диодах приближается к однородному [2], а это, в свою очередь, улучшает равномерность СПМШ [3].

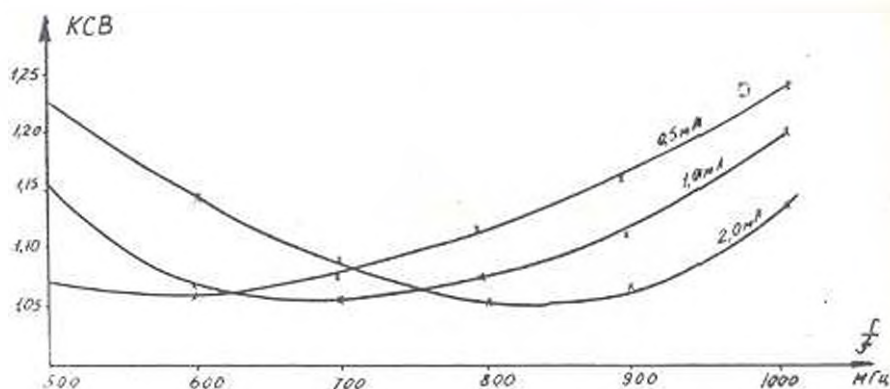


Рис. 2. Зависимость КСВ от частоты (f) и тока диода (I_D).

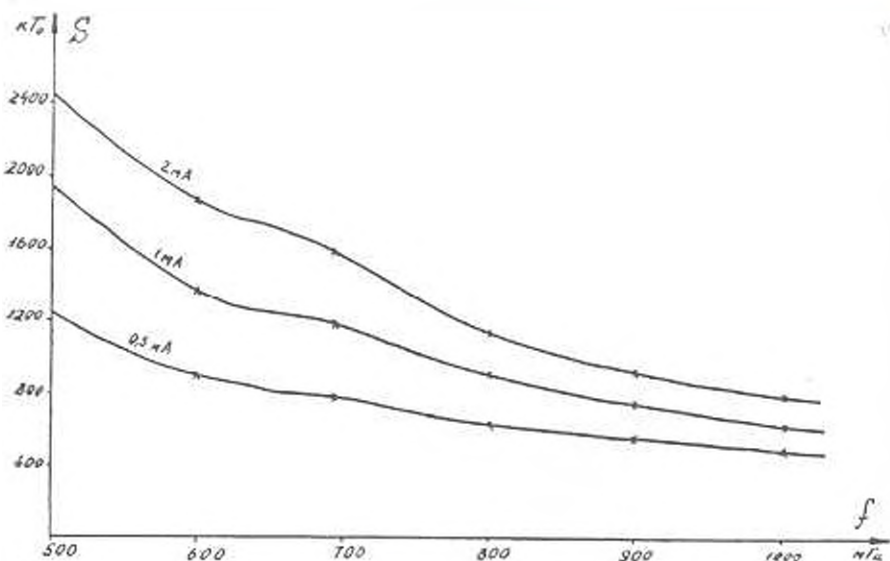


Рис. 3. Зависимость СПМШ (S) от частоты (f) и тока диода (I_D).

Как указывается в [4], применение лавинных диодов в ГШ осложнено из-за влияния их импеданса на результаты измерения. В данном же случае, как следует из хода зависимостей КСВ, входное сопротивление ГШ практически не зависит от импеданса диода в достаточно широком участке частот.

Была измерена также и термостабильность ГШ. По результатам измерений в диапазоне $(10 \div 60)^\circ\text{C}$ было установлено, что температурный коэффициент СПМШ генератора в соответствии со свойствами лавинных диодов составляет незначительную величину—порядка $6 \cdot 10^{-2} \text{ град}^{-1}$.

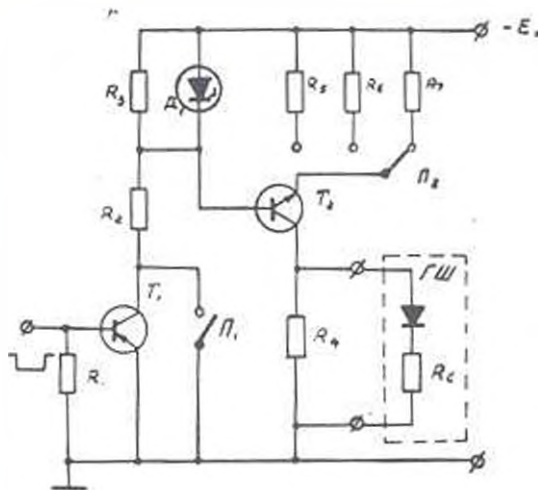


Рис. 4. Схема блока питания.

Учитывая, что стабильность лавинного пробоя, а следовательно, и надежность ГШ, определяется сопротивлением цепи питания диода, для описанного генератора был разработан блок питания (рис. 4), основным достоинством которого является то, что при своей относительной простоте он позволяет питать диод как постоянным, так и импульсами тока, сохраняя при этом внутреннее сопротивление порядка 400 кОм . Его основой является стабилизатор тока на транзисторе T_1 с параметрической стабилизацией смещения и токозадающими резисторами R_3 , R_4 и R_5 и цепи миттера. При необходимости с помощью ключа, собранного на транзисторе T_2 и включенного последовательно с балансным резистором R_2 параметрического стабилизатора смещения базы, осуществляется импульсное питание диода и, следовательно, модуляция выходного сигнала ГШ.

Институт радиофизики
и электроники АН АрмССР

Поступило 5.VII.1976.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тагер В. С. Вальд-Нерлов В. М. Лавинно-пробойные диоды и их применение в технике СВЧ. Изд. «Сов. радио», М., 1968.
2. Арутюнов В. А., Симонян Р. Г. «Известия АН АрмССР, физика», № 9, 1974.
3. Аладинский В. К., Дашин В. И., Суцник А. С., Тимебулатов А. М., Юханов А. Б. «Электронная техника», серия 2. Полупроводниковые приборы, вып. 4 (76), 1974.
4. Фрадин А. З., Рыжков В. Е. Измерение параметров антенно-фидерных устройств. Изд. «Связь», М., 1972.

ПЕРСОНАЛИИ

НИКОЛАЙ КОНСТАНТИНОВИЧ СНИТКО

(к 75-летию со дня рождения)

Заслуженному деятелю науки и техники РСФСР, профессору, доктору технических наук Николаю Константиновичу Снитко исполнилось 75 лет. Славный юбилей он встретил полной энергии, бодрости и творческих планов.

Научная деятельность Н. К. Снитко получала следующие основные направления: создание эффективного метода решения краевых задач строительной механики метода начальных параметров, разработка практических методов расчета сложных стержневых систем на устойчивость, вибрацию и удар, расчет конструкций на упругом основании, создание метода расчета массивных подпорных стен на давление взрывной волны, разработка физической теории упруго-пластических деформаций металлов и ее применение к задачам устойчивости оболочек, написание учебных пособий для вузов.

Он является автором более 240 научных статей и 30 книг. Наибольшую известность получили монографии «Теория и расчет балок на упругом основании» (1937), «Навальные мосты» (1939), «Теория прочности металлов с учетом внутрикристаллической структуры» (1946), «Устойчивость стержневых систем» (1952, 1955, 1968), «Динамика сооружений» (1960), «Расчет рамных сооружений итерационными методами» (1962), «Статическое и динамическое давление грунтов и расчет подпорных стенок» (1963, 1970). Широкое признание и заслуженную известность автору принесли учебники «Строительная механика» (1966, 1972) и «Сопротивление материалов» (1975). Некоторые его монографии издали в Румынии, Болгарии. В «Известиях АН АрмССР» опубликован ряд оригинальных статей Н. К. Снитко по устойчивости и пластичности.

Н. К. Снитко подготовил более 20 кандидатов и 9 докторов наук.

Член КПСС с 1920 года, Н. К. Снитко является активным общественным деятелем. Научную и педагогическую деятельность он гармонически сочетает с практической деятельностью в проектных организациях и конструкторских бюро г. Ленинграда, участвуя в проектировании уникальных сооружений.

Редколлегия журнала сердечно поздравляет юбиляра, желает ему здоровья и новых творческих успехов.

Исследование циклической долговечности термообработанных сталей. Олейник Н. В., Стакян М. Г. «Известия АН АрмССР (серия Т. Н.)», т. XXX, № 2, 1977, 3—13.

Предложен коэффициент β_N , учитывающий относительный рост циклической долговечности термообработанных сталей и их чувствительность к перегрузкам. Показано, что β_N является статистической величиной, зависящей от уровня перенапряжений σ и вероятности разрушения $I(N)$.

Исходя из взаимного расположения составляемых кривых выносливости, определены зоны изменения β_N и получены зависимости $\beta_N = f[\sigma; I(N)]$ для каждой из этих зон.

Изучено влияние на параметры кривой $\beta_N = f[\sigma; I(N)]$ вида термообработки режима нагружения, размеров и конструктивных форм образцов. Илл. 4. Табл. 3. Библ. 2 назв.

УДК 621.313.8+621.314.5

К теории линейных магнитоэлектрических преобразователей. Сафарян А. А., Сараджев В. А. «Известия АН АрмССР (серия Т. Н.)», т. XXX, № 2, 1977, 14—21.

В статье рассматриваются некоторые вопросы теории магнитной цепи линейного магнитоэлектрического преобразователя в виде однофазной магнитной линии с равномерно распределенной (вдоль всей линии) постоянной поперечной намагничивающей силой, образованной кольцевыми магнитами с радиальным намагничиванием.

Найдены законы распределения продольных и поперечных магнитных потоков, магнитной индукции в воздушном зазоре, а также разность скалярных магнитных потенциалов, выраженных через гиперболические функции.

Илл. 6. Библ. 7 назв.

УДК 621.311-50

Прогнозирование суточных графиков нагрузок энергосистем применением оператора предсказания. Григорьян Ю. Г., Гаспарян К. В., Дьяков А. Ф. «Известия АН АрмССР (серия Т. Н.)», т. XXX, № 2, 1977, 22—31.

В статье применяется один из алгоритмов предсказания для прогнозирования суточных графиков нагрузок энергосистем. Использование этого алгоритма обосновано тем, что в одноименные дни недели и часы нагрузки энергосистем имеют общие закономерности изменения (представляют собой стационарную последовательность значений). Дается последовательность нагрузок, зависящая от недели и часа.

Приведенный в статье алгоритм дает возможность прогнозировать нагрузки непосредственно следующего дня, по известным нагрузкам предшествующих дней.

По данному алгоритму были составлены программы для ЭВМ «Найри-2» и «Урал-14Д» на языке «Фортран-4».

Результаты расчетов, выполненных для РЭУ Ставропольэнерго, показали, что наиболее точно прогнозируются максимальные нагрузки дня (ошибка порядка 1%), а в общем, в течение дня ошибка получалась порядка до 5%.

Точность прогнозирования можно улучшить, учитывая метеорологические условия и коэффициент годового прироста нагрузок энергосистемы.

Илл. 1. Библ. 2 назв.

Формирование гибридной матрицы на ЦВМ. Арутюнян А. А. «Известия АН АрмССР (серия Т. Н.)», т. XXX, № 2, 1977, 32—38.

Приводятся алгоритмы формирования гибридной матрицы на ЦВМ, применяемой в расчетах установившихся режимов электрических систем.
Илл. 1. Библ. 8 назв.

Построение касательных прямых к кривым второго порядка. Алавердян Р. А., Шахбазян К. Х. «Известия АН АрмССР (серия Т. Н.)», т. XXX, № 2, 1977, 39—45.

Применением аппарата начертательной геометрии дается метод построения касательных прямых к кривым второго порядка (эллипс, парабола, гипербола). Предлагаемый метод одновременно дает возможность построения общих касательных к двум кривым второго порядка в зависимости от их расположения.

Илл. 6. Библ. 6 назв.

Малогобаритный генератор шума дециметрового диапазона. Симонян Р. Г., Абрамян Ю. А., Арутюнов В. А. «Известия АН АрмССР (серия Т. Н.)», т. XXX, № 2, 1977, 46—49.

Обоснована возможность использования германиевых параметрических диодов типа ГА401А, работающих в режиме лавинного пробоя, в качестве источников шума. На их основе предложена конструкция генератора шума дециметрового диапазона, который не уступает другим устройствам подобного типа по величине спектральной плотности, мощности шума и коэффициенту стоячей волны выхода, но имеет меньшие габариты и вес. Предлагается также простой блок питания, позволяющий питать генератор шума как постоянным током, так и импульсами постоянного тока, имея при этом величину внутреннего сопротивления порядка 400 Ом.

Илл. 4. Библ. 4 назв.

Բ Ո Վ Ա Ն Գ Ա Կ Ո Ւ Թ Յ Ո Ւ Ն

Մ'եհեհաճիճուքուն

Ն. Վ. Ալեյնիկ, Ո. Գ. Ստակյան. *Ջերմամշակված պողպատների ցիկլային երկտարակետային հետադոստումը* 7

Էլեկտրատեխնիկա

Ա. Ա. Վաֆարյան, Վ. Ա. Սուրսուկ. *Գծային մագնիսաէլեկտրական կերպագրողիչների տեսութային շուրջը* 14

Էներգետիկա

Սու. Գ. Գրիգորյան, Կ. Վ. Գասպարյան, Ա. Ֆ. Դյակով. *Ճեղքահամակարգերի բեռնվածքների օրական գրաֆիկների նախագուշակումը կառնիսագուշակման օպերատորի կիրառման հիման վրա* 22

Ա. Ա. Հարությունյան, Հիբրիդային մատրիցայի կառուցումը *ՔՂՄ-ի վրա* 32

Գիտական նոթեր

Ռ. Ա. Այվազյան, Կ. Խ. Շահրազյան. *Երկրորդ կարգի կոսմոսի շոշափող ուղիղների կառուցումը* 39

Ռ. Հ. Ուրմեյան, Յու. Ա. Արքանամյան, Վ. Ա. Հարությունով. *Դեպի հորանոց դիսպոզիտի աղմուկի փոքրագաբարիտային գծնեքստոր* 46

Գիտություն գործիչներ

Ն ի կ ո ղ ա յ Կ ո ն ս տ ա ն տ ի ն ո վ ի յ Ս ն ի տ կ ո (Ճննդյան 75-ամյակի առթիվ) 60

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр
Машиностроение	
<i>И. В. Олейник, М. С. Стаскин.</i> Исследование долговечности термообработанных сталей	3
Электротехника	
<i>А. А. Сафарян, В. А. Сараджев.</i> К теории линейных магнитоэлектрических преобразователей	14
Энергетика	
<i>Ю. Г. Григорян, К. В. Гисарян, А. Ф. Дьяков.</i> Прогнозирование суточных графиков нагрузок энергосистем применением оператора предсказания	22
<i>А. А. Арутюнян.</i> Формирование гибридной матрицы на ЦВМ	32
Научные заметки	
<i>Р. А. Алавердян, К. X. Шахбазян.</i> Построение касательных прямых к кривым второго порядка	39
<i>Р. Г. Симонян, Ю. А. Абрамян, В. А. Арутюнян.</i> Малогабаритный генератор шума дециметрового диапазона	46
Персоналии	
Николай Константинович Снитко (к 75-летию со дня рождения)	59

