

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ԵՎ
ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆԻ

ՏԵԴԵԿԱԳԻՐ ИЗВЕСТИЯ

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК АРМЕНИИ И

НАЦИОНАЛЬНОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
АРМЕНИИ

ՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՍԵՐԻԱ

СЕРИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

ԵՐԵՎԱՆ

ЕРЕВАН

Журнал издается с 5.01. 1948 г.
Выходит 3 раза в год

ԽՄԲԱԳՐԱԿԱՆ ԿՈԼԵԳԻԱ

Ռ. Մարտիրոսյան (գլխավոր խմբագիր), Ռ. Աթոյան (գլխ. խմբ. տեղակալ), Ն. Թերզյան (գլխ. խմբ. տեղակալ), Ս. Ղազարյան, Ռ. Մարուխյան, Ն. Մանուկյան, Ֆ. Սարգսյան, Յու. Սարգսյան, Վ. Սարգսյան, Ս. Ստակյան (գլխ. խմբ. տեղակալ), Զ. Ստեփանյան (պատասխանատու քարտուղար), Վ. Խաչատրյան, Ն. Զոհինյան:

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Р.М. Мартиросян (главный редактор), Р.В. Атоян (зам. глав. редактора), С.М. Казарян, Г.А. Кочинян, Н.В. Манукян, В.З. Марухян, В.С. Саркисян, Ф.Т. Саркисян, Ю.Л. Саркисян, М.Г. Стакян (зам. глав. редактора), З.К. Степанян (ответственный секретарь), А.А. Терзян (зам. глав. редактора), В.С. Хачатрян.

EDITORIAL BOARD

R.M. Martirosyan (Editor-in-Chief), R.V. Atoyan (Vice-Editor-in-Chief), S.M. Ghazaryan, V.S. Khachatryan, H.J. Kochinyan, N.V. Manoukyan, V.Z. Maroukhyan, F.T. Sarkissyan, V.S. Sarkissyan, Yu.L. Sarkissyan, M.G. Stakyan (Vice-Editor-in-Chief), Z.K. Stepanyan (Secretary-in-Chief), H.A. Terzyan (Vice-Editor-in-Chief).

**ՀԱՆՂԵՍԸ ՀՐԱՏԱՐԱԿՎԱԾ Է ԱՄԵՐԻԿԱՅԻ ՀԱՅ ԿՐԹԱԿԱՆ
ՀԻՄՆԱՐԿՈՒԹՅԱՆ ՆՎԻՐԱՏՎՈՒԹՅԱՄԲ ՀԻՄՆԱԴՐՎԱԾ
ՀԱՄԱԿԱՐԳԶԱՅԻՆ ՀՐԱՏԱՐԱԿԶԱԿԱՆ ԿԵՆՏՐՈՆՈՒՄ**

**THE JOURNAL IS PUBLISHED IN THE COMPUTER PUBLISHING
CENTER ESTABLISHED BY THE DONATION OF THE ARMENIAN
EDUCATIONAL FOUNDATION (USA)**

Հրատ. խմբագիր՝ ԺԱՆՆԱ ՄԵՅՐԱՆՅԱՆ
Համակարգչային շարվածքը եւ ձեւավորումը՝
ԼԻԼԻԹ ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆԻ



Издательство ГИУА
Известия НАН и ГИУ Армении (сер. техн. наук), 2001

М.Г. СТАКЯН, А.Р. ДЕМИРХАНИЯН, А.А. СОГОМОНЯН

ОПТИМИЗАЦИЯ “НУЛЕВОЙ” ГИПОТЕЗЫ О НОРМАЛЬНОМ РАСПРЕДЕЛЕНИИ РЕЗУЛЬТАТОВ МЕХАНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ

Разработан программный пакет и реализован статистический эксперимент, в котором использованы циклические долговечности, полученные при массовых испытаниях на усталость. Генерировано 1700 условных выборок объемом $n = 30 \dots 500$ и проведена оптимизация процесса проверки соответствия условных выборок логарифмически нормальному закону распределения согласно критерию Пирсона χ^2 . Произведен поиск оптимальных чисел e_{opt} для разбивки размаха варьирования выборок, обеспечивающих уровни значимости α_{max} . Выявлены корреляционные связи между e_{opt} , α_{max} и n и построена номограмма, позволяющая минимизировать объем и продолжительность испытаний на усталость.

Ключевые слова: статистический эксперимент, критерий согласия, уровень значимости, номограмма.

Предварительным этапом выполнения статистического исследования в рамках одномерной задачи является установление закона распределения объема выборки n , полученного в ходе эксперимента. В одних случаях это выявляется теоретически - на основе предложенной модели изучаемого процесса, а в других - может быть выбрано априори.

В случае, если исследуемое эмпирическое распределение приближается к какому-либо теоретическому закону, рассматривается вопрос его принадлежности генеральной совокупности, имеющей распределение именно по этому закону. Решение этого вопроса имеет важное значение, т.к. при этом возможно применение математического аппарата данного закона для вероятностной оценки изучаемых параметров. Решение данного вопроса производится постановкой и проверкой “нулевой” гипотезы - допущением, что эмпирическое распределение несущественно отличается от принятого теоретического закона (нулевое расхождение) или является выборкой из генеральной совокупности. В результате проверки либо принимается эта гипотеза, либо отвергается, поэтому каждой “нулевой” гипотезе противопоставляется альтернативная (конкурирующая). Проверка осуществляется критериями согласия. При этом устанавливается их уровень значимости α (надежность вывода) - достаточно малое значение вероятности, соответствующее событиям, которые в данной серии испытаний мало вероятны (обычно $\alpha = 0,01$ или $0,05$). Значения критерия согласия, при которых для выбранного уровня α отвергается “нулевая” гипотеза, образуют критическую область (одно- или двустороннюю), а значения, при которых “нулевая” гипотеза не отвергается, - область допустимых значений, соответствующих вероятностям $P = 1 - \alpha$. С уменьшением α

расширяется область допустимых значений критерия согласия, но вместе с этим теряется его чувствительность и повышается вероятность принятия гипотезы даже в случаях, когда она неверна. С другой стороны, малые значения α гарантируют возможность неправильно отвергать верную гипотезу. С этой точки зрения проверки гипотез обладают некоторой неопределенностью.

Если значения критерия попадают в допустимую область, то рано делать вывод о принятии закона распределения. Можно лишь заключить, что опытные данные не противоречат закону, пока не будут проведены обстоятельные исследования и комплексные проверки по нескольким критериям согласия, сочетая их с анализом физической сущности изучаемого процесса (объекта, явления).

Рассеяние большинства экспериментальных данных, как правило, подчиняется нормальному закону распределения, что позволяет при оценках использовать не только средневероятную линию нормированной эмпирической функции распределения, но и методику построения доверительных границ, которая подробно разработана для данного закона. Анализ и систематизация современных критериальных оценок [1], а также их массовое применение [2-5] позволили разработать методику и алгоритм комплексных проверок нормальности распределения по критериям согласия Шапиро-Уилка w , Колмогорова - Смирнова λ , Мизеса ω^2 и Пирсона χ^2 [6].

Согласно [1], а также на основе многочисленных статистических вычислений [2-5] выяснилось, что критерии λ и ω^2 являются более строгими, что, в свою очередь, затрудняет их применение для совокупностей с явно выраженным дискретным распределением данных или очагами “сгустков”, какими являются большинство результатов механических испытаний. Этих недостатков лишен критерий согласия χ^2 , который является более универсальным. Он применим для любых видов распределений, даже при неизвестных значениях их параметров, что часто имеет место при анализе результатов механических испытаний. Нулевая гипотеза соответствия вариационного ряда нормальному закону проводится согласно условию [1]

$$\chi^2 = \sum_{j=1}^{e_1} (n_j - np_j)^2 / np_j \leq \chi_{\alpha}^2, \quad (1)$$

где χ_{α}^2 - критическое значение χ^2 при заданных $\alpha = 0,05$ и $k = e_1 - 3$ (e_1 - скорректированное число интервалов разбивки размаха варьирования $R = x_n - x_1$ после их объединения).

Условие (1) часто выполняется при значительном разрыве величин χ^2 и χ_{α}^2 . Это означает, что при многократном повторении отдельных выборок из той же генеральной совокупности условие (1) обеспечивалось бы с доверительной вероятностью, соответствующей фактическому уровню значимости α_{ϕ} , и чем больше значение α_{ϕ} , тем достовернее принятие “нулевой” гипотезы соответствия отдельной выборки нормальному закону распределения.

На величину α_{ϕ} значительное влияние оказывает метод разбивки R и, особенно, объединения его крайних интервалов, в связи с чем для одного и того же вариационного ряда условие (1) выполняется на разных уровнях α . По-видимому, существует оптимальное число e_{opt} , при котором обеспечивается условие

$$\alpha_{\max} = \max[P(\chi^2 > \chi_1^2)], \quad (2)$$

определяемое из выражения [1]

$$P(\chi^2 > \chi_1^2) = [2^{k/2} \Gamma(k/2)]^{-1} \int_{\chi_1^2}^{\infty} (\chi^2)^{k/2-1} \exp(-\chi^2/2) d\chi^2. \quad (3)$$

Поэтому в основу оптимизационных процедур [6] заложен принцип трехуровневого поиска $\alpha_{\max}$ исследуемой выборки данных: а) расчет α для всего интервала значений e ; б) применение преобразований для опытных данных; в) разделение детерминированной составляющей данных.

Число интервалов разбивки размаха варьирования R в справочной литературе обычно принимают: при $n = 100$ - $e = 10 \dots 15$; $n = 200$ - $e = 15 \dots 20$; $n = 400$ - $e = 25 \dots 30$; $n = 1000$ - $e = 35 \dots 40$ [1].

Указанные рекомендации предложены априори, без надлежащего теоретического обоснования и апробации, на основе проведения массовых статистических проверок результатов механических испытаний. Как следствие, предложенные интервальные значения e не способствуют выявлению максимально возможных $\alpha_{\max}$ согласно (2) и (3), скрытых в вычислительных процедурах по проверке “нулевой” гипотезы. Обоснование и выбор достоверных значений e в связи с объемом испытаний представляется возможным лишь при тщательной группировке, классификации и обработке значительного количества разнородного экспериментального материала, накопленного за последние десятилетия, требующего больших усилий, затрат времени и средств. Однако стремление совершенствовать расчетные методики на основе оптимизационных решений, используя возможности современных вычислительных средств, является велением времени.

Неопределенность и необоснованные интервальные значения e диктуют необходимость дальнейшего совершенствования оптимизационных процедур [6] и введения четвертого уровня с целью минимизации расчетных процедур – уточнения интервальных значений e в связи с вариацией объема испытаний, а также выявления многомерной связи $\alpha_{\max} - e_{\text{opt}} - n - Z_p$ и создания на этой основе номограммы. Это позволит в лабораторных условиях, без выполнения сложных и трудоемких расчетных операций, организовать оптимальные механические испытания.

На основе результатов массовых механических испытаний с использованием метода датчика случайных чисел (ДСЧ) реализован статистический эксперимент значительного объема (до 25523 вычислений), который обеспечивает сходимость и статистическую устойчивость полученных результатов. Для этой цели использованы результаты массовых

испытаний на усталость [1], а также алгоритмы и программное обеспечение для оптимального поиска значений $\alpha_{\max}$ по критерию согласия χ^2 [6].

Для реализации статистического эксперимента разработан следующий вычислительный алгоритм: 1. Общая часть. 2. Генерация искусственных выборок и их статистическое исследование. 3. Расчетно-графический анализ уровней значимости α_{kl} . 4. Составление номограммы для оптимальной разбивки размаха варьирования R.

Из общей совокупности данных $x_i = \lg N_i$ составляют вариационный ряд и определяют основные статистики этого ряда:

$$\bar{x}_o = \sum_{i=1}^{n_o} x_i / n_o, \quad s_o^2 = \frac{1}{n_o - 1} \left[\sum_{i=1}^{n_o} x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{n_o} x_i \right)^2 / n_o \right], \quad v_o = s_o / \bar{x}_o, \quad i = \overline{1, n_o}. \quad (4)$$

Таблица 1

План статистического эксперимента

№ серии статист. эксп.	Объем выборки, n_i	К-во повторных выборок, u_i	Интервалы разбивки размаха R_i		К-во составления статистических таблиц χ^2 , $q_i u_i$
			к-во интервалов, $j_i = \overline{8, e_i}$	к-во процедур, q_i	
Общ. совокупн.	500	1	8 ... 30	23	23
1	450	100	8 ... 30	23	2300
2	400				
3	350				
4	300				
5	250				
6	200		8 ... 25	18	1800
7	175				
8	150				
9	125		8 ... 20	13	1300
10	100				
11	90				
12	80				
13	70		8 ... 15	8	800
14	60				
15	50				
16	40		8 ... 12	5	500
17	30				
Общее к-во расчетных процедур		1701	-		25523

Затем производят комплексную проверку нормальности распределения [6].

2. Согласно схеме проведения статистического эксперимента (табл.1), из общей совокупности генерируются искусственные выборки (n_i, u_i) .

Для каждого вариационного ряда k объемом $v = \overline{1, n_i}$ аналогично (4) определяют статистики $\bar{x}_k, s_k^2, v_k$. По завершении каждой серии вычислений (n_i, u_i) с целью обобщения результатов составляют вариационные ряды значений $\bar{x}_k, s_k^2, v_k, k = \overline{1, u_i}$, вычисляют средние $\bar{x}_i, s_i^2, v_i$, а также их с.к.о. и коэффициенты вариации:

$$\begin{cases} \bar{x}_i = \sum_{k=1}^{u_i} \bar{x}_k / u_i, & s_{\bar{x}_i}^2 = \frac{1}{u_i - 1} \left[\sum_{k=1}^{u_i} \bar{x}_k^2 - \left(\sum_{k=1}^{u_i} \bar{x}_k \right)^2 / u_i \right], & v_{\bar{x}_i} = s_{\bar{x}_i} / \bar{x}_i; \\ s_i^2 = \sum_{k=1}^{u_i} s_k^2 / u_i, & s_{s_i^2}^2 = \frac{1}{u_i - 1} \left[\sum_{k=1}^{u_i} (s_k^2)^2 - \left(\sum_{k=1}^{u_i} s_k^2 \right)^2 / u_i \right], & v_{s_i^2} = s_{s_i^2} / s_i^2; \\ v_i = \sum_{k=1}^{u_i} v_k / u_i, & s_{v_i}^2 = \frac{1}{u_i - 1} \left[\sum_{k=1}^{u_i} v_k^2 - \left(\sum_{k=1}^{u_i} v_k \right)^2 / u_i \right], & v_{v_i} = s_{v_i} / v_i. \end{cases} \quad (5)$$

На основании (5) формируют одномерную статистическую таблицу для данной серии экспериментов (табл.2).

Проверяют однородность ряда дисперсий s_k^2 по критерию Кочрена [1]:

$$G_{\max} = s_{\max}^2 / \sum_{k=1}^{u_i} s_k^2 \leq G_{\max, \alpha}, \quad (6)$$

где $s_{\max}^2$ - максимальная дисперсия вариационного ряда s_k^2 ; $G_{\max, \alpha}$ - критериальное значение $G_{\max}$ при $\alpha = 0,05, k = n - 1$.

Отсутствие априорной информации о законе распределения этих величин вызывает необходимость проведения комплексной проверки нормальности вариационных рядов $\bar{x}_k, s_k^2, v_k$ по критериям согласия w, ω^2, λ и χ^2 [6]. Как показала проверка, рассмотренные вариационные ряды с надежностью вывода $\alpha = 0,05$ соответствуют нормальному закону, что подтверждается также графическими построениями эмпирических функций распределения и их доверительных границ.

Статистики $\bar{x}_i, s_i^2$ и v_i (табл.2) фактически являются медианными характеристиками обобщенной (априорной) выборки для серии экспериментов (n_i, u_i) .

Таблица 2

Схема вычислений для одной серии статистических экспериментов ($n_i = \text{const}$)

№ повторных выборок	Вариационные ряды $X_{kv}, v = \overline{1, n_i}$	$\bar{X}_k$	S_k^2	V_k
1	$X_{11}, X_{12}, X_{13}, \dots, X_{1v}, \dots, X_{1n_i}$	$\bar{X}_1$	S_1^2	V_1
2	$X_{21}, X_{22}, X_{23}, \dots, X_{2v}, \dots, X_{2n_i}$	$\bar{X}_2$	S_2^2	V_2
3	$X_{31}, X_{32}, X_{33}, \dots, X_{3v}, \dots, X_{3n_i}$	$\bar{X}_3$	S_3^2	V_3
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
k	$X_{k1}, X_{k2}, X_{k3}, \dots, X_{kv}, \dots, X_{kn_i}$	$\bar{X}_k$	S_k^2	V_k
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
u_i	$X_{u_i1}, X_{u_i2}, X_{u_i3}, \dots, X_{u_iv}, \dots, X_{u_in_i}$	$\bar{X}_{u_i}$	$S_{u_i}^2$	V_{u_i}
Обобщенные статистики	средние значения	$\bar{X}_i$	S_i^2	V_i
	среднеквадратические отклонения	$S_{\bar{X}_i}^2$	$S_{S_i^2}^2$	$S_{V_i}^2$
	коэффициенты вариации	$V_{\bar{X}_i}$	$V_{S_i^2}$	V_{V_i}

3. Каждый вариационный ряд значений $x_{kv}, k = \overline{1, u_i}, v = \overline{1, n_i}$ (табл.2) проверяется на нормальность распределения согласно критерию χ^2 из условия (1), в расчетной процедуре которого предусмотрены разбивка размаха варьирования ряда $R_i = (x_{kn_i} - x_{k1})$ на равные интервалы $j_i = \overline{8, e_i}$ (табл.1), расчет статистики χ^2 и составление одномерной статистической таблицы, проверка неравенства (1) или расчеты значений уровней значимости α_{kl} (2). Эта процедура для каждого вариационного ряда повторяется q_i раз, а для одной серии экспериментов - $u_i q_i$ раз (табл.1). В итоге, для каждого вариационного ряда x_{kv} получают новую совокупность значений $\alpha_{kl}, k = \overline{1, u_i}, l = \overline{1, q_i}$, которые являются условными случайными величинами.

Составляют вариационные ряды α_{kl} и выполняют расчетные процедуры согласно (4), (5), определяют $\bar{\alpha}_k, S_{\alpha_k}^2, V_{\alpha_k}$, их средние значения $\bar{\alpha}_i, S_{\alpha_i}^2, V_{\alpha_i}$, а также их с.к.о. и коэффициенты вариации. Из каждого ряда выделяют максимальное значение $\alpha_{\max k} = \alpha_{kq_i}$ и соответствующее ему оптимальное значение e_{opt_k} . В результате получают два новых вариационных ряда - $\alpha_{\max k}$ и e_{opt_k} . Учитывая, что

законы распределения вариационных рядов $\alpha_{kl}, \alpha_{\max k}$ и e_{opt_k} неизвестны, целесообразно произвести полное статистическое исследование этих рядов согласно [6]. Из них

наибольший интерес представляют вариационные ряды $\alpha_{\max_k}$ и e_{opt_k} , основные статистики которых равны

$$\begin{cases} \alpha_{\max_i} = \frac{\sum_{k=1}^{u_i} \alpha_{\max_k}}{u_i}, s_{\alpha_{\max_i}}^2 = \frac{1}{u_i - 1} \left[\sum_{k=1}^{u_i} \alpha_{\max_k}^2 - \left(\sum_{k=1}^{u_i} \alpha_{\max_k} \right)^2 / u_i \right], v_{\alpha_{\max_i}} = \frac{s_{\alpha_{\max_i}}}{\alpha_{\max_i}}, \\ e_{\text{opt}_i} = \frac{\sum_{k=1}^{u_i} e_{\text{opt}_k}}{u_i}, s_{e_{\text{opt}_i}}^2 = \frac{1}{u_i - 1} \left[\sum_{k=1}^{u_i} e_{\text{opt}_k}^2 - \left(\sum_{k=1}^{u_i} e_{\text{opt}_k} \right)^2 / u_i \right], v_{e_{\text{opt}_i}} = \frac{s_{e_{\text{opt}_i}}}{e_{\text{opt}_i}}. \end{cases} \quad (7)$$

На основе вычислений составляют табл.3.

Таблица 3

Схема вычислений α_{kl} и выбора $\alpha_{\max_k}$, e_{opt_k} для одной серии статистических экспериментов ($q_i = \text{const}$)

№ повторных выборок	Вариационные ряды α_{kl} ($l = \overline{1, q_i}$)	$\overline{\alpha}_k$	$s_{\alpha_k}^2$	v_{α_k}	$\alpha_{\max_k}$	e_{opt_k}
1	$\alpha_{11}, \alpha_{12}, \alpha_{13}, \dots, \alpha_{1l}, \dots, \alpha_{1q_i}$	$\overline{\alpha}_1$	$s_{\alpha_1}^2$	v_{α_1}	$\alpha_{\max_1}$	e_{opt_1}
2	$\alpha_{21}, \alpha_{22}, \alpha_{23}, \dots, \alpha_{2l}, \dots, \alpha_{2q_i}$	$\overline{\alpha}_2$	$s_{\alpha_2}^2$	v_{α_2}	$\alpha_{\max_2}$	e_{opt_2}
3	$\alpha_{31}, \alpha_{32}, \alpha_{33}, \dots, \alpha_{3l}, \dots, \alpha_{3q_i}$	$\overline{\alpha}_3$	$s_{\alpha_3}^2$	v_{α_3}	$\alpha_{\max_3}$	e_{opt_3}
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
k	$\alpha_{k1}, \alpha_{k2}, \alpha_{k3}, \dots, \alpha_{kl}, \dots, \alpha_{kq_i}$	$\overline{\alpha}_k$	$s_{\alpha_k}^2$	v_{α_k}	$\alpha_{\max_k}$	e_{opt_k}
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
u_i	$\alpha_{u_i 1}, \alpha_{u_i 2}, \alpha_{u_i 3}, \dots, \alpha_{u_i l}, \dots, \alpha_{u_i q_i}$	$\overline{\alpha}_{u_i}$	$s_{\alpha_{u_i}}^2$	$v_{\alpha_{u_i}}$	$\alpha_{\max_{u_i}}$	$e_{\text{opt}_{u_i}}$
Обобщенные статистики	средние значения	$\overline{\alpha}_i$	$s_{\alpha_i}^2$	v_{α_i}	$\alpha_{\max_i}$	e_{opt_i}
	среднеквадратические отклонения	$s_{\overline{\alpha}_i}^2$	$s_{s_{\alpha_i}^2}^2$	$s_{v_{\alpha_i}}^2$	$s_{\alpha_{\max_i}}^2$	$s_{e_{\text{opt}_i}}^2$
	коэффициенты вариации	$v_{\overline{\alpha}_i}$	$v_{s_{\alpha_i}^2}$	$v_{v_{\alpha_i}}$	$v_{\alpha_{\max_i}}$	$v_{e_{\text{opt}_i}}$

Выполнены проверки:

а) на однородность дисперсий $s_{\alpha_k}^2$, $k = \overline{1, u_i}$ согласно (6) –

$$G_{\max} = 0,1002 < G_{\max, \alpha} \quad (G_{\max, \alpha} = 0,1108);$$

б) “нулевой” гипотезы нормальности распределения вариационных рядов α_{kl} , $\alpha_{\max_k}$ и e_{opt_k} согласно программе SMDA [6] – рассмотренные ряды с надежностью вывода $\alpha = 0,05$ соответствуют нормальному закону распределения.

Указанные проверки позволяют определить вероятностные значения $\hat{\alpha}_{\max_{ip}}$ и $\hat{e}_{\text{opt}_{ip}}$ из условия

$$\hat{x}_p = \bar{x} + z_p s \quad (8)$$

для вероятностей неразрушения $P(N)=0,5, 0,9, 0,99$ и $0,999$ ($z_p = 0, -1,28, -1,65, -2,33$ и $-3,09$) с использованием соответствующих значений *с.к.о.* – $s_{\alpha_{\max_i}}$ и $s_{e_{\text{opt}_i}}$.

4. Составляют сводную таблицу результатов статистического эксперимента (табл.4). Предварительный графический анализ обобщенных (априорных) результатов, согласно табл.4, свидетельствует о наличии связи между рассмотренными величинами и объемом выборки (рис.1).

Таблица 4

Сводная таблица результатов статистического эксперимента ($i = \overline{1, m}$)

№ серии испыт.	n_i	u_i	q_i	$\alpha_{\max_i}$			e_{opt_i}		
				$\alpha_{\max_i}$	$s_{\alpha_{\max_i}}^2$	$v_{\alpha_{\max_i}}$	e_{opt_i}	$s_{e_{\text{opt}_i}}^2$	$v_{e_{\max_i}}$
Общ. совокупн.	500	1	23	$\alpha_{\max_o}$	$s_{\alpha_{\max_o}}^2$	$v_{\alpha_{\max_o}}$	e_{opt_o}	$s_{e_{\text{opt}_o}}^2$	$v_{e_{\max_o}}$
1	n_1	u_1	q_1	$\alpha_{\max_1}$	$s_{\alpha_{\max_1}}^2$	$v_{\alpha_{\max_1}}$	e_{opt_1}	$s_{e_{\text{opt}_1}}^2$	$v_{e_{\max_1}}$
2	n_2	u_2	q_2	$\alpha_{\max_2}$	$s_{\alpha_{\max_2}}^2$	$v_{\alpha_{\max_2}}$	e_{opt_2}	$s_{e_{\text{opt}_2}}^2$	$v_{e_{\max_2}}$
3	n_3	u_3	q_3	$\alpha_{\max_3}$	$s_{\alpha_{\max_3}}^2$	$v_{\alpha_{\max_3}}$	e_{opt_3}	$s_{e_{\text{opt}_3}}^2$	$v_{e_{\max_3}}$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
i	n_i	u_i	q_i	$\alpha_{\max_i}$	$s_{\alpha_{\max_i}}^2$	$v_{\alpha_{\max_i}}$	e_{opt_i}	$s_{e_{\text{opt}_i}}^2$	$v_{e_{\max_i}}$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
m	n_m	u_m	q_m	$\alpha_{\max_m}$	$s_{\alpha_{\max_m}}^2$	$v_{\alpha_{\max_m}}$	e_{opt_m}	$s_{e_{\text{opt}_m}}^2$	$v_{e_{\max_m}}$

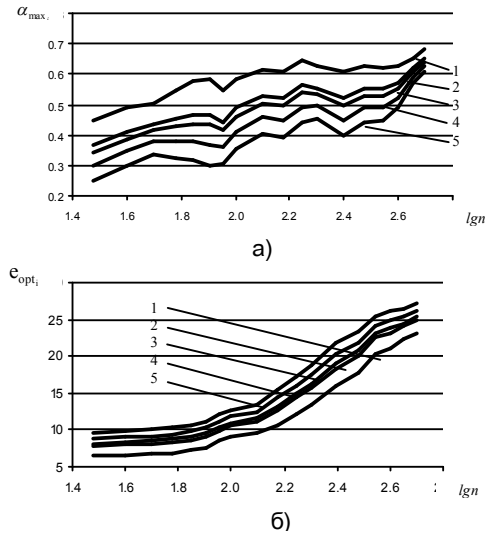


Рис 1. Зависимости $\alpha_{\max_i} = f_1(n)$ (а) и $e_{opt_i} = f_2(n)$ (б).

Линии 1...5 соответствуют $P(N)=0,5, 0,9, 0,95, 0,99$, и $0,999$

В координатной системе $(y, \lg n)$ их можно аппроксимировать уравнениями вида

$$Y_x = (\bar{y} + z_p s_{y/x}) + (x - \bar{x}) r s_y / s_x = a + b_{y/x} x, \quad (9)$$

где $y_i = \alpha_{\max_i}$, $v_{\alpha_{\max_i}}$, e_{opt_i} , $v_{e_{opt_i}}$, $x_i = \lg n_i$, $\bar{y} = \sum_{i=1}^m y_i / m$, $\bar{x} = \sum_{i=1}^m x_i / m$,

$$s_y = \sqrt{\sum_{i=1}^m (y_i - \bar{y})^2 / (m-1)}, s_x = \sqrt{\sum_{i=1}^m (x_i - \bar{x})^2 / (m-1)}, r = \mu / s_x s_y,$$

$$\mu = \sum_{i=1}^m (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) / (m-1), s_{y/x} = s_y \sqrt{(1-r^2)(m-1)/(m-2)}, a = (\bar{y} + z_p s_{y/x}) - b_{y/x} \bar{x},$$

$$b_{y/x} = r s_y / s_x = \mu / s_x^2.$$

Вычисления свидетельствуют о высокой степени корреляционной связи между рассмотренными величинами (табл.5).

Таблица 5

Параметры зависимостей (9) при $P(N) = 0,5$

Статистики	a	$b_{y/x}$	$s_{y/x}$	r
$\alpha_{\max_i}$	0,27940	0,14761	0,02608	0,91055
$v_{\alpha_{\max_i}}$	1,17273	-0,33327	0,04074	-0,95404
e_{opt_i}	-19,84957	15,16423	1,91577	0,95115
$v_{e_{opt_i}}$	0,31487	-0,08816	0,01459	-0,92022

Для обоснования интервальных значений e_{opt_i} в связи с вариацией объема n_i можно использовать систему линейных уравнений, полученную согласно (9):

$$\begin{cases} \alpha_{\max_i} = a_1 + b_1 \lg n, \\ e_{opt_i} = a_2 + b_2 \lg n, \\ v_{e_{opt_i}} = a_3 + b_3 \lg n, \end{cases} \quad (10)$$

в которой параметром является квантиль нормального распределения.

С учетом требований номографии [7], для облегчения графических построений несколько видоизменяют систему (10):

$$\begin{cases} \alpha_{\max_i} = A_1 + B_1 e_{opt_i}, \\ e_{opt_i} = a_2 + b_2 \lg n, \\ v_{e_{opt_i}} = a_3 + b_3 \lg n, \end{cases} \quad (11)$$

где $A_1 = (a_1 b_2 - a_2 b_1) / b_2$, $B_1 = b_1 / b_2$.

В результате получают номограмму $\alpha_{\max_i} - e_{opt_i} - v_{e_{opt_i}} - \lg n_i - z_p$ (рис.2), позволяющую доступным способом произвести отбор параметров для интересующего интервала n_i с учетом заданного уровня вероятности неразрушения $P(N)$.

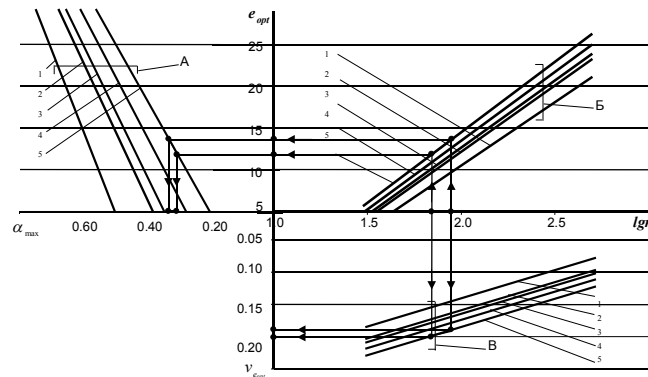


Рис. 2. Номограмма $\alpha_{\max_i} - e_{opt_i} - v_{e_{opt_i}} - \lg n_i - z_p$.

$$A - \alpha_{\max_i} = F(e_{opt_i}), \quad B - e_{opt_i} = f_1(\lg n), \quad \text{и} \quad B - v_{e_{opt_i}} = f_2(\lg n).$$

Линии 1...5 соответствуют $P(N)=0,5, 0,9, 0,95, 0,99$, и $0,999$

Система (11) и номограмма (рис.2) обобщают результаты статистического эксперимента, произведенного на базе массовых испытаний на усталость образцов из алюминиевого сплава марки *AB*. С помощью номограммы можно решать следующие задачи:

1. В диапазоне $n_i = 30 \dots 500$, чаще всего встречающемся в механических испытаниях, для заданных объемов выборок n_i и уровня

$P(N)$ определить значения e_{opt_i} , коэффициента вариации $V_{e_{opt_i}}$ и ожидаемый уровень значимости α_{max} .

2. В диапазоне $e_{opt_i} = 5...30$ для любых значений e_{opt_i} при заданном $P(N)$ определить необходимый объем выборки n_i и ожидаемый уровень значимости α_{max} .

3. При заданных уровнях α_{max_i} и $P(N)$ определить интервальные значения e_{opt_i} и n_i .

4. При заданных значениях α_{max_i} , e_{opt_i} и n_i определить уровень вероятности неразрушения $P(N)$.

5. Произвести парный или комплексный учет требований пп.1...4.

При $P(N) = 0,99...0,999$, чаще всего применяемом в уточненных расчетах, и объемах выборок $n_i = 50...55$ оптимальное число разбивки составляет $e_{opt_i} = 8...11$, что обеспечивает уровень

$$\alpha_{max_i} = 0,3025 \dots 0,3585.$$

Сравнение результатов исследования и ранее рекомендованных в справочной литературе указывает на некоторые расхождения значений e_{opt_i} для $P(N) = 0,99...0,999$: при $n = 100$ - на 20%; $n = 200$ - на 30%; $n = 400$ - на 30%.

Выполненное статистическое исследование позволило совершенствовать и дополнить расчетную методику, расширяя ее возможности:

а) впервые дана оценка выбора интервала e_{opt_i} , который обосновывается оптимизацией уровня значимости α_{max_i} , повышающей достоверность критериальной оценки согласия χ^2 ;

б) расширены границы применения рекомендаций до значений $n_i = 30...100$, чаще встречающихся при реализации механических испытаний;

в) благодаря разработанной номограмме в лабораторных условиях можно оптимизировать процесс научного эксперимента и производить критериальную оценку его результатов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Степнов М.Н.** Статистические методы обработки результатов механических испытаний: Справ. - М.: Машиностроение, 1985. - 232 с.
2. **Олейник Н.В., Стакян М.Г., Оганесян Л.Г.** Вероятностная оценка параметров режима нагружения валов // Надежность и долговечность машин и сооружений: Межвед. сб. науч. тр. - Киев: Наукова думка, 1989.- Вып.16. - С. 46-55.
3. **Стакян М.Г., Манукян Г.А.** Об уравнении кривой коррозионной усталости конструкционных материалов //ФХММ.- 1990. -Т.26, 15. - С.57-60.

4. **Стакян М.Г., Исаханян Н.С.** Программное обеспечение и применение ЭВМ при массовых измерениях микротвердости // Методы и средства определения твердости материалов и изделий: Тез. докл. Всесоюз. науч.-тех. конф. (г.Иваново, 13-16 марта, 1990г.). - Иваново, 1991. - С. 50-51.
5. **Стакян М.Г., Джрбашян Т.Э.** Автоматизация поиска оптимальной схемы испытаний на усталость //Тез. докл. X Междунар. науч. конф. "Планирование и автоматизация эксперимента в научных исследованиях" /МЭИ. - М., 1992. - С. 75-76.
6. **Стакян М.Г., Демирханян А.Р.** Модифицированный метод проверки нормальности распределения результатов механических испытаний // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН.- 2000.- Т.53, 13.- С.271-280.
7. **Хованский Г.С.** Основы номографии. - М.: Наука, 1976. - 352 с.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 02.03.2001.

Մ. Գ. ՍՏԱԿՅԱՆ, Ա. Ռ. ԴԵՄԻՐԽԱՆՅԱՆ, Ա.Հ. ՍՈԴՈՄՈՆՅԱՆ

**ՄԵԽԱՆԻԿԱԿԱՆ ՓՈՐՁԱՐԿՈՒՄՆԵՐԻ ԱՐԴՅՈՒՆՔՆԵՐԻ ՆՈՐՄԱԼ ԲԱԾԵՄԱՆ
"ԶԵՐՈՅԱՆ" ՎԱՐԿԱԾԻ ԼԱՎԱՐԿՈՒՄԸ**

Մշակված է ծրագրային փաթեթ և իրականացված է վիճակագրական փորձարկում, որում օգտագործված են զանգվածային հոգնածային փորձարկումներով ստացված փուլային երկարակեցությունները: Գեներացված են այդ երկարակեցությունների՝ $n = 30...500$ ծավալով 1700 պայմանական ընտրանքներ և լավարկված է նրանց՝ լոգարիթմական նորմալ բաշխման օրենքին համապատասխանության ստուգման գործընթացն ըստ Պիրսոնի χ^2 համաձայնության չափանիշի: Որոշված են ընտրանքի փոփոխական լայնության լավագույն մասնատման e_{opt} թվերը, որոնք ապահովում են նշանակալիության մակարդակի α_{max} արժեքները: Բացահայտված են կոռելյացիոն կապեր e_{opt} , α_{max} և n - ի միջև և կառուցված է նոմոգրամ, որը թույլ է տալիս նվազարկել հոգնածային փորձարկումների ծավալը և տևողությունը:

M. G. STAKYAN, A.R. DEMIRKHANYAN, A.H. SOGHOMONYAN

**NORMAL "ZERO" HYPOTHESIS OPTIMIZATION DISTRIBUTION FOR MECHANICAL
TEST RESULTS**

A program package is investigated and a statistical analysis where a sample with cyclic lives obtained during mass fatigue tests is realized. 1700 conditioned samples with the volume of $n=30...500$ are generated and the checking process of corresponding conditioned samples to logarithmic normal law of distribution according to Pearson χ^2 criteria is optimized. Optimal numbers of divisions for selection deviation e_{opt} range providing the significance level α_{max} are found. The correlations between α_{max} and n are shown and the nomogram enabling to minimize the volume and test duration on fatigue is developed.

С.А. ГАСПАРЯН, Г.Л. СЛКУНИ

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ ШПОНОЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПОЛЯРИЗАЦИОННО – ОПТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Проведено экспериментальное исследование распределения напряжений шпоночного соединения с учетом способа передачи нагрузки методом фотоупругости. Описана методика реализации эксперимента с использованием компьютерного интерфейса. Дана оценка влияния параметров нагружения и размеров на максимальные значения напряжений и их градиентов.

Ключевые слова: шпоночное соединение, изохромы, интерфейс, концентрация напряжений, градиент напряжений.

Оценка эксплуатационной долговечности деталей машин предусматривает необходимость применения вероятностных характеристик усталостной прочности образцов. Возникновение и рост усталостной трещины обуславливаются градиентом напряжений на месте их концентрации [1]. С учетом этого на основе постулата “наиболее слабого звена” построена статистическая теория подобия усталостного разрушения для описания влияния конструктивных факторов на характеристики сопротивления усталости натуральных деталей по условию появления первой макроскопической трещины [2] посредством критерия подобия $L/\bar{G}$. При этом оценка усталостной прочности деталей машин возможна при наличии диаграммы распределения напряжений в зоне их концентрации, что предопределяет относительный градиент $\bar{G} = G/\sigma_{\max}$ и периметр рабочего сечения детали L . С этой целью представляется необходимым исследование напряженного состояния шпоночной канавки для уточнения распределения напряжений вдоль периметра концентратора с учетом влияния соотношения вращающего и изгибающего моментов, а также изменения длины канавки для выявления ее оптимального значения. Построение значения критерия подобия для предсказания усталостной долговечности валов-шпоночных соединений следует реализовать с учетом влияния вышеупомянутых параметров. Рассматривается наиболее применяемая в технике шпоночная канавка полукругового очертания в виде сквозного отверстия, учитывая, что концентрация напряжений канавки возникает вследствие совместного действия полукруга и галтели на дне канавки, а влияние последнего не отражается на общем характере распределения напряжений вдоль периметра скругления канавки.

Исследование закономерностей концентрации напряжений осуществлялось поляризационно-оптическим методом, выявляющим общую картину распределения напряжений вдоль контура шпоночной канавки. Суть этого метода заключается в том, что при нагружении вследствие двойного лучепреломления некоторых материалов наблюдается циклическое изменение интенсивности света, которое выражается

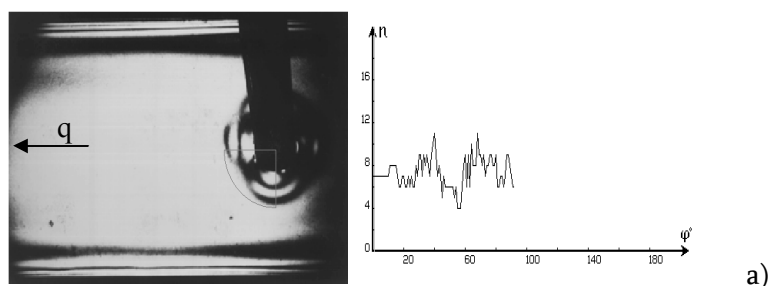
ввиду интерференции чередующимися полосами полного гашения света – изохромами [3].

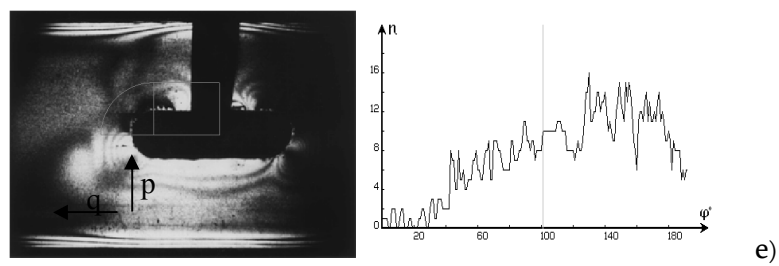
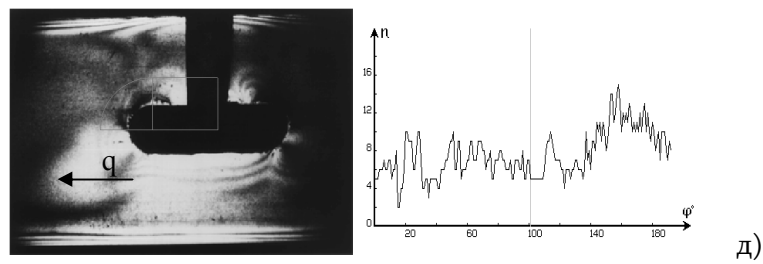
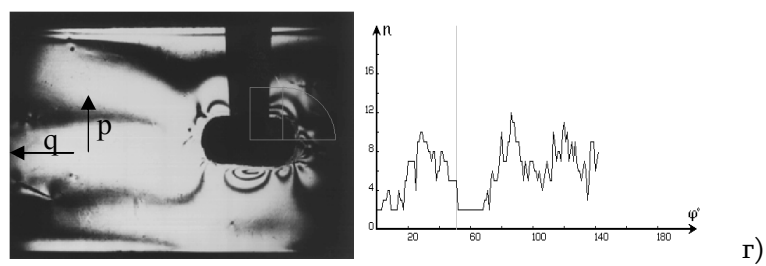
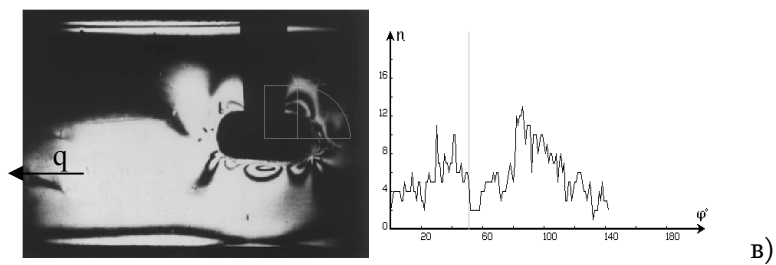
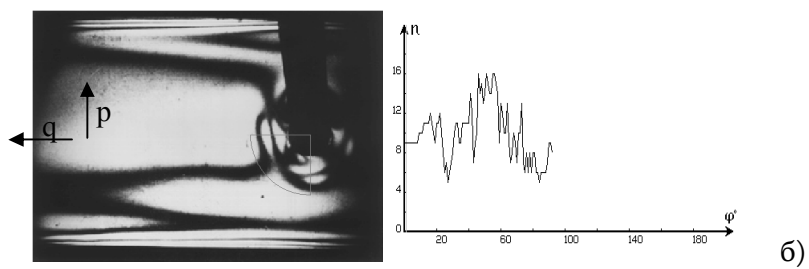


Рис.1

Опыты проводились на образцах, изготовленных из эпоксидной смолы, имеющей наилучшую оптическую чувствительность к двойному лучепреломлению, приобретаемому при возникновении в них напряжения. Образцы, имитирующие шпоночное соединение, выполнены в виде стержней прямоугольного сечения размером 125x25x4 мм со шпоночными отверстиями посередине, вставленными в них стальными призматическими шпонками разной длины $\ell=(1..4)d$ и ширины $d=6$ мм. Для снятия остаточных напряжений образцы подвергались обжигу при 100°C со скоростью нагрева и охлаждения около 2 град/час. Модуль упругости и предел прочности использованной эпоксидной смолы при комнатной температуре составляют примерно 320 МПа и 85 МПа соответственно. Опыты проводились на полярископах диффузионного типа ПКС-125 и Меопта (рис.1), обеспечивающих удовлетворительную точность полученных результатов для данного класса задач исследований. Нагружение образцов производилось приспособлением, при помощи пружин обеспечивалось приложение в регулируемых соотношениях растягивающих усилий в продольном и поперечном (через шпонку) направлениях, имитирующих тем самым изгиб вала и передачу крутящего момента. В использованных полярископах образцы просвечивались белым светом, создающим картину цветных полос изохром, которые позволяют повысить точность измерений в областях с небольшой величиной двойного лучепреломления. Для данной плоской задачи с учетом того, что на контуре концентратора $\sigma_2 = 0$, зависимость между двойным лучепреломлением и напряжением выражается в виде $n=Ct\sigma_1 / \lambda$, где λ - длина волны света; n - порядок (число) полос изохром; $C=13$ - оптическая чувствительность материала по напряжениям; t - толщина образца по линии просвечивания. Тарировка проводилась на исследуемых образцах, исключая определение оптической постоянной материала в процессе фотографирования (самотарлируемая модель). Напряжение в любой точке выражается в безразмерном виде, при этом порядок полос в соответствующих точках определялся методом фотографирования - вычерчиванием графика изменения порядка полос вдоль некоторой линии. Интерполирование в рассматриваемой точке производилось с помощью этого графика, предварительно используя

компенсацию порядка изохром методом Фриделя при помощи компенсатора Сенармона (пластинки $\lambda/4$ в сочетании с вращающимся анализатором, встроенные в полярископы), устанавливая наибольшую разность хода и применяя таблицу интерференционных цветов в зависимости от разности хода при проведении опыта белым светом. Обработка результатов опытов реализовалась использованием интерфейса – совокупностью средств и правил передачи опытных данных от испытательного оборудования к компьютеру в процессе проведения исследования. В качестве интерфейса применялась электронно-цифровая фотокамера для передачи интерференционной фотокарты от полярископа к компьютеру и обработки ее с помощью разработанной программы. Программа обработки написана на языке Borland Delphi. Окно операционной системы имеет параметр “канва” (область прорисовки – матрицу), элементы которого вносят значения яркости в соответствующей точке (пикселе). Полученное от фотокамеры изображение выводится на канву. Направление, вдоль которого лежат исследуемые точки канвы, задается вектором из некоторой точки $A(x_a, y_a)$ в точку $B(x_b, y_b)$, выбираемую произвольно. Перебирая последовательно все точки канвы вдоль вектора $\overline{AB}$, создается одномерный массив, элементы которого соответствуют значениям яркости в исследуемых точках. Далее, если построить график зависимости значений яркости элементов массива от их индекса, то обозначится много максимумов (ярких точек) и минимумов (темных точек). Подсчитав количество минимумов, найдем количество темных полос вдоль выбранного направления. Полученные экспериментальные кривые построены в координатах, по абсциссе которых отложен индекс вектора (φ^0), вдоль которого определено количество минимумов – полос изохром, отложенных по ординате. Графики изменения порядка полос строились обработкой полученных опытных данных – фотокарт, кривые распределения напряжений – в радиальном направлении. Для уточнения значений критерия подобия $L/\bar{G}$ с учетом влияния этих параметров определялись градиенты напряжений на основе $G = d\sigma_{\max}/dx$ посредством тангенсов угла наклона касательных в точке $\sigma_{\max}$ к оси абсцисс – $G = K \operatorname{tg} \theta = [d\sigma/dx]_{x=0}$, где K – масштабный коэффициент.





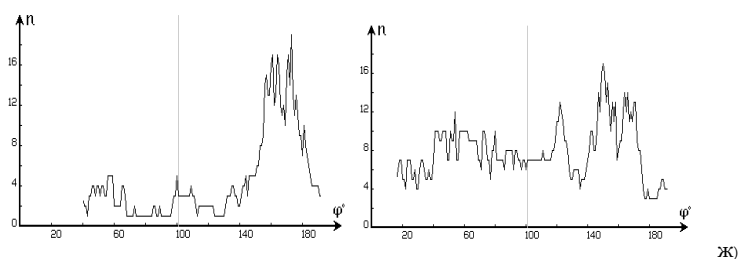


Рис.2. Кривые распределения напряжений при $a/d = 0 \dots 4$ и $p/q = 0 \dots 2$

На рис. 2 приведены результаты испытаний трех типов образцов при разных соотношениях $a/d = 0, 1, 3$ (с круговой, короткой и нормальной шпонкой), а также нагружении продольным растяжением $p/q = 0$ и совместном нагружении продольного растяжения и поперечного давления через шпонку $p/q = 1$, где слева даны фотоизображения распределения изохром при испытании образцов, справа – кривые распределения напряжений (выраженные через порядки полос изохром) по периметру квадрата концевой и прямоугольного участков шпоночного отверстия (рис.2 а,б,в,г,д,е), а для образцов с нормальной длиной шпонки приведены также кривые при значениях $p/q = 0,5$ и 2 (рис.2 ж).

С целью оценки коэффициентов концентрации напряжений и градиентов распределений в точке наибольшего значения при варьировании параметров a/d и p/q полученные экспериментальные кривые аппроксимированы функциональной зависимостью с наибольшим коэффициентом корреляции (рис. 3, 4).

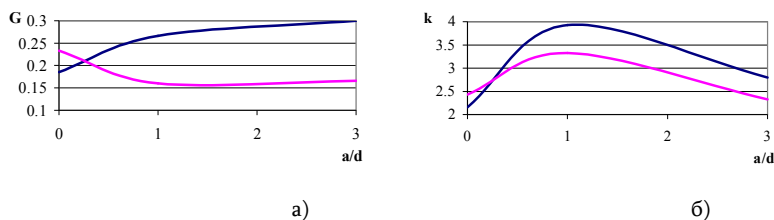


Рис. 3

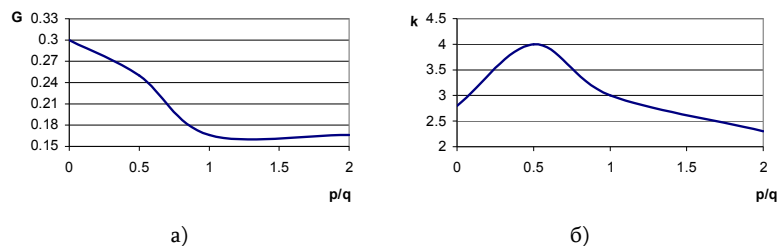


Рис. 4

Как видно, значения коэффициентов концентрации напряжений аналогичны приведенным в [1] и [4] и идентичны в заданном диапазоне параметров значениям, полученным теоретически в [5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Петерсон Р.** Коэффициенты концентраций напряжений. –М.: Мир, 1977.- 302 с.
2. **Кобаев В.П.** Расчеты на прочность при напряжениях, переменных во времени. -М.: Машиностроение, 1977.- 430 с.
3. **Дюрелли А., Райли У.** Введение в фотомеханику. –М.: Мир, 1970. - 485 с.
4. **Fessler H., Eissa M.** Elastic stresses due to torque transmit through prismatic part of keyed connections // Proceedings of the 7th International Conf., 23-27 August, 1982. – P. 363-370.
5. **Гаспарян С.А., Шемян Л.А.** Оценка усталостной долговечности валов- шпоночных соединений // Тез. докл. Межд. конф. “Оценка и обоснование продления ресурса элементов конструкции”, 6 – 9 июня 2000 г, Киев. - С. 315-316.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 12.02.2001.

Ս.Հ. ԳԱՍՊՐՅԱՆ, Հ.Լ. ՍԼԿՈՒՆԻ

ԼԱՐՈՒՄՆԵՐԻ ԲԱՇԽՄԱՆ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒՄԸ ԵՐԻԹԱՎՈՐ ՄԻԱՅՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐՈՒՄ ԼՈՒՍԱՆՈՍՁԳԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՄԵԹՈԴՈՎ

Անց է կացվել երիթավոր միացության լարումների կուտակման փորձարարական հետազոտություն լուսաառաձգականության մեթոդով բեռնվածքի փոխանցման եղանակի հաշվառմամբ: Նկարագրված է համակարգչային ինտերֆեյսի կիրառմամբ գիտափորձի իրականացման մեթոդիկան: Տրված է լարումների կուտակման գոտում դրանց առավելագույն արժեքների ու գրադիենտների վրա չափային ու բեռնավորման հարաչափերի ազդեցության գնահատումը:

S.H. GASPARYAN, G.L. SLKOUNI

INVESTIGATION OF STRESS DISTRIBUTION IN KEYED JOINTS BY PHOTOELASTISITY METHOD

An experimental investigation of stress distribution at the stress concentration zone of keyed joints has been carried out subject to the way of load transmission. The procedure of realization of the experiment with application of computer interface is described. Evaluation of loading and dimension parameter influence on maximal stresses and gradients at the concentration zone is given.

Н.В. МАНУКЯН, М.М. НУБАРИ

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПОЛУЧЕНИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

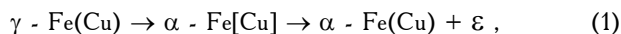
2. ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ МЕДЬСОДЕРЖАЩИХ ПОРОШКОВЫХ СТАЛЕЙ

Излагаются результаты исследований металлокерамических сплавов <Fe-Cu>, легированных углеродом, молибденом и никелем. Дается сравнительный анализ структуры и свойств этих сплавов, полученных прессованием-спеканием, горячей штамповкой и горячей экструзией. Высокие степени деформации (60(90%) и наличие девиатора напряжений при экструзии обеспечивают получение беспористых структур, а следовательно, максимальных физико-механических свойств.

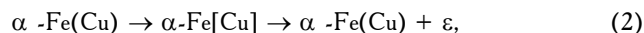
Ключевые слова: конструкционные порошковые материалы, прессование и спекание, экструзия, структура и свойства, синтез разнородных материалов.

Как отмечалось [1], повышение свойств металлокерамических материалов и изделий конструкционного назначения прежде всего связано с устранением структурной пористости. Решение этой задачи зависит не только от совершенствования процессов формования и спекания порошковых материалов, т.е. от технологии их компактирования, но и от рационального выбора композиции. При этом необязательно воспроизводить составы стандартных сталей и сплавов, а следовательно, придерживаться разработанных для них рекомендаций. Универсальность технологии порошковой металлургии позволяет более рациональными путями достигать уровней свойств базовых материалов, а в ряде случаев значительно превосходить их.

Рассмотрим систему <Fe – C – Cu>. На рис. 1 представлена часть диаграммы состояния <Fe – Cu> сплава. Как известно [2], медь расширяет область (- Fe. Растворимость меди в (- Fe больше (8,0...8,5% Cu, 1094 °C), чем в α-Fe (~ 2,1...3,0% Cu, 857 °C). С уменьшением температуры, т.е. с охлаждением сплава, из γ- области выпадает ε- фаза, содержащая до 2,0% Fe в меди. При комнатной температуре количество связанной [в виде α-Fe(Cu)] меди в <Fe – Cu> сплаве не превышает 0,2...0,3% Cu. Все железомедные сплавы подвержены дисперсионному твердению с выделением кристаллитов (дисперсоидов) меди, т.е. ε - фазы. Из диаграммы <Fe – Cu> видно, что дисперсионное твердение можно осуществить путем закалки и отпуска либо из (-области, особенно сплавов с высоким содержанием меди, либо из α- области, т.е. ниже температуры 857 °C. В первом случае термообработка осуществляется по механизму



во втором случае –



где $\alpha\text{-Fe[Cu]}$ – пересыщенный твердый раствор Cu в $\alpha\text{-Fe}$; $\alpha\text{-Fe(Cu)}$ – твердый раствор Cu в $\alpha\text{-Fe}$ (менее 0,1% Cu); ε – фаза.

Интерметаллических соединений в системе $\langle \text{Fe} - \text{Cu} \rangle$ не обнаружено.

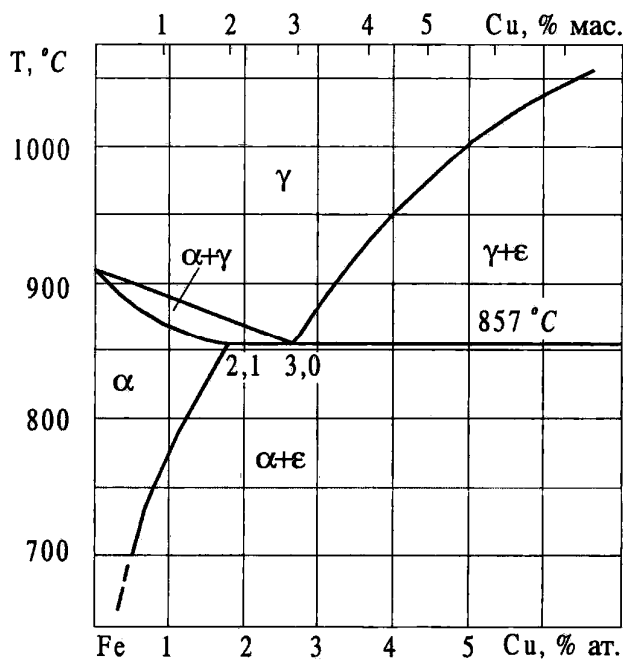


Рис. 1. Диаграмма состояния $\langle \text{Fe} - \text{Cu} \rangle$ [3]

Медь – сильный графитизирующий элемент, т.е. замедляет диффузию углерода в железо, а следовательно, препятствует образованию твердых растворов $\alpha\text{-Fe(C)}$ и $\gamma\text{-Fe(C)}$, а также цементита Fe_3C . В диаграмме сплава $\langle \text{Fe} - \text{C} - \text{Cu} \rangle$ происходит смещение точки S влево, т.е. в сторону низкого содержания углерода. Медь уменьшает критическую скорость закалки (за счет смещения точки S), а следовательно, увеличивает прокаливаемость стали.

Углерод и медь соответственно повышают прочностные свойства стали и сплава, а значит, снижают пластические свойства (рис. 2 [4]). Как видно из рис. 2, стали с 0,3...0,5% C и сплавы с 1,6...3,2% Cu имеют примерно равный интервал прочности, т.е. $\sigma_b \approx 525...565 \text{ МПа}$. При этом диапазон соотношения масс Cu/C колеблется в пределах 5,3...6,4, т.е. упрочнение углеродом многократно больше, чем медью. Такая же закономерность сохраняется и по пластичности. Так, сталь $\langle \text{Fe} - 0,25\% \text{C} \rangle$ и сплав $\langle \text{Fe} - 1,6\% \text{Cu} \rangle$ имеют одинаковое удлинение $\delta = 20\%$ при $\text{Cu/C} \approx 6,4$. И еще одна особенность: для сталей $\langle \text{Fe} - \text{C} \rangle$ с

увеличением содержания углерода соотношение $\sigma_b/\sigma_s > 1$ существенно возрастает (кривые σ_b и σ_s расходящиеся, рис. 2), для сплавов $\langle \text{Fe} - \text{Cu} \rangle$ соотношение σ_b/σ_s практически не изменяется, т.е. остается почти постоянным. Это объясняется тем, что карбидные выделения (Fe_3C) значительно сильнее упрочняют сталь (σ_b , НВ), а следовательно, больше охрупчивают ее, чем выделения меди охрупчивают $\langle \text{Fe} - \text{Cu} \rangle$ сплав.

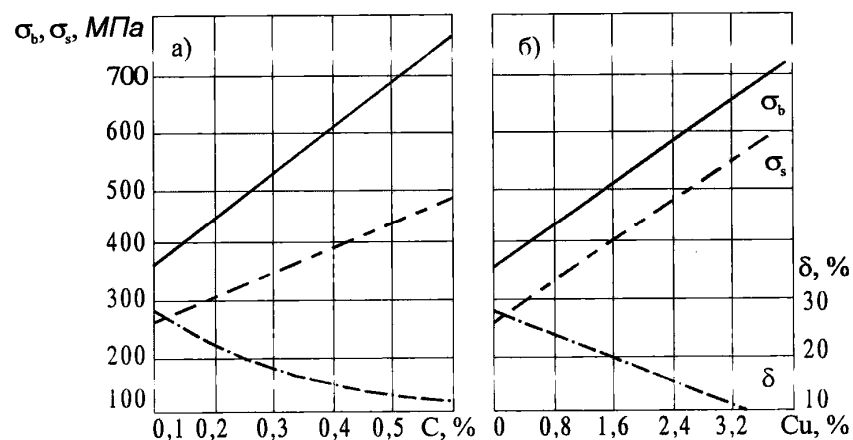


Рис. 2. Влияние углерода и меди на свойства литого железа

Нами исследовано влияние углерода и меди на механические свойства порошкового железа; некоторые результаты представлены на рис. 3. Образцы для экспериментов изготавливали из железных порошков производства Казвинского завода порошковой металлургии (табл. 1). В качестве легирующих элементов использовали графит марки $\langle \text{A} \rangle$ (ГОСТ 4404-73) и медный порошок $\langle \text{ПМР-A2} \rangle$ ($\geq 99,8\% \text{ Cu}$, ТУ 48-0318-083-94). Путем смешивания компонентов приготавливали однородную шихту, которую формовали в заготовки и спекали, затем подвергали горячему прессованию ($\sim 1150^\circ \text{C}$) или экструзии ($\sim 1150^\circ \text{C}$). Пористость горячепрессованных образцов не превышала $2,0\%$; экструдированные образцы практически были компактными, т.е. беспористыми. Образцы для испытаний получали путем термической (нормализации) и механической обработки.

Таблица 1

Химический состав железных порошков

Марки порошков	Содержание элементов, % <i>max</i> (0~0,2% <i>max</i> ; н.о. (0,1...0,2%))							
	C	Si	Mn	S	P	Ni	Mo	Cu
МР – 1 (WPL – 200)	0,02	0,05	0,15	0,015	0,015	–	–	–
АМР – 1 (Ultrac – LA)						1,75	0,5	1,5

Сравнение рис. 2 и 3 показывает, что характер кривых σ_b и δ одинаков. Однако свойства горячепрессованных сталей (рис. 3 а) и сплавов (рис. 3 б) значительно ниже базовых (рис. 2 а, б). Так, для порошковых сталей $\langle \text{Fe} - 0,5\% \text{C} \rangle$ и сплава $\langle \text{Fe} - 3,0\% \text{Cu} \rangle$ – $\sigma_b = 420$ и 390 МПа , для базовых – $\sigma_b = 680$ и 640 МПа , т.е. прочность на разрыв в $\sim 1,6$ раза меньше. Аналогичная закономерность наблюдается и по пластичности, т.е. δ (рис. 3, кривые 3 и 3').

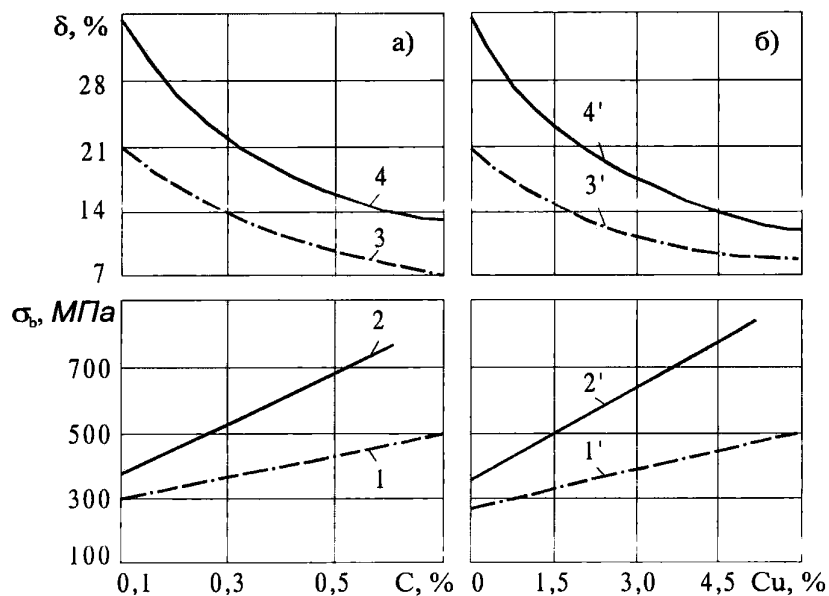


Рис. 3. Влияние углерода и меди на свойства порошкового железа:
 σ_b – горячепрессованные (1, 1'), экструдированные (2, 2');
 δ – горячепрессованные (3, 3'), экструдированные (4, 4')

Объяснить столь существенное различие механических свойств только влиянием остаточной пористости не совсем правомерно, тем более что она не превышала $\sim 2,0\%$. Другой и весьма весомой причиной низкого уровня свойств спеченных материалов является недостаточное *сращивание* [5], определяемое параметром, получившим название *мини-мальная степень деформации* (МСД). Так, для сращивания (схва-тывания) металлов при комнатной температуре МСД составляет [6, 7]: Fe – 81%, Ni – 90%, Cu – 80%, Al – 57% (при 377°C – 47%). Кроме МСД, важными критериями сращивания являются температура и продолжительность спекания (консолидация порошковых частиц). Как известно [8, 9], распыленные порошки (MP-1 и AMP-1 являются таковыми) имеют сферическую форму частиц, поэтому они требуют больших усилий формования (прессования) и повышенных температур спекания ($\sim 1200^\circ \text{C}$). Качество сращивания лучшим образом оценивается испытанием металлокерамических материалов на ударную вязкость (КС), если даже показатели σ_b и НВ у них будут сравнительно высокими.

Сказанное подтверждается результатами экспериментов на порошковых сталях $\langle \text{Fe} - \text{C} \rangle$ и сплавах $\langle \text{Fe} - \text{Cu} \rangle$, полученных горячей экструзией (рис. 3) при деформациях 75...80% (коэффициент вытяжки $\lambda = 4...5$) и температуре $\sim 1150^\circ\text{C}$. Как видно из рис. 3 (кривые 2-2' и 4-4'), прочность (σ_b) экструдированных порошковых материалов такая же, как и литых (рис. 2). Так, для стали $\langle \text{Fe} - 0,5\%\text{C} \rangle - \sigma_b \simeq 680 \text{ МПа}$; для $\langle \text{Fe} - 3,0\%\text{Cu} \rangle - \sigma_b \simeq 640 \text{ МПа}$. Что же касается пластичности (δ), то относительное удлинение больше. Например, для литых стали $\langle \text{Fe} - 0,5\%\text{C} \rangle$ и сплава $\langle \text{Fe} - 3,0\%\text{Cu} \rangle - \delta \simeq 13,2$ и $11,3\%$; для порошковых $- \delta \simeq 18,2$ и $17,5\%$. Это говорит о лучшем структурном строении экструдированных материалов, чем литых и горячепрессованных.

Наибольшее распространение в технологии порошковой металлургии нашли стали, содержащие 1,5...3,0%Cu, которые получают преимущественно однократным прессованием и спеканием [10]. В ряде случаев применяют горячие методы компактирования, в частности штамповку, разновидностью которой является динамическое горячее прессование [11]. Оптимальное сочетание механических свойств достигается в сталях с содержанием 4...5% Cu, при котором эффект дисперсионного твердения максимален. Что же касается углерода, то его предельное содержание, обеспечивающее повышение твердости после закалки (из γ - или α - области) и отпуска при 450°C , составляет $\sim 0,3\% \text{ C}$.

В этой связи большой интерес представляют исследования по совместному влиянию меди и углерода на порошковые стали. На рис. 4 приведены некоторые результаты таких исследований. Как и следовало ожидать, суммарного упрочнения стали от меди и углерода не происходит, что видно по характеру кривых 1 и 1' (рис. 4). Так, для стали $\langle \text{Fe} - 0,4\%\text{C} - 3,0\%\text{Cu} \rangle$ (рис. 4 а) прочность на разрыв $\sigma_b = 950 \text{ МПа}$, тогда как для стали $\langle \text{Fe} - 0,6\%\text{C} - 3,0\%\text{Cu} \rangle - \sigma_b = 1100 \text{ МПа}$. Это объясняется смещением (несовместимостью) процессов термического упрочнения $\langle \text{Fe} - \text{C} - \text{Cu} \rangle$ сплавов. Дело в том, что температура ($400...450^\circ\text{C}$) старения, при которой достигается максимальная твердость стали вследствие выделения меди (ϵ -фазы), значительно выше температуры ($200...250^\circ\text{C}$) отпуска углеродистых сталей конструкционного назначения, при которой формируется структура отпущенного мартенсита. Анализ полученных данных (рис. 4) наглядно демонстрирует перспективность применения экструзии к процессам получения медьсодержащих сталей и изделий из них.

Нами выполнены комплексные исследования по получению легированных сталей на основе порошков Ultracaps-LA (табл. 2). При этом были применены различные технологии компактирования, в том числе и горячая экструзия (табл. 2). Интерес к этим маркам порошков достаточно высок, так как их применяют в основном для деталей транспортной техники. К сожалению, плотность изготавливаемых из них изделий колеблется в недопустимо низких пределах $\gamma = 6,4...7,4 \text{ г/см}^3$. В табл. 2 впервые представлены результаты систематизированных исследований, по которым можно сделать целевой выбор технологии и материала.

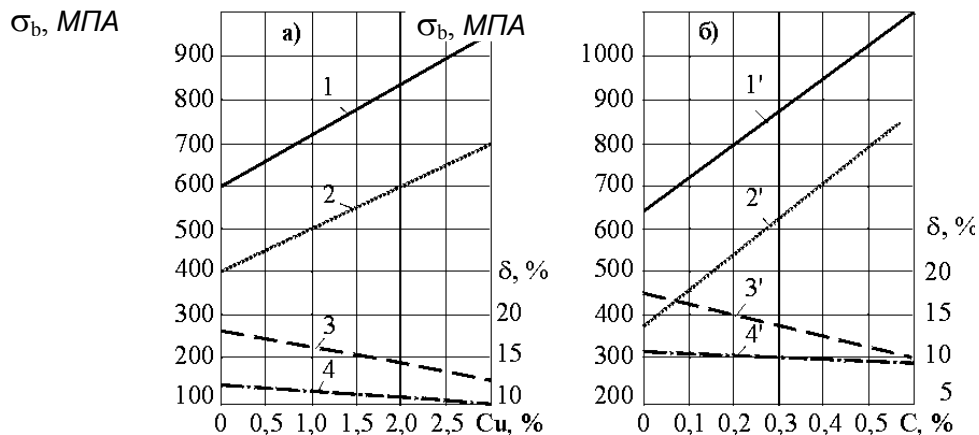


Рис. 4. Влияние меди (а) и углерода (б) на механические свойства порошковых сталей (а – на основе железного порошка МР-1, содержащего в сплавах $\langle \text{Fe} - \text{Cu} \rangle \sim 0,4\% \text{ C}$; б – на основе железного порошка МР-1, содержащего в сталях $\langle \text{Fe} - \text{C} \rangle \sim 3,0\% \text{ Cu}$); σ_b – экструдированные (1, 1'), горячепрессованные (2, 2'); δ – экструдированные (3, 3'), горячепрессованные (4, 4')

Как видно из табл. 2, сталь, получаемая однократным прессованием и спеканием, имеет самые низкие свойства. И тем не менее, при $\gamma = 7,0 \text{ г/см}^3$ показатели прочности стали вполне приемлемы для ряда деталей машин, работающих в условиях умеренных нагрузок. Экструдированная сталь отличается наибольшим уровнем свойств. Но главное достоинство этой стали – оптимальное сочетание прочности (σ_b , НВ) с пластичностью (δ , ψ , КС). Высокая ударная вязкость ($\text{КС} = 795 \text{ кДж/м}^2$) стали – следствие качественного сращивания порошковых частиц при экструзии, не достигаемого традиционными процессами прессования и спекания. Как известно [12], стали, при производстве которых консолидируются прочностные и пластические свойства, обладают большей надежностью и стабильностью свойств. Прочность (σ_b) и ударная вязкость (КС) экструдированной стали соответственно в $\sim 1,9$ и $4,0$ раза выше, чем прессованной и спеченной стали. Механические свойства сталей (табл. 2) можно существенно повысить, если их подвергнуть термической обработке (закалке, отпуску, старению).

Таким образом, при экструзии достигаются максимальные степени деформации, равные 60...90%, тогда как при статическом прессовании они не превышают 15...20% [13]. Кроме того, процесс экструзии отличается сдвиговыми пластическими деформациями, вызываемыми действием девиаторных напряжений [14]:

$$f = \alpha J_1^2 + 3 J^2 - \beta \sigma_s^2 = 0, \quad (3)$$

где α , β – функции пористости; J_1 – первый инвариант тензора напряжений; J_2 – второй инвариант девиатора напряжений.

При $\alpha = 0$, $\beta = 1$ критерий пластичности Куна и Дауни (3) переходит в критерий Губера-Мизеса (15). Именно реализация этих факторов, т.е. высоких степеней деформаций и сдвиговых пластических деформаций, обеспечивает получение беспористых структур при экструзии порошковых материалов.

Таблица 2

Механические свойства порошковой стали (АМР-1, Distaloy 4600 А), содержащей 0,4%С

Технология изготовления	γ , г/см ³	θ , %	σ_s , МПа	σ_b , МПа	НВ, МПа	δ , %	ψ , %	КС, кДж/м ²
Однократное прессование-спекание при 1150 °С	7,0	88,6	382	586	1980	4,8	5,5	195
Двукратное прессование - спекание при 1150 °С	7,4	93,7	475	734	2510	8,5	10,7	384
Однократное прессование - спекание при 1150 °С, горячее прессование при 1100 °С	7,7	97,5	610	845	2960	11,8	18,6	643
Однократное прессование - спекание при 1150 °С, горячая экструзия при 1100 °С	7,9	~ 100,0	820	1095	3250	16,7	29,8	795

Примечание: $\gamma = 7,9$ г/см³ – плотность порошковой стали (Distaloy 4600 А), содержащей 0,4%С; θ – относительная плотность медьсодержащих порошковых сталей.

По структурным исследованиям медьсодержащих порошковых сталей имеется мало информации. Между тем знание процессов структурообразования позволило бы лучшим образом прогнозировать их свойства. В этой связи нами выполнен комплекс металлографических исследований сталей, полученных по различным технологиям (табл. 2). Однородность распределения элементов в порошковых сталях определяли микрорентгеноспектральным анализом, для чего использовали рентгеновский микроанализатор JXA-5 (фирма JOUL, Япония) [16]. Результаты анализа регистрировали в виде чисел импульсов в точке или по линии сканирования, а также записывали с помощью электронного потенциометра в виде кривых распределения интенсивности характеристического излучения. Анализ проводили по каждому элементу с регистрацией интенсивности линии эталона.

Для сплавов, образующих твердые растворы замещения, основным является вакансионный механизм диффузии. Энергия активации диффузии элементов, растворенных по механизму замещения, на 30...50% выше, чем элементов, растворенных в феррите или аустените по механизму внедрения (табл. 3). Как видно из табл. 3, энергия

активации диффузии С в α - и γ -Fe значительно меньше, чем Мо. Следовательно, скорость диффузии С выше, чем Мо. Для сплавов <Fe – Cu> коэффициенты диффузии выражаются соотношением: $D_{Cu} > D_{Fe}$. Это значит, что Cu будет лучше диффундировать в Fe, чем Fe в Cu. Различие в скорости диффузии приводит к образованию пористости в частицах меди и изменению формы образцов. В этой связи в <Fe – Cu> сплавах, имеющих структурную пористость, в ряде случаев наблюдается рост спекаемых изделий, а не их усадка. Определенные сложности возникают при спекании <Fe – Ni> сплавов, диаграмма состояния которых характеризуется непрерывным рядом твердых растворов [17]. И тем не менее, диффузионные процессы в этих сплавах протекают весьма медленно, даже при высоких температурах.

На рис. 5 представлены сканограммы распределения легирующих элементов (Cu, Mo, Ni) в порошковых сталях (табл. 2). Сталь, полученная двукратным прессованием и спеканием, имеет плотность $\gamma = 7,4 \text{ г/см}^3$, т.е. остаточная пористость ее составляет $\sim 6,3\%$. Как видим (рис. 5), такая пористость оказывается более чем достаточной, чтобы структура порошковой стали была бы неомогенной, особенно по Мо. Пик (а, кривая 2) фиксирует частицу нерастворившегося Мо в Fe, т.е. в матрице. Структурный дефект хорошо иллюстрируется концентрацией Мо в рентгеновском излучении (б). Cu (а, кривая 1) благодаря плавлению лучше распределяется по объему спеченной стали. Совершенно иное строение имеет экструдированная сталь ($\gamma \simeq 7,9 \text{ г/см}^3$). Структура ее достаточно однородная, что видно на снимках "в" (кривые 3 и 4) и "г". Поэтому механические свойства этой стали самые высокие.

Как отмечалось, стали <Fe – C – Ni>, <Fe – C – Cu>, <Fe – C – Mo> и их модификации получают традиционными методами порошковой металлургии, т.е. прессованием и спеканием, реже – горячей штамповкой. Естественно, уровень свойств таких сталей остается сравнительно низким (табл. 2). В этой связи возникает необходимость совершенствования процессов их получения, а также оптимизации составов порошковых сталей. Кроме того, следует задействовать более прогрессивные технологии компактирования, включая газостатические и импульсные методы формования, прокатку и экструзию, с помощью которых можно существенно повысить физико-механические свойства порошковых материалов. При этом необходимо использовать в качестве легирующих элементов также хром, ванадий, титан и другие металлы и соединения.

Таблица 3

Константы диффузии атомов замещения и внедрения (*), рассчитанные по формуле $D = D_0 \exp(-Q/RT)$

Растворитель (матричный металл)	Диффундирующий элемент	$D_0, \text{ м}^2/\text{с}$	$Q, \text{ кДж/моль}$
α -Fe	Мо	$4,8 \cdot 10^{-5}$	241,76
	C*	$6,2 \cdot 10^{-7}$	80,45
γ -Fe	Мо	$6,8 \cdot 10^{-6}$	247,21
	C*	$1,0 \cdot 10^{-5}$	135,76

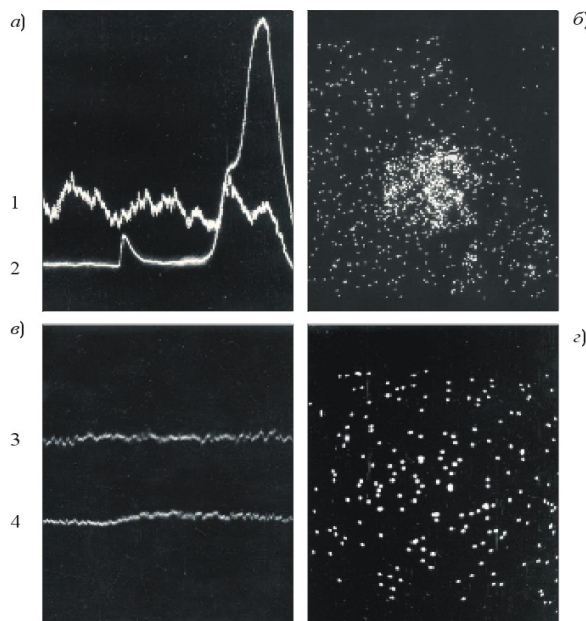


Рис. 5. Сканогаммы распределения легирующих элементов в сталях (табл. 2):
а – кривые распределения Cu (1) и Mo (2) в двукратно компактированной стали ($\gamma = 7,4$ г/см³); б – концентрационное изображение Mo в рентгеновском излучении той же стали;
в – кривые распределения Cu(3) и Ni (4) в экструдированной стали ($\gamma \simeq 7,4$ г/см³); г – концентрационное изображение Mo в рентгеновском излучении той же стали

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Манукян Н.В., Нубари М.М. Исследование процессов получения конструкционных порошковых материалов: 1. Анализ порошковых материалов конструкционного назначения // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. – 2001. – Т. 54, ¹ 1. – С. 16-23.
2. Степанчук А.Н., Билык И.И., Бойко П.А. Технология порошковой металлургии. – Киев: Выща школа, 1989. – 415 с.
3. Kubaschewski O. Iron Binary Phase Diagrams. – Dsseldorf, 1982.
4. Nehl F. Stahl und Eisen, 1930, 50. – S.678-686.
5. Дорофеев В.Ю., Кособоков И.А. и др. Процессы сращивания в порошковой металлургии. – Новочеркасск, 1990. – 88 с.
6. Семенов А.П. Схватывание металлов. – М.: Машгиз, 1958. – 116 с.
7. Sowtez A.B. Materials and methods. – 1948. – V.28. – P.60-63.
8. Грацианов Ю.А., Путимцев Б.Н., Силаев А.Ф. Металлические порошки из расплавов. – М.: Металлургия, 1970. – 245 с.
9. Акименко В.Б., Буланов В.Я., Рукин В.В. Железные порошки. Технология, состав, структура, свойства, экономика. – М.: Наука, 1982. – 264 с.
10. Proceeding of the 1996 International Conference On Powder Metallurgy For Automotive Parts. Isfahan, 1996. – 258 p.

11. **Дорофеев Ю.Г., Гасанов Б.Г., Дорофеев В.Ю.** и др. Промышленная технология прессования порошковых изделий. – М.: Металлургия, 1990. – 206 с.
12. **Бальшин М.Ю.** Научные основы порошковой металлургии и металлургии волокна. – М.: Металлургия, 1972. – 336 с.
13. **Манукян Н.В.** Технология порошковой металлургии. – Ереван: Айастан, 1986. – 232 с.
14. **Kuhn H.A., Dawney C.L.** Deformation characteristics and plasticity theory of sintered powder materials // Int. J. Powder Met.- 1971. - V. 7, №1. - P. 15-25.
15. **Штерн М.Б., Сердюк Г.Г.** и др. Феноменологические теории прессования порошков. – Киев: Наукова думка, 1982. – 140 с.
16. **Кальнер В.Д., Зильберман А.Г.** Практика микрозондовых методов исследования металлов и сплавов. – М.: Металлургия, 1981. – 301 с.
17. **Кубашевский О.** Диаграммы состояния двойных систем на основе железа: Справочник / Пер. с англ. – М.: Металлургия, 1985. – 184 с.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 20.12.2000.

Ն.Վ. ՄԱՆՈՒԿՅԱՆ, Մ.Մ. ՆՈՒԲԱՐԻ
ԿՈՆՍՏՐՈՒԿՏԻՈՆ ՓՈՇԵՆՑՈՒԹԵՐԻ ՍՏԱՅՄԱՆ ԳՈՐԾՆԹԱՑՆԵՐԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ
2. ՊՂԻՆՁ ՊԱՐՈՒՆԱԿՈՂ ՓՈՇԵՊՈՂՊԱՏՆԵՐԻ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔԻ ԵՎ
ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՁԵՎԱՎՈՐՈՒՄԸ

Բերվում են նիկելով, մոլիբդենով և ածխածնով լեգիրված <Fe - Cu> մետաղակերամիկական համաձուլվածքների հետազոտման արդյունքները: Տրվում է մամլում - եռակալումով, տաք դրոշմումով և արտամղմամբ ստացված համաձուլվածքների կառուցվածքների և հատկությունների համեմատական վերլուծություն: Արտամղման գործընթացում ձևախախտման բարձր աստիճանը (60(90%)) և լարումների շեղիչների առկայությունն ապահովում են հոծ (կոմպակտ) կառուցվածքների ստացում և, հետևաբար, բարձր ֆիզիկամեխանիկական հատկություններ:

N.V. MANOUKYAN, M.M. NUBARI

PROCESS INVESTIGATION FOR OBTAINING STRUCTURAL POWDER MATERIALS
2. THE FORMATION OF THE STRUCTURE AND PROPERTIES
OF <Fe - Cu> POWDER STEELS

The results of metallic-hydraulic fusions Fe-Cu investigations, doped by carbon, molybdenium and nickel are presented. The comparative analysis of the structure and properties of these fusions, obtained by pressing-sintering, hot stamping and hot extrusion is given. High degrees of deformation (60...90%) and presence of strain deviator with the extrude provide the obtaining of porousless structures and, consequently, maximum physical-mechanical properties.

А.С. ПЕТРОСЯН

ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ АРМИРОВАННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Микрорентгеноспектральным анализом <волокну-матрица> установлена качественная зависимость структурных фаз от режимов обработки экструзией армированных композиций. Ориентированность и максимальная прочность сцепления волокон с матрицей обеспечиваются в процессе экструзии, что препятствует образованию и развитию шеек на волокнах при разрыве. Следовательно, создаются условия для развития равномерной пластической деформации по всей длине волокна, т.е. почти 100% - й реализации прочностных свойств композиционного материала.

Ключевые слова: волокну-матрица, прочность сцепления, ориентированность, экструзия, равномерная деформация.

В армированных материалах прочность волокон реализуется только в том случае, когда волокна воспринимают нагрузку посредством матрицы. В этой связи поверхность раздела <волокну-матрица>, по существу, предопределяет свойства композиционного материала, в частности, их совместимость [1]. Так, реакции взаимодействия между матрицей и волокнами могут увеличить или уменьшить прочность материала.

Реакции на поверхностях раздела обычно снижают свойства металлических волокон. Еще большая потеря прочности может произойти из-за охрупчивания волокна или образования рекристаллизационной зоны на поверхностях раздела <волокну-матрица>. В общем случае возможны реакции трех типов:

- 1) взаимная нереакционная способность ($Al-B^*$, $Cu-W^*$, $Cu-M_0^*$, $Cu-C_0^*$ и т.д.) и нерастворимость;
- 2) взаимная нереакционная способность, но растворимость ($Cu-Cr^*$, $Fe-Ni^*$, $Fe-M_0^*$, $Fe-W^*$ и др.);
- 3) химическое взаимодействие с образованием соединений ($Fe-C^*$, $Ti-B^*$, $Ti-Fe^*$, $Al-Fe^*$ и др.).

При анализе твердофазных реакций на поверхностях раздела предполагают, что если кинетика реакции описывается выражением

$$x = K \sqrt{\tau}, \quad (1)$$

где x - толщина реакционной зоны, $мкм$; τ - время, $с$; K - константа скорости реакции, $см/с^{1/2}$, то лимитирующим процессом является диффузия через зону взаимодействия.

Зависимость константы скорости реакции K от температуры подчиняется уравнению Аррениуса:

$$K = A \exp(-Q/RT),$$

где A и Q - постоянные величины.

Следовательно,

$$x = A \exp(-Q/RT) \sqrt{\tau}. \quad (2)$$

Выражение (2) хорошо описывает кинетику роста промежуточных слоев между волокном и матрицей композиционных материалов.

В [2] изучены реакции взаимодействия бора со сплавом $\langle \text{Ti}-8\text{Al}-1\text{M}_0 \rangle$. В качестве единственного продукта реакции выявлен диборид титана TiB_2 . Изменение толщины слоя диборида являлось мерой полноты протекания реакции. Композиты отжигались в интервале температур $923 \dots 1273 \text{ K}$ с выдержкой до 200 ч. Толщина слоя диборида в этих условиях возрастала от 1 до 9 мкм (рис. 1).

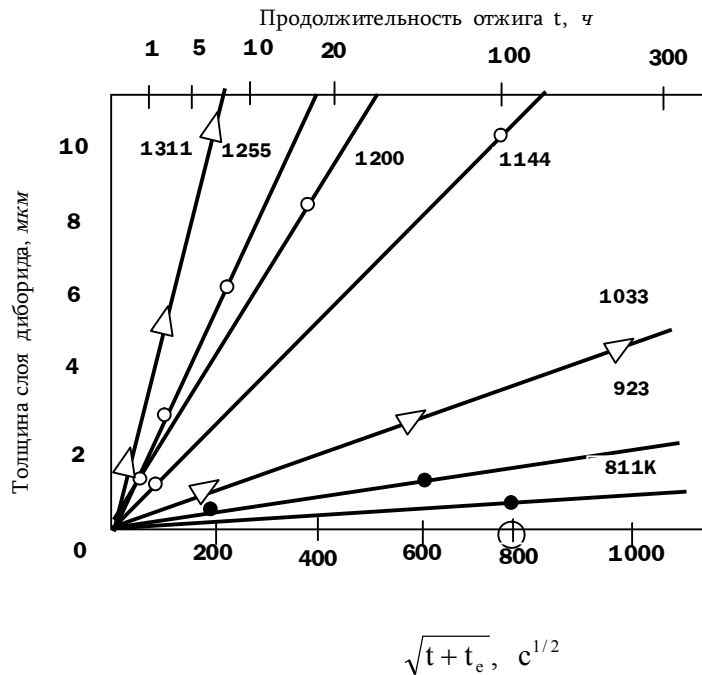


Рис. 1. Кинетика роста диборида в композите $\langle \text{Ti}-\text{B} \rangle$;

$(t + t_e)$ - скорректированное время

До отжига в композите $\langle \text{Ti}-\text{B} \rangle$ ($d_b = 100 \text{ мкм}$) толщина слоя продукта реакции TiB_2 составляла $0,05 \dots 0,15 \text{ мкм}$. Отжиг в течение 1,5 ч при 1144 K сопровождался взаимодействием поверхностей раздела вследствие нестационарности диффузионных потоков между волокном и матрицей, в результате которого толщина слоя возрастала до $1,2 \text{ мкм}$. Кроме того, в местах поверхности раздела образовывалась пористость.

Компоненты композиции $\langle \text{Al}-\text{B} \rangle$ могут не взаимодействовать химически (первый класс), так как между волокнами и матрицей существует барьер оксидов, в частности, Al_2O_3 . Однако после отжига

система становится способной к химическому взаимодействию, вследствие чего на поверхности раздела могут образовываться дибориды типа AlB_2 (рис. 2). В [3] исследовано влияние поверхности раздела на прочность композита $\langle Al-B \rangle$ ($d_b=140$ мкм) при растяжении.

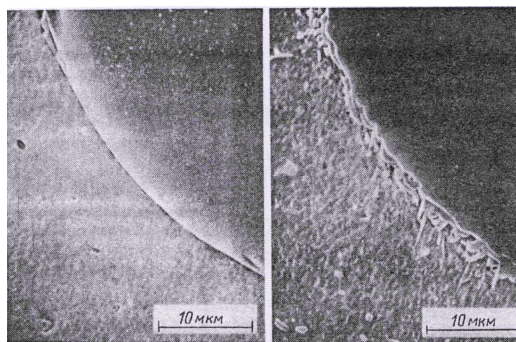


Рис. 2. Химическое воздействие на поверхность раздела композита $\langle Al6061 - B \rangle$: а – после отжига при $777\text{ K} \sim 0,5$ ч; б – после отжига при $777\text{ K} \sim 50$ ч

Характеристики поверхностей раздела изменяли путем предварительного отжига при 811 K , после чего матрицу подвергали термической обработке “Т - 6” (закалка образцов композита в воду и старение при 450 K , рис. 3). Одной из возможных причин снижения поперечной прочности композита и возрастания степени разрушения по поверхности раздела с ростом количества AlB_2 является 20%-е уменьшение объема при синтезе этого соединения.

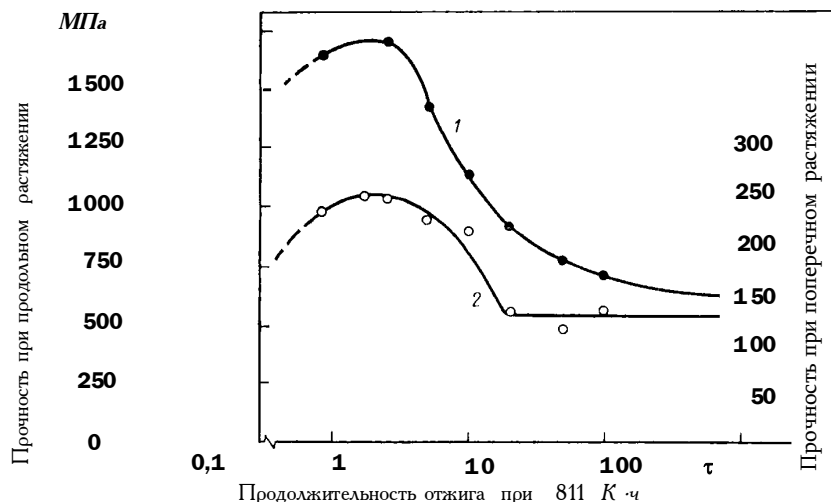


Рис. 3. Продольная (1) и поперечная (2) прочность композита $\langle Al6061 - 45\%B \rangle$ при растяжении после обработки “Т - 6”

Таким образом, оптимальные значения продольной и поперечной прочности при растяжении соответствуют определенным значениям продолжительности и температуры

отжига, а следовательно, состоянию поверхности раздела ($T_{\text{отж.}}=811\text{ K}$, $\tau=1\text{ ч}$, $x=0,5\dots1,0\text{ мкм}$).

На основе механических свойств композитов <Al–нерж. ст.> произведена оценка поверхности раздела и элементов субструктуры. Построены диаграммы растяжения композита после изготовления и отжига. С увеличением продолжительности отжига механические свойства снижаются (рис. 4). Диффузионные процессы приводят к образованию хрупких интерметаллидных соединений на поверхностях раздела. При рентгеновском микроанализе, проведенном после отжига, были обнаружены однофазный слой тройного интерметаллида <Fe – Al – Cr> и прерывистый слой пор Киркендалла.

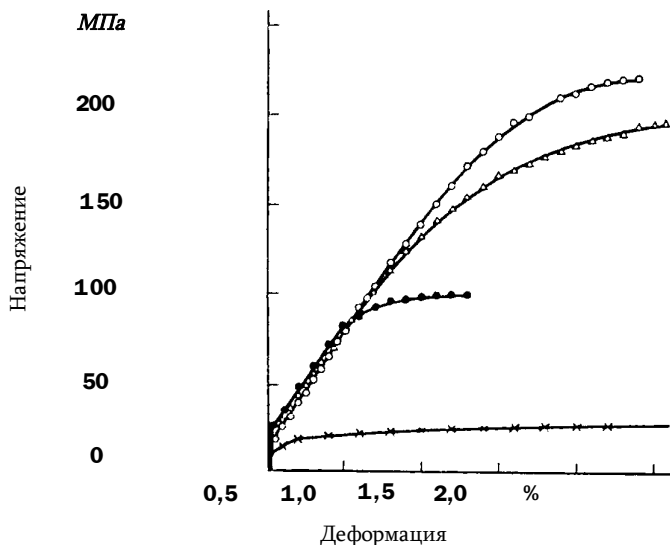


Рис. 4. Типичные диаграммы растяжения композита <Al–нерж. сталь> с объемной долей упрочнителя 6,5%: x – матрица; o – композит после прессования; Δ – композит после отжига при $823\text{ K} \sim 24\text{ ч}$; • – композит после отжига при $898\text{ K} \sim 24\text{ ч}$.

Как отмечалось, чтобы механические свойства армированных материалов оставались на достаточно высоком уровне, интерметаллидный слой на волокне не должен превышать $0,5\dots1,0\text{ мкм}$. Исходя из этих соображений, композиции <Cu – Fe^{*}>, <Cu – M₀^{*}> и <Fe – M₀^{*}> получали горячей экструзией. Так как образцы подвергались кратковременному нагреву ($\tau=15\dots20\text{ мин}$) при температуре экструзии (1023 K), то толщина зоны взаимодействия <волокно–матрица> колебалась в сравнительно узких пределах ($2\dots4\text{ мкм}$). Количественный микрорентгеноспектральный анализ композиции <Cu – Fe^{*}> показал, что в Fe^{*}

волокна на глубину 2,5 мкм диффундирует Cu (установка JXA-5, Япония). Твердость переходной зоны составляла 250 HV; Cu ~ 100, Fe* ~ 190 HV.

Компоненты композиции $\langle \text{Cu} - \text{M}_0^* \rangle$ четко разграничены. Волокна ориентированы в направлении экструзии.

Медь и молибден в обычных условиях не проявляют взаимной растворимости ни в твердом, ни в жидком состояниях [5]. Твердость зоны взаимодействия в среднем колебалась в пределах 200...260 HV. При некоторых режимах экструзии фиксировались участки твердостью до 500...600 HV. В зоне взаимодействия не выявлено образования каких-либо новых фаз.

Исследование фазового состава переходной зоны композиции $\langle \text{Fe} - \text{M}_0 \rangle$ показало, что кратковременное повышение температуры до 1423 K при экструзии не вызывает утолщения зоны взаимодействия (~2...3 мкм). Атомное содержание железа в зоне составляет 50...55%, молибдена - 45...55%, вследствие чего образуются интерметаллид Mo_2Fe_3 и твердый раствор на основе M_0 . Плавный характер концентрационных кривых железа и молибдена показывает, что преобладающей фазой в зоне взаимодействия является твердый раствор на основе молибдена.

Характер разрушения этих композиций определяется в основном поведением арматуры в условиях напряженно-деформированного состояния. Высокие механические свойства армированных композиционных материалов, полученных экструзией (рис. 5), определяются тем, что ориентированность и высокая прочность сцепления волокон с матрицей препятствуют образованию и развитию шеек на волокнах, что создает благоприятные условия для равномерной пластической деформации по всей длине волокна, а следовательно, 100%-ой реализации его прочностных свойств.

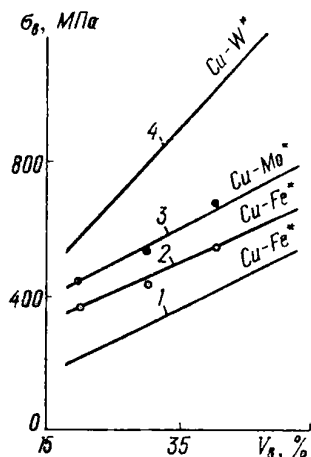


Рис. 5. Зависимость предела прочности композиционных материалов при растяжении от объемной доли волокон: 1, 4 – расчетные значения для материалов на основе меди, армированной волокнами нержавеющей стали ($\sigma'_B = 1000 \text{ МПа}$) и вольфрама ($\sigma'_B = 2200 \text{ МПа}$); 2, 3 – экспериментальные значения для экструдированных композиций $\langle \text{Cu} - \text{Fe}^* \rangle$, $\langle \text{Cu} - \text{M}_0^* \rangle$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Композиционные материалы. Том 1. Поверхности раздела в металлических композитах / Ред. **А. Меткалф**. – М.: Мир, 1978. – 438 с.
2. **Соколовская В.М., Гудзей Л.С.** Физико-химия композиционных материалов. – М.: Изд-во МГУ, 1978. – 256 с.
3. **Светлов И.Л., Чубаров В.М.** и др. О прочности композиции борное волокно- алюминий // Металлы. – 1975. – ¹ 1. – С. 147.
4. **Бакаринова В.И., Устинов Л.М.** Физико-химическое взаимодействие в композиционных материалах из сплавов алюминия, армированного стальной проволокой // Металловедение и термическая обработка металлов. – 1974. – ¹ 9. – С. 52.
5. **Манукян Н.В., Петросян А.С.** Закономерности экструзии армированных композиционных материалов. Структура и свойства экструдированных композиционных материалов // Порошковая металлургия. – 1986. – ¹ 1. – С.35-38.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 05.03.2001.

Հ. Ս. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ

ԱՄՐԱՆԱՎՈՐՎԱԾ ԿՈՄՊՈԶԻՑԻՈՆ ՆՅՈՒԹԵՐԻ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔԻ ԵՎ ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՁԵՎԱՎՈՐՈՒՄ

Ամրանավորված կոմպոզիցիաների մետաղալար-մատրից սահմանի ռենտգենոսպեկտրալ վերլուծությամբ հաստատված է որակյալ կախվածությունն արտամղման ռեժիմների և ստացված կառուցվածքային փուլերի միջև: Արտամղման գործընթացներով ապահովվում է ամրացնող փուլի կողմնորոշում, ինչպես նաև մետաղալար-մատրից կառչման բարձր ամրություն, որն էլ կանխում է ձգման փորձարկումներում մետաղալարի վրա վզիկների առաջացումը և զարգացումը: Հետևաբար, պայմաններ են առաջանում մետաղալարի ամբողջ երկարությամբ առաձգական ձևախախտման հավասարաչափ տարածման, այսինքն՝ կոմպոզիցիոն նյութի դիմադրության հատկությունների մոտ 100% իրագործման համար:

H.S. PETROSSYAN

STRUCTURE AND PROPERTY FORMATION

OF REINFORCED COMPOSITE

“Fibre - matrix” microradiospectral test of metal-fibre reinforced composites has established a qualitative dependence of obtained structural phases upon extrusion conditions. Extrusion process ensures precise “fibre - matrix” orientation and maximum cohesion of clutch, thus preventing the formation of fibre-necks during solidity test. The plastic deformation is spread evenly through the fibre and the stability properties of composite body are realized by 100%.

Г.А. КАРАПЕТЯН

ГОРЯЧЕЛОМКОСТЬ МАЛОЛЕГИРОВАННЫХ МЕДНЫХ СПЛАВОВ

Изложены результаты экспериментальных исследований, проведенных с целью повышения трещиностойкости медных сплавов. Максимальное количество легирующих элементов достигает 1,0%. Намечены рациональные пределы концентраций легирующих добавок, наиболее эффективно влияющих на горячеломкость медных сплавов.

Ключевые слова: горячеломкость, трещина, усадка, трещиностойкость, легирующий элемент.

В электротехнике, кабельном производстве, металлургии и других отраслях народного хозяйства Республики Армения для изготовления изделий из электро- и теплопроводной меди применяют сплавы меди, легированные небольшими добавками различных элементов. Подбор легирующих элементов для малолегированной меди основан на их способности повышать физико-механические и литейные свойства без существенного снижения основного свойства чистой меди – электро- и теплопроводности. При изготовлении качественных литых заготовок существенное значение имеют литейные свойства: жидкотекучесть, усадка, горячеломкость и др.

Целью настоящей работы является выбор малых легирующих добавок для снижения горячеломкости или повышения трещиностойкости медных сплавов.

Среди недостатков, присущих большинству сплавов на медной основе, является склонность их к горячеломкости, что приводит к образованию в отливках кристаллизационных или горячих трещин, которые возникают всегда в температурном интервале $t_{н.л.у.} - t_{сол.}$, когда прочность и пластические свойства сплава очень низкие. Развитие трещины может происходить и после полного затвердевания поверхностной корки, т.е. после охлаждения ее ниже температуры солидуса. Горячие трещины имеют сильно окисленные изломы, которые проходят по границам зерен извилистым путем, а также резко различную ширину в разных точках своей длины и располагаются в участках отливки, затвердевающих в последнюю очередь, или вблизи этих участков.

Сплавы с большим температурным интервалом кристаллизации, при прочих равных условиях, более склонны к образованию горячих трещин, чем сплавы с малым интервалом кристаллизации или эвтектические сплавы и чистые металлы. Для преодоления склонности медных сплавов к горячеломкости, помимо корректировки состава, широко используются приемы регулирования температурно-скоростных режимов заливки и охлаждения сплавов в литейных формах.

Для улучшения трещиностойкости сплава необходимо так изменить содержание легирующих компонентов в допустимых пределах, чтобы получить благоприятный характер кристаллизаций сплава.

Определение склонности сплава к образованию горячих трещин при затрудненной усадке производили с помощью технологических проб, т.е. применяли кокиль для отливки кольцевой пробы (рис.1).

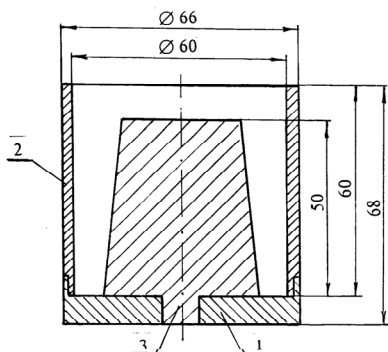


Рис. 1. Кокиль для кольцевой пробы:

- 1 – стальная подставка;
2 – съемный стакан; 3 – стержень

Плавку сплавов проводили в графитовых тиглях в индукционной печи. Для предохранения от окисления и поглощения водорода плавку проводили под покровом древесного угля в количестве 2,5 (3,0 % от массы шихты. В качестве исходного материала применяли электролитическую медь марки М1, ГОСТ 859-78, а в качестве легирующих добавок – алюминий и кальций в количестве до 1,0 %. Легирующие элементы вводили в печь в виде лигатур.

Температуру расплава измеряли платино-платинородиевой термопарой со специальным корундовым наконечником. Температура заливки кокиля на 100 (С превышает точку ликвидуса.

Показателем горячеломкости (ПГ) является отношение длины основной трещины к периметру радиального сечения кольца (в %). Длину и ширину трещины измеряли на инструментальном микроскопе при увеличении в 20 раз.

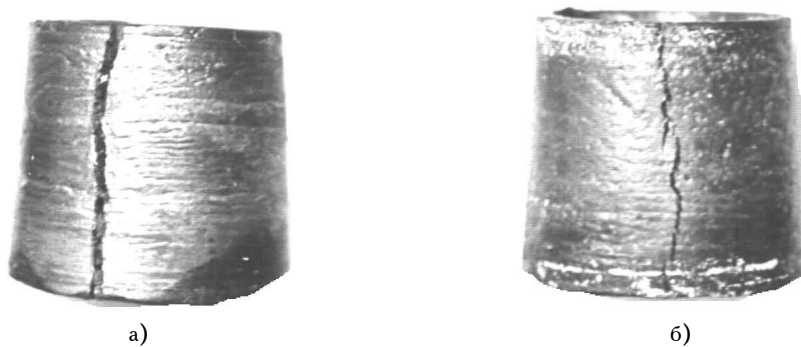


Рис. 2. Кольцевые отливки :
а - сплав Cu +0,8 % Al; б - сплав Cu + 0,3 % Ca

С целью получения сопоставимых результатов обеспечивали постоянство условий плавки, заливки и охлаждения отливки. Для каждого сплава испытывали на горячеломкость не менее трех образцов.

Как видно из графика (рис.3), горячеломкость меди, содержащей в своем составе до 1,0% алюминия, увеличивается. Это объясняется увеличением линейной усадки и уменьшением относительного удлинения в температурном интервале образования горячих трещин.

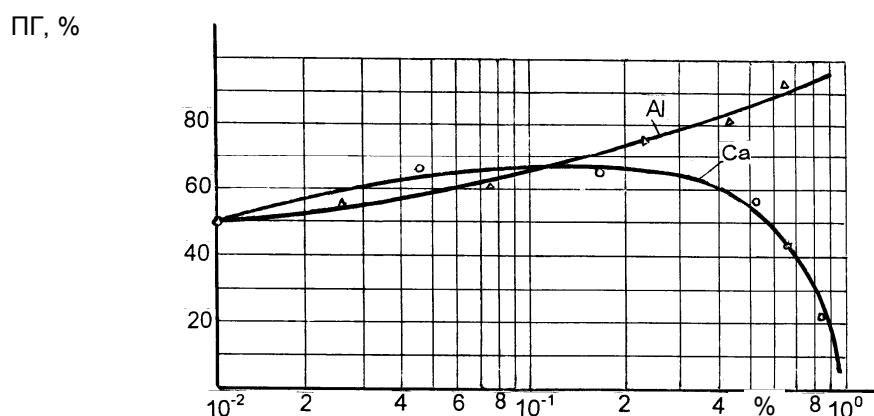


Рис.3. Зависимость горячеломкости от состава сплава

Горячеломкость сплавов Cu-Ca увеличивается с повышением содержания кальция до 0,2 % и заметно понижается при содержании кальция около 0,4%. Причем повышение объясняется выделением по границам зерен кристаллизующейся меди эвтектики Cu+CaCu₂ в виде пленок, которая снижает относительное удлинение и межзеренную прочность в температурном интервале образования горячих трещин, а снижение — увеличением количества эвтектики, которая способствует увеличению относительного удлинения и уменьшению линейной усадки.

Таким образом, наименьшей трещиностойкостью обладают сплавы Cu-Al, содержащие до 1,0 % алюминия. Из таких сплавов очень трудно получить отливку хорошего качества, так как даже незначительная затрудненная линейная усадка вызывает образование кристаллизационных трещин.

Следовательно, для повышения трещиностойкости малолегируемых медных сплавов в качестве легирующих добавок целесообразно применять кальций в количестве 0,4 ... 1,0 % по массе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Куманин И.Б.** Вопросы теории литейных процессов.- М.: Машиностроение, 1976. – 216 с.
2. **Курдомов А.В., Пикунов М.В., Чурсин В.М.** Производство отливок из сплавов цветных металлов. – М.: Металлургия, 1986. – 416 с.
3. **Курдомов А.В., Пикунов М.В., Бахтиаров Р.А.** Плавка и затвердевание сплавов цветных металлов. – М.: Металлургия, 1968. – 228 с.
4. Цветное литье / Под общ. ред. **Н.М. Галдина** – М.: Машиностроение, 1989. – 528 с.
5. **Чурсин В.М.** Плавка медных сплавов. – М.: Металлургия, 1982. – 152 с.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 20.02.2000.

ՀԱ. ԿԱՐԱՊԵՏՅԱՆ

ՍԱԿԱՎԱԼԵԳԻՐՎԱԾ ՊՂՆՁԻ ՀԱՄԱՁՈՒԼՎԱԾՔՆԵՐԻ ՇԻԿԱԲԵԿՈՒՆՈՒԹՅՈՒՆԸ

Շարադրված են պղնձի համաձուլվածքների ճաքակայունության բարձրացման նպատակով կատարված փորձնական հետազոտությունների արդյունքները: Լեգիրող տարրերի առավելագույն պարունակությունը հասնում է մինչև 1,0%: Հետազոտման արդյունքների հիման վրա ընտրվել է պղնձի համաձուլվածքների շիկաբեկունքության վրա առավել արդյունավետ ազդող լեգիրող տարրերի պարունակության ռացիոնալ սահմանը:

H.A. KARAPETYAN

HEAT – BENDING PROPERTY OF THE DOPED COPPER ALLOYS

Experimental investigation results carried out to increase the crack resistance of copper alloys are stated. The maximum quantity of additive elements reaches up to 1,0 %. The rational limit of the additive concentrations most effectively influencing the heat-bending property of the copper alloys are planned.

С.А. МАЛХАСЯН, Э.Г. АМБАРЦУМЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ СПЕЧЕННЫХ АНТИФРИКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ФИЗИЧЕСКИХ МОДЕЛЯХ

Приведены результаты ускоренной оценки антифрикционных характеристик спеченных беспористых материалов на основе железа, содержащих фосфиды и сульфиды в качестве твердых смазывающих веществ. Испытания, проведенные на малогабаритных модельных образцах, выявили, что коэффициент трения спеченных материалов несколько выше (в пределах 15%), чем у бронзы, а по износостойкости они превосходят бронзу в 1,7...4,3 раза. Максимальное расхождение результатов модельных и натуральных испытаний не превышает 14%.

Ключевые слова: масштабный фактор, моделирование, пара трения, прогнозировать.

Влияние масштабного фактора на антифрикционные характеристики различных материалов отмечено в [1-5]. Однако работы по исследованию фрикционно-износных характеристик спеченных материалов с учетом масштабного фактора почти не приводились.

Нами совместно с ГосНИИМашиноведения (г. Москва), с учетом масштабного фактора, разработана методика лабораторных испытаний и осуществлен комплекс исследований по моделированию процессов трения и изнашивания спеченных антифрикционных материалов (подшипники и опоры скольжения), работающих в условиях трения без смазки [6]. В задачах моделирования трения и износа масштабные коэффициенты перехода от модели к натуре рассчитываются относительно известного параметра (комплекса геометрических параметров) - $C_{\text{ЕІА}}$, который объединяет заданные макрогеометрические параметры модели и натуре.

Из расчетных критериев и масштабного фактора выявлено, что скорости скольжения (v) и удельные нагрузки (p_a) на контакте у модели и натурального подшипника должны быть одинаковыми, т.е. $p_a \cdot v = 1$. Это позволяет утверждать, что полученные формулы дают возможность с некоторой поправкой (поправка касается необходимости сокращения продолжительности эксперимента, а также чистоты поверхности трения) успешно применять ранее разработанный классический принцип равенства эксплуатационных параметров на модели и натуре [1].

Для проверки расчетных формул перехода от модели к натуре на установке ИММ-69 (сконструированной в ГосНИИМашиноведения) были проведены контрольные эксперименты на модельных цилиндрических ($\Phi=9,4$ и $H=7,0$ мм) образцах из спеченных материалов ЖФ1К1 и

ЖФ1К1Гр08 (ЖФ1К1 – по 1% Р и S, ЖФ1К1Гр08 – по 1% Р и S, 0,8% С, остальное – железо), полученных экструзией. С ними контактирует закаленное стальное кольцо (сталь 45, HRC = 42...46, $R_a = 0,63...0,50$ мкм) высотой 10 и диаметрами 250 (наружным) и 40 мм (внутренним). Натурная пара трения – это элементы опор скольжения (сухарики от люнетов токарно-винторезных станков) и направляющие планки металлорежущих станков и инструментов (разверток, зенкеров и т.д.), изготовленные из БрОЦС5-5-5 (рис. 1). Вторым элементом натурной пары были стали марок 45, У8-10, 40Х, закаленные (HRC = 44...58) и сырые. В качестве контрольного параметра выбран безразмерный износ [7].

Параметры испытания для каждого режима назначались в зависимости от условий работы узла, в котором должна эксплуатироваться пара трения, с учетом комплекса геометрических параметров модели и натуры ($C_{\text{ког}} = 0,41$). В этот комплекс входят размеры условного геометрического тела, ограниченного глубиной (или шириной) проникновения тепла от источника. Габариты источника – это размеры меньшего элемента пары трения. Остальная часть (непрогретая) большего образца в расчет не принимается. При этом цилиндрическая и кольцевая (контртело) формы образцов позволяют вычислить эффективный объем, участвующий в аккумуляции и рассеивании тепла, выделившегося при трении [8].

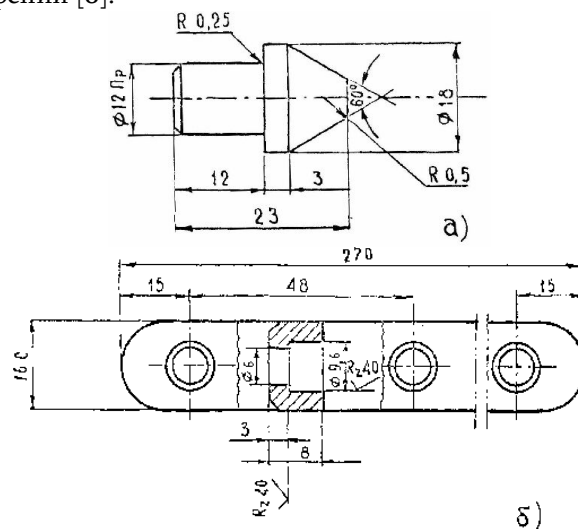


Рис. 1. Натурные образцы: а - сухарь, б - направляющая планка

Эксперименты проводились в среднем на шести образцах каждого состава при помощи рабочего узла, состоящего из вращающего диска и пальчиковых образцов. Испытаниям подверглись сразу три образца при радиусе вращения 75 мм. При этом на двух из них на расстоянии 2,0...2,5 мм от поверхности трения устанавливались хромель-копелевые

термопары для контроля температурного режима. Материалы испытывались при трении без смазки.

Нормальная нагрузка на пару трения передавалась предварительно оттарированной механической системой, состоящей из рычагов и тарированных грузов. Достоверность тарировки проверялась испытанием ($p_a = 1$ МПа, $v = 2$ м/с) стандартного фрикционного материала (ретинакс, ГОСТ 10851-73), коэффициент трения которого составлял 0,44, что в пределах значений по стандарту. Момент от сил трения воспринимался предварительно оттарированным тензодинамометром и регистрировался осциллографом Н -105.

Испытания проводились на шести режимах, при которых скорости и удельные нагрузки для модели и натуре были одинаковыми: $v_1 = 0,5$, $v_2 = 1,0$, $v_3 = 2,0$ м/с, $p_{a_1} = 1$, $p_{a_2} = 2$ МПа. Индексами 1-3 обозначены режимы испытания. Продолжительность модельных испытаний составляла $t' = t_{\text{КОГ}}^{1/6} = t(0,41)^{1/6} = 54$ мин. Испытание пар трения на установке ИММ-69 включало приработку, которая считалась законченной, когда 80% рабочей поверхности имели следы трения, а момент от сил трения стабилизировался. Затем после замера линейных размеров и взвешивания элементов натурального и модельного узлов проводились испытания на трение и изнашивание, в ходе которых контролировалась нагрузка p_a , температура θ , момент от сил трения M_T и число оборотов n . Определение весового износа I_g (рис. 2) осуществлялось до и после испытаний на аналитических весах типа АДВ-200 с точностью до 0,1 мг. Путь трения при $v = 0,5$, 1,0 и 2,0 м/с соответственно равнялся 1560, 3120 и 6240 м.

Правильность моделирования и точность формул, учитывающих масштабный фактор, проверялись путем сопоставления результатов модельных (рис. 2), лабораторных и натуральных испытаний (рис. 3 а и б). Как видно, при всех значениях скорости скольжения характерным является большой износ эталонного материала по сравнению с разработанными. Так, при нагрузке $p_a = 1$ МПа и скорости скольжения 0,5 м/с износ БрОЦС5-5-5 на 75% больше износа ЖФ1К1 и в два раза превышает износ ЖФ1К1Гр08. При увеличении нагрузки в два раза (2 МПа) износ заметно возрастает (рис. 2). При $v = 0,5$ м/с бронза изнашивается соответственно в 2,0 и 2,7 раза больше, чем ЖФ1К1 и ЖФ1К1Гр08. Аналогичные закономерности проявляются и при скоростях скольжения 1 и 2 м/с. При этом с увеличением скорости скольжения и нагрузки различие в износостойкости возрастает в пользу спеченных материалов.

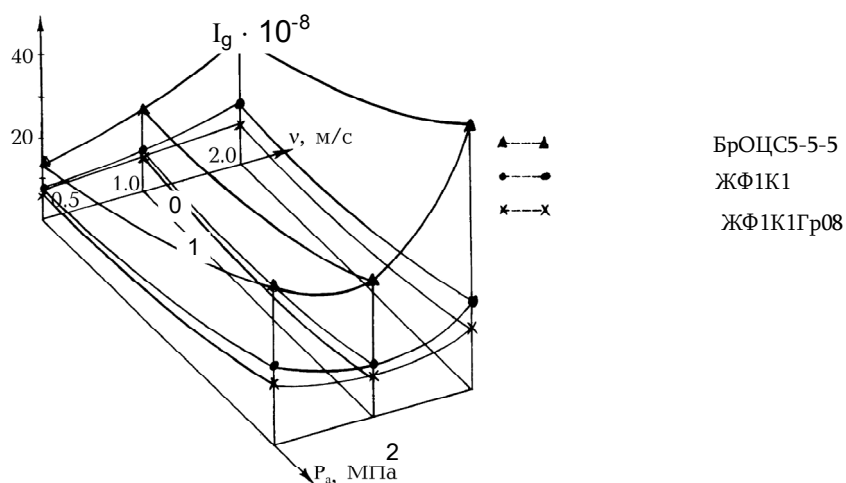


Рис. 2. Изменение интенсивности весового износа

разработанных материалов и бронзы от скорости скольжения при различной нагрузке (модельные испытания)

Одновременно выявлено, что из опытных спеченных материалов наиболее износостоек ЖФ1К1Гр08. Например, при $p_a = 1 \text{ МПа}$ и $v = 0,5 \text{ м/с}$ износ ЖФ1К1 на 14 % больше, чем ЖФ1К1Гр08. Это, по-видимому, можно объяснить низкой твердостью как бронзы ($\text{НВ}=600\ldots1000 \text{ МПа}$), так и ЖФ1К1 ($\text{НВ}=1180\ldots1360 \text{ МПа}$) по сравнению с ЖФ1К1Гр08 - $\text{НВ}=1260\ldots1580 \text{ МПа}$ [9,10]. Поэтому нередко для повышения твердости оловянистой бронзы используется термообработка [10, 11].

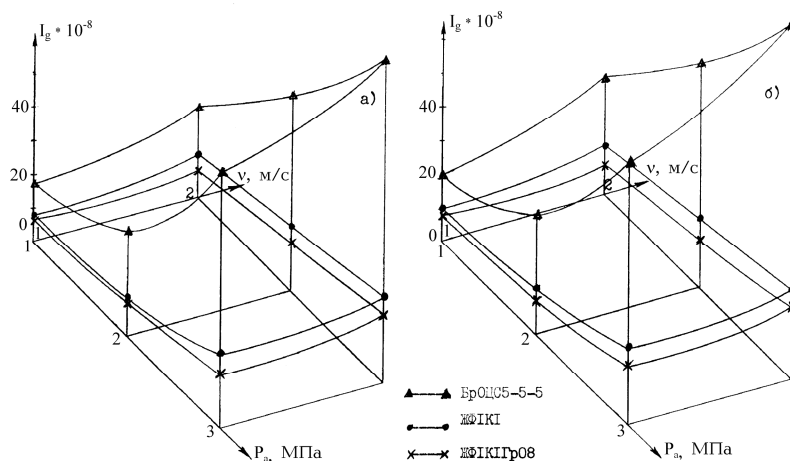


Рис. 3. Изменение интенсивности весового износа разработанных материалов и бронзы от скорости скольжения при различной нагрузке:

а - лабораторные испытания, б - натурные испытания

Микротвердость же структурных составляющих спеченных композиций, определенная на приборе ПМТ-3, при нагрузке на индентор 50 г равнялась: сульфиды – 2200...3400 МПа, фосфиды – 4600...5300 МПа. Наряду с упрочнением металлической матрицы, улучшением обрабатываемости, основное назначение фосфора – повышение степени прирабатываемости, а назначение серы – снижение коэффициента трения. Кроме того, дополнительное введение углерода в железную матрицу обеспечивает образование более прочной и износостойкой перлитной структуры (рис. 4). Следовательно, наиболее износостойкой является композиция ЖФ1К1Гр08.

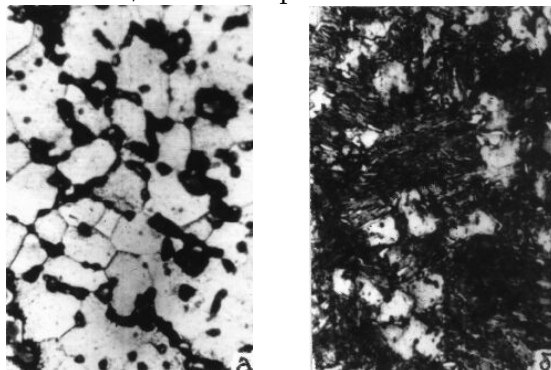


Рис. 4. Микроструктуры разработанных композиций (x450):
а – ЖФ1К1; б – ЖФ1К1Гр08

Установлено, что коэффициент трения спеченных образцов при всех режимах испытаний оставался несколько выше (в пределах 15%), чем у бронзы, что можно объяснить относительно низкой температурой на поверхностях трения, которая не способствовала интенсификации процессов образования вторичных структур и тем самым не позволила полностью проявить смазочные свойства внесенных присадок.

Таким образом, разработана и апробирована методика моделирования износа при трении скольжения спеченных материалов, учитывающая расчетный масштабный фактор. Исследования, выполненные по этой методике, позволяют с достаточной степенью точности (максимальное расхождение в результатах модельных и натурных испытаний не превышало 14%) оценить фрикционные характеристики и надежно прогнозировать долговечность узлов трения машин и механизмов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хрущов М.М. О рациональной постановке испытаний на износ // Заводская лаборатория. – 1937. – ¹ 5. – С. 600-607.
2. Крагельский И.В. Трение и износ. – М.: Машиностроение, 1968. – 480 с.
3. Евдокимов Ю.А. Условия моделирования процессов граничного трения и износа в подшипниках скольжения // Применение методов моделирования

- при решении задач трения и износа в машинах: Труды РИИЖТ. - Ростов-на-Дону, 1972. – Вып. 84. – С. 3-62.
4. **Браун Э.Д., Аникеева Ф.Л.** Моделирование износа ходовых колес мостовых кранов // Расчет и моделирование режима работы тормозных и фрикционных устройств: Сб. тр. - М., 1974. – С. 60-73.
 5. **Браун Э.Д., Чикваидзе Л.М.** Моделирование работоспособности подшипника скольжения // Тепловая динамика и моделирование внешнего трения: Сб. тр. - М., 1975. – С. 83-87.
 6. **Браун Э.Д., Манукян Н.В.** и др. Моделирование износа спеченных материалов на железной основе, предназначенных для работы в опорах скольжения // Задачи нестационарного трения в машинах, приборах и аппаратах: Сб. тр. - М., 1978. – С. 185-195.
 7. **Харач Г.М., Крагельский И.В.** Класс износостойкости как характеристика качества узлов трения // Надежность и контроль качества. – М., 1975. - ¹ 3. – С. 8-14.
 8. **Браун Э.Д., Васюкова Т.И.** Учет влияния теплоотдачи фрикционных элементов при трении на воздухе // Тепловая динамика трения: Сб. тр. - М.: Наука, 1970. – С. 20-25.
 9. Износостойкие материалы в химическом машиностроении: Справочник / Под ред. **Ю.М. Виноградова.** – Л.: Машиностроение, 1977. – 256 с.
 10. **Патент ПНР**, кл. С 22 F 1/08, ¹ 96378. Заявл. 24.11.75, ¹ 185003. Оpubл. 31.05.78.
 11. **Патент ПНР**, кл. С 22 F 1/08, ¹ 95015. Заявл. 17.01.75, ¹ 177385. Оpubл. 31.01.78.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 20.03.1999.

Ա.Ա. ՄԱԼԽԱՍՅԱՆ, Է.Գ. ՀԱՄԲԱՐՏՈՒՄՅԱՆ
ԵՌԱԿԱԼ ՎԱՍՏ ՀԱԿԱՇՓԱԿԱՆ ՆՅՈՒԹԵՐՆԻ ՄԱՇԱԿԱՅՈՒՆՈՒԹՅԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ
ՖԻԶԻԿԱԿԱՆ ՄՈՂԵԼՆԵՐԻ ՎՐԱ

Բերված են պինդ քսանյութերից ֆոսֆիդներ ու սուլֆիդներ պարունակող երկաթի հիմքով եռակալված ոչձականտկեն նյութերի հակաշփական բնութագրերի արագացված գնահատման արդյունքները: Փոքրաեզրաչափ մոդելային նմուշներով անցկացված փորձարկումները բացահայտել են, որ եռակալված նմուշների շփման գործակիցները փոքր-ինչ ավելի մեծ են (15%-ի սահմաններում), քան բրոնզինը, իսկ մաշակայունությամբ 1,7...4,3 անգամ գերազանցում են բրոնզին: Մոդելային և բնօրինակային փորձարկումների արդյունքների առավելագույն տարամիտությունը չի գերազանցում 14%:

S.A. MALKHASYAN, E.G. HAMBARTSUMYAN
SINTERED ANTIFRICTION MATERIAL WEAR RESISTANCE INVESTIGATION ON PHYSICAL MODELS

Quick evaluation of sintered porousless iron-based materials of antifriction characteristics are given. Tests carried out on small-size model samples revealed that friction coefficient of sintered materials is somewhat higher (within 15%) than the bronze, but by wear resistance they exceed the bronze in 1,7...4,3 times. Maximum discrepancy of model and natural test results does not exceed 14%.

Ш. Г. ТУМАСЯН, А. Н. КАЗАРЯН, В. Л. КАСЬЯН

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОРОШКОВЫХ СТАЛЕЙ, ПОЛУЧЕННЫХ ПРЕССОВАНИЕМ - СПЕКАНИЕМ И ЭКСТРУЗИЕЙ

Дается сравнительный анализ процессов получения порошковых сталей прессованием – спеканием и горячей экструзией. Показана целесообразность получения порошковых материалов на примере сталей с беспористой структурой с точки зрения лучших прочностных свойств и экономической эффективности.

Ключевые слова: горячая экструзия, механические свойства, прессование и спекание, пористость, железный порошок.

Одним из перспективных направлений в области порошковой металлургии является получение материалов и изделий с беспористой структурой. Известны процессы получения компактных структур (1-10), в частности, горячее прессование, ковка, штамповка, экструзия и др.

В этой связи нами была поставлена задача: изучить структурообразование и механические свойства порошковых материалов на железной основе методами:

- 1) прессования и спекания;
- 2) горячей экструзии.

Для проведения исследований взяты железный порошок ПЖР-3 с фракцией -160 мкм и графит ГК2. Железный порошок смешивали с графитом по составу Fe – 0,2%С.

При первом методе формирования материалов двусторонним прессованием получали образцы размерами 75×12×12 и 75×12×11 мм, пористостью 5, 10, 15 и 20 %. Образцы пористостью 5 и 10% получали двойным прессованием и спеканием. На первом этапе прессования получали образцы с 15- и 20 %-й пористостью, затем эти же образцы спекали при температуре 850±20 °С в среде водорода с выдержкой 30 мин. Далее охлажденные заготовки подвергали повторному прессованию, т.е. из образцов пористостью 15 и 20 % соответственно получали образцы пористостью 5 и 10 %. Прессование осуществляли на гидравлическом прессе типа ПСУ – 125. 5-, 10-, 15- и 20 %-е пористые заготовки спекали при температуре 1150±20 °С в среде водорода с продолжительностью нагрева 60 мин.

Для экструзии заготовки, полученные двусторонним прессованием, пористостью 10 % нагревали при температуре 1150±20 °С в среде водорода и подвергали экструзии на прессе типа П474А.

Из всех заготовок, полученных обоими способами, изготавливали образцы на разрыв (ГОСТ 1497-84). Результаты испытаний представлены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

*Механические свойства образцов,
полученных прессованием и спеканием*

Пористость образцов θ , %	σ_b , МПа	НВ, МПа	δ , %	Ψ , %
5	260	695,8	9,2	4,9
10	236	674,2	8,3	3,9
15	160	517,4	4,8	3,5
20	104	499,8	4,7	3,4

Таблица 2

Механические свойства экструдированных образцов

Коэффициент вытяжки λ	Остаточная пористость θ , %	Продолжительность нагрева τ , мин.	σ_b , МПа	НВ, МПа	δ , %	Ψ , %
2	2,8	90	265	832,0	34,7	63,3
6	0,3	30	368	989,8	35,9	61,6
6	0,4	90	443	1303,4	34,2	66,3

Зависимости предела прочности (σ_b), твердости (НВ), относительного удлинения (δ) и относительного сужения (Ψ) от пористости и продолжительности нагрева показаны на рис. 1 и 2.

Как видно из табл. 1 и рис. 1, у образцов, полученных прессованием и спеканием, с увеличением пористости материала все механические свойства снижаются примерно в два раза.

Как и следовало ожидать, механические свойства экструдированных образцов с увеличением продолжительности нагрева и коэффициента вытяжки значительно возрастают (табл. 2, рис. 2). Сравнивая значения, представленные в табл. 1 и 2, необходимо отметить, что образцы пористостью 5% по своим механическим свойствам близки к экструдированным, которые имеют следующие факторы переменных: $\lambda = 2$, $\theta = 10$ %, $\tau = 90$ мин.

Металлографический анализ показывает (рис. 3), что у образцов, полученных прессованием и спеканием, на всех шлифах видны цементитные включения, а также зерна графита (рис. 3 д, е, ж, з). Структура экструдированных образцов более мелкозерниста и однородна (рис. 3 а, б, в, г).

Таким образом, с точки зрения получения лучших физико-механических свойств и экономической эффективности, горячая экструзия, совмещающая процессы формования и спекания, более предпочтительна, чем двукратное прессование и спекание.

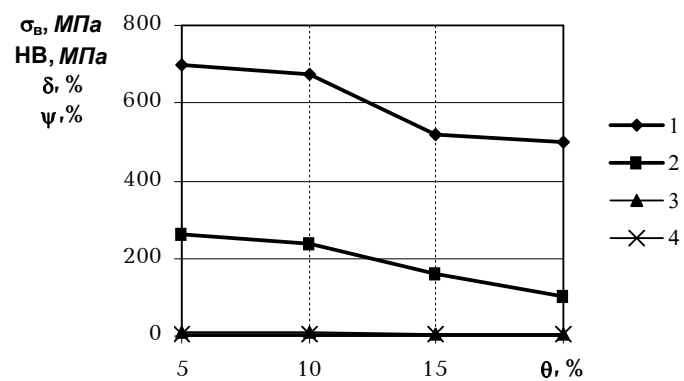


Рис. 1. Зависимости $\sigma_{\text{в}}$, НВ, δ и Ψ от пористости (θ) материалов, полученных прессованием и спеканием: 1 – НВ; 2 – $\sigma_{\text{в}}$; 3 – δ ; 4 – Ψ

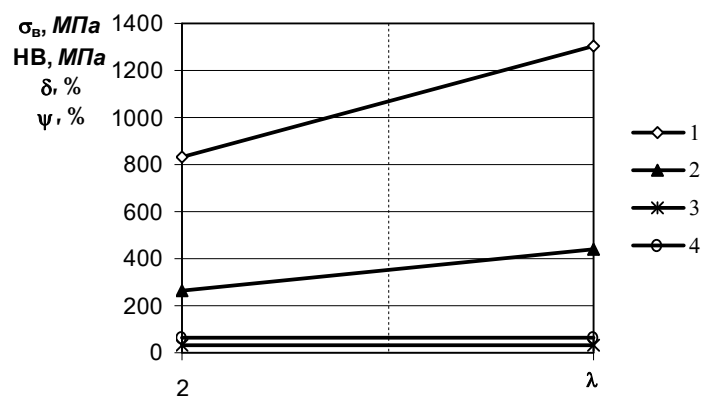


Рис. 2. Зависимости $\sigma_{\text{в}}$, НВ, δ и Ψ от коэффициента вытяжки (λ) экструдированных материалов: 1 – НВ; 2 – $\sigma_{\text{в}}$; 3 – Ψ ; 4 – δ

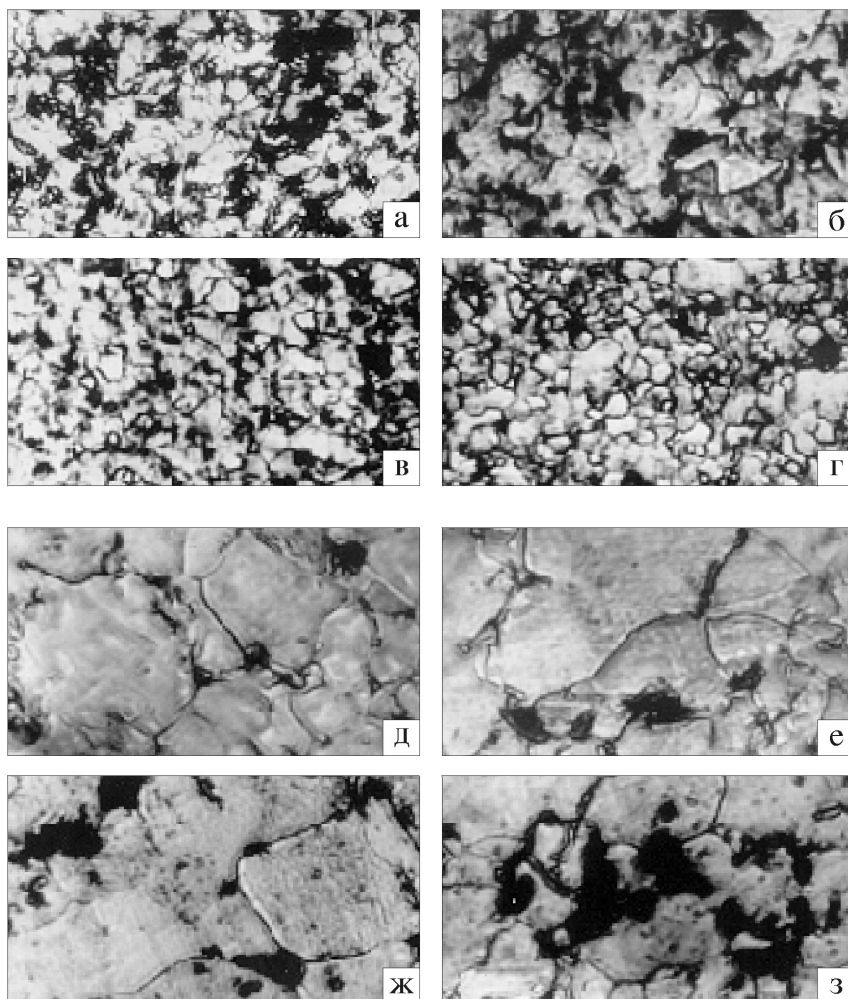


Рис. 3. Микроструктуры образцов, полученных экструзией и прессованием – спеканием:
а, б, в, г – после экструзии ($T_s = 1150\text{ }^{\circ}\text{C}$);
д, е, ж, з – после прессования и спекания;
а - $\lambda=2$, $\theta=2,6\%$, $\tau=30\text{ мин.}$; б - $\lambda=2$, $\theta=2,8\%$, $\tau=90\text{ мин.}$;
в - $\lambda=6$, $\theta=0,27\%$, $\tau=30\text{ мин.}$; г - $\lambda=6$, $\theta=0,38\%$, $\tau=90\text{ мин.}$;
д - $\theta=5\%$, двукратное прессование и спекание;
е - $\theta=10\%$, то же самое; ж - $\theta=15\%$, однократное прессование и спекание; з -
 $\theta=20\%$, то же самое

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Структура и свойства порошковых материалов: Межвуз. темат. сб. научн. тр. / Под ред. **Н.В. Манукяна**. – Ереван, 1988. – 102 с.
2. **Вязников Н.Ф., Ермаков С.С.** Металлокерамические материалы и изделия. – Л.: Машиностроение, 1966. – 224 с.
3. **Манукян Н.В.** Технология порошковой металлургии. – Ереван: Айастан, 1986. – 232 с.
4. **Федорченко И.М., Путина Л.И.** и др. Структура металлокерамических материалов на основе железа. – М.: Металлургия, 1968. – 140 с.
5. **Кипарисов С.С., Либенсон Г.А.** Порошковая металлургия. – М.: Металлургия, 1972. – 528 с.
6. **Салтыков С.А.** Стереометрическая металлография: стереология металлических материалов. – М.: Металлургия, 1976. – 271 с.
7. **Геллер Ю.А., Рахштадт А.Г.** Материаловедение. – М.: Металлургия, 1984. – 382 с.
8. **Ермаков С.С., Вязников Н.Ф.** Порошковые стали и изделия. – Л.: Машиностроение, 1990. – 318 с.
9. **Либенсон Г.А.** Производство порошковых изделий. – М.: Металлургия, 1990. – 253 с.
10. **Андриевский Р.А.** Порошковое материаловедение. – М.: Металлургия, 1991. – 205 с.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 18.09.2000.

Շ.Գ. ԹՈՒՄԱՍՅԱՆ, Ա.Ն. ՂԱԶԱՐՅԱՆ, Վ.Լ. ԿԱՍՅԱՆ

ՄԱՍԼՄԱՄԲ - ԵՌԱԿԱԼՄԱՄԲ ԵՎ ԱՐՏԱՄՂՄԱՄԲ ՍՏԱՅՎՈՂ ՓՈՇԵՊՈՂՊԱՏՆԵՐԻ ՀԱՄԵՄԱՏԱԿԱՆ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆԸ

Տրվում է մամլմամբ-եռակմամբ և տաք արտամղմամբ փոշեպողպատների ստացման գործընթացների համեմատական վերլուծությունը: Պողպատների օրինակի վրա ցույց է տրված անձակոտկեն կառուցվածքով փոշեմետաղների ստացման նպատակահարմարությունը ինչպես ամրության, այնպես էլ տնտեսական արդյունավետության տեսակետից:

SH.G. TUMASYAN, A.N. GHAZARYAN, V.L. KASSYAN

COMPARATIVE ANALYSIS OF POWDER STEELS BY PRESSING, SINTERING AND EXTRUSION

The comparative analysis of obtaining powder steels by pressing and sintering and hot extrusion is given. The objectiveness of getting powder materials is shown on the example of steels with compact structure, both from viewpoint of the best stable properties and economical effectiveness.

В.С. ХАЧАТРЯН, Н.П. БАДАЛЯН, М.Г. ТАМРАЗЯН, А.Г. ГУЛЯН

РЕШЕНИЕ СИСТЕМ ГИБРИДНЫХ НЕЛИНЕЙНЫХ АЛГЕБРАИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ УСТАНОВИВШЕГОСЯ РЕЖИМА ЭЭС ПРИ СМЕШАННОМ ТИПЕ СТАНЦИОННЫХ УЗЛОВ

Предлагается метод расчета установившегося режима электроэнергетической системы (ЭЭС), когда электрические станции одновременно могут быть как типа P-Q, так и типа P-U. Соответствующие системы нелинейных алгебраических уравнений составляются на основании Y-Z гибридной матрицы пассивной части электрической сети.

Ключевые слова: модель, матрица, узел, режим, функция, метод, параметр.

Под смешанным типом станционных узлов ЭЭС понимается случай, когда в качестве начальной информации относительно них задаются как P-U, так и P-Q режимные параметры. Исходным при составлении систем нелинейных гибридных алгебраических уравнений установившегося режима ЭЭС является построение Y-Z расчетной матрицы. В настоящее время для решения задачи расчета установившегося режима ЭЭС успешно применяются уравнения типа Y-Z, которые функционируют как при P-U, так и при P-Q типе станционных узлов [1-3].

В данной работе рассматривается случай, когда независимые станционные узлы одновременно могут быть как типа P-U, так и P-Q. Соответствующие системы нелинейных алгебраических уравнений установившегося режима составляются на основании Y-Z пассивных параметров ЭЭС. Для дальнейшего изложения материала принимается ниже-приведенная система индексов: $m(n) = 0, 1, 2, \dots, \Gamma'$, где Γ' - число станционных узлов типа P-Q, узел с индексом "0" выбирается в качестве базисного, который является узлом типа U- Ψ_u ; $k(\ell) = \Gamma' + 1, \Gamma' + 2, \dots, \Gamma' + \Gamma''$, где Γ'' - число станционных узлов типа P-U; $\Gamma = \Gamma' + \Gamma''$ - общее число независимых станционных узлов; $i(j) = \Gamma + 1, \Gamma + 2, \dots, \Gamma + N$, где N - число нагрузочных узлов.

Исходная Y-Z расчетная матрица имеет следующий вид:

$$Y - Z = \left[\begin{array}{c|c} Y_{m,n} & \dot{A}_{m,\ell} \\ \hline \dot{B}_{k,n} & Z_{k,\ell} \end{array} \right], \quad (1)$$

где

$$\begin{aligned} Y_{m,n} &= Y_{mn} - Y_{mk} Z_{k\ell} Y_{\ell n}, \\ \dot{A}_{m,\ell} &= Y_{mk} Z_{k\ell}, \quad \dot{B}_{k,n} = -Z_{k\ell} Y_{\ell n}, \quad Z_{k,\ell} = Z_{\ell k}. \end{aligned} \quad (2)$$

Здесь $Y_{m,n}$, $Z_{k,\ell}$ – неособенные квадратные подматрицы, имеющие порядок соответственно Γ и H ; $\dot{A}_{m,\ell}$, $\dot{B}_{k,n}$ – прямоугольные матрицы (элементы которых не имеют размерности) соответственно порядков $H \times \Gamma$ и $\Gamma \times H$.

Соответствующие системы уравнений, вытекающие из (1), в неявно выраженной форме можно представить в виде [1]

$$\begin{cases} \Phi_{pm} = P_m - [P_{Bm} + \varphi_{pm}(U'_n, U''_n)] = 0, \\ \Phi_{qm} = Q_m - [Q_{Bm} + \varphi_{qm}(U'_n, U''_n)] = 0, \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{cases} \Phi_{pk} = P_k - [P_{Bk} + \varphi_{pk}(I'_\ell, I''_\ell)] = 0, \\ \Phi_{qk} = Q_k - [Q_{Bk} + \varphi_{qk}(I'_\ell, I''_\ell)] = 0. \end{cases} \quad (4)$$

На основании вышеприведенной системы индексов Y - Z расчетную матрицу можно развернуть, представляя в следующем виде:

$$\begin{bmatrix} \frac{Y_{m,n}}{Y_{k,n}} & \frac{Y_{m,\ell}}{Y_{k,\ell}} & \frac{\dot{A}_{m,j}}{\dot{A}_{k,j}} \\ \frac{\dot{B}_{i,n}}{\dot{B}_{i,\ell}} & \frac{\dot{B}_{i,\ell}}{\dot{B}_{i,j}} & \frac{\dot{Z}_{i,j}}{\dot{Z}_{i,j}} \end{bmatrix}. \quad (5)$$

Представим функции (3) и (4) также в развернутой форме с соответствующими индексами:

$$\begin{cases} \Phi_{pm} = P_m - [P_{Bm} + \varphi_{pm}(U'_n, U''_n; U'_\ell, U''_\ell)] = 0, \\ \Phi_{pk} = P_k - [P_{Bk} + \varphi_{pk}(U'_n, U''_n, U'_\ell, U''_\ell)] = 0, \end{cases} \quad (6)$$

$$\begin{cases} \Phi_{qm} = Q_m - [Q_{Bm} + \varphi_{qm}(U'_n, U''_n; U'_\ell, U''_\ell)] = 0, \\ \Phi_{qk} = Q_k - [Q_{Bk} + \varphi_{qk}(U'_n, U''_n; U'_\ell, U''_\ell)] = 0, \end{cases} \quad (7)$$

$$\begin{cases} \Phi_{pi} = P_i - [P_{Bi} + \varphi_{pi}(I'_j, I''_j)] = 0, \\ \Phi_{qi} = Q_i - [Q_{Bi} + \varphi_{qi}(I'_j, I''_j)] = 0. \end{cases} \quad (8)$$

При этом функции φ_{pm} , φ_{qm} и φ_{pk} , φ_{qk} будут определяться следующими выражениями:

$$\begin{aligned} \varphi_{pm} = & \sum_{n=1}^{\Gamma'} \left[g_{m,n}(U'_m U'_n + U''_m U''_n) + b_{m,n}(U''_m U'_n - U'_m U''_n) \right] + \\ & + \sum_{\ell=\Gamma'+1}^{\Gamma'+\Gamma''} \left[g_{m,\ell}(U'_m U'_\ell + U''_m U''_\ell) + b_{m,\ell}(U''_m U'_\ell - U'_m U''_\ell) \right], \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned}\varphi_{pk} = & \sum_{n=1}^{\Gamma'} g_{k,n} [(U'_k U'_n + U''_k U''_n) + b_{k,n} (U''_k U'_n - U'_k U''_n)] + \\ & + \sum_{\ell=\Gamma'+1}^{\Gamma'+\Gamma''} [g_{k,\ell} (U'_k U'_\ell + U''_k U''_\ell) + b_{k,\ell} (U''_k U'_\ell - U'_k U''_\ell)],\end{aligned}\quad (10)$$

$$\begin{aligned}\varphi_{qm} = & \sum_{n=1}^{\Gamma'} [g_{m,n} (U''_m U'_n - U'_m U''_n) - b_{m,n} (U'_m U'_n + U''_m U''_n)] + \\ & + \sum_{k=\Gamma'+1}^{\Gamma'+\Gamma''} [g_{m,k} (U''_m U'_k - U'_m U''_k) - b_{m,n} (U'_m U'_k + U''_m U''_k)],\end{aligned}\quad (11)$$

$$\begin{aligned}\varphi_{qk} = & \sum_{n=1}^{\Gamma'} [g_{k,n} (U''_k U'_n - U'_k U''_n) - b_{k,n} (U'_k U'_n + U''_k U''_n)] + \\ & + \sum_{\ell=\Gamma'+1}^{\Gamma'+\Gamma''} [g_{k,\ell} (U''_k U'_\ell - U'_k U''_\ell) - b_{k,\ell} (U'_k U'_\ell + U''_k U''_\ell)]\end{aligned}\quad (12)$$

$$\varphi_{pi} = \sum_{j=\Gamma+1}^M [R_{i,j} (I'_i I'_j + I''_i I''_j) + X_{i,j} (I'_i I''_j - I''_i I'_j)], \quad (13)$$

$$\varphi_{qi} = \sum_{j=\Gamma+1}^M [X_{i,j} (I'_i I'_j + I''_i I''_j) - R_{i,j} (I'_i I''_j - I''_i I'_j)]. \quad (14)$$

Величины $P_{Бм}, P_{Бк}, Q_{Бм}, Q_{Бк}$, входящие в (6) и (7), определяются в виде

$$\begin{aligned}P_{Бм} &= P'_{Бм} + \sum_{\ell=\Gamma+1}^M [A'_{m,\ell} (U'_m I'_\ell + U''_m I''_\ell) + A''_{m,\ell} (U''_m I'_\ell - U'_m I''_\ell)], \\ P_{Бк} &= P'_{Бк} + \sum_{\ell=\Gamma+1}^M [A'_{k,\ell} (U'_k I'_\ell + U''_k I''_\ell) + A''_{k,\ell} (U''_k I'_\ell - U'_k I''_\ell)], \\ Q_{Бм} &= Q'_{Бм} + \sum_{\ell=\Gamma+1}^M [A'_{m,\ell} (U''_m I'_\ell - U'_m I''_\ell) - A''_{m,\ell} (U'_m I''_\ell + U''_m I'_\ell)], \\ Q_{Бк} &= Q'_{Бк} + \sum_{\ell=\Gamma+1}^M [A'_{k,\ell} (U''_k I'_\ell - U'_k I''_\ell) - A''_{k,\ell} (U'_k I''_\ell + U''_k I'_\ell)].\end{aligned}\quad (15)$$

С другой стороны,

$$\begin{aligned}
P'_{\text{Бм}} &= -\sum_{n=1}^{\Gamma'} (g_{m,n} U'_m + b_{m,n} U''_m) U_0 - \sum_{\ell=\Gamma'+1}^{\Gamma'+\Gamma''} (g_{m,\ell} U'_m + b_{m,\ell} U''_m) U_0, \\
P'_{\text{Бк}} &= -\sum_{n=1}^{\Gamma'} (g_{k,n} U'_k + b_{k,n} U''_k) U_0 - \sum_{\ell=\Gamma'+1}^{\Gamma'+\Gamma''} (g_{k,\ell} U'_k + b_{k,\ell} U''_k) U_0, \\
Q'_{\text{Бм}} &= -\sum_{n=1}^{\Gamma'} (g_{m,n} U''_m - b_{m,n} U'_m) U_0 - \sum_{\ell=\Gamma'+1}^{\Gamma'+\Gamma''} (g_{m,\ell} U''_m - b_{m,\ell} U'_m) U_0, \\
Q'_{\text{Бк}} &= -\sum_{n=1}^{\Gamma'} (g_{k,n} U''_k - b_{k,n} U'_k) U_0 - \sum_{\ell=\Gamma'+1}^{\Gamma'+\Gamma''} (g_{k,\ell} U''_k - b_{k,\ell} U'_k) U_0,
\end{aligned} \tag{16}$$

$$\begin{aligned}
P'_{\text{Бi}} &= I'_{ii} U_0 - \sum_{n=1}^{\Gamma'} (B'_{i,n} I'_i + B''_{i,n} I''_i) U_0 - \sum_{\ell=\Gamma'+1}^{\Gamma'+\Gamma''} (B'_{i,\ell} I'_i + B''_{i,\ell} I''_i) U_0, \\
Q'_{\text{Бi}} &= -I''_{ii} U_0 - \sum_{n=1}^{\Gamma'} (B'_{i,n} I''_i + B''_{i,n} I'_i) U_0 - \sum_{\ell=\Gamma'+1}^{\Gamma'+\Gamma''} (B'_{i,\ell} I''_i + B''_{i,\ell} I'_i) U_0.
\end{aligned} \tag{17}$$

Для узла с индексами $m(n)$, поскольку заданы активная и реактивная мощности, искомыми являются составляющие комплексного напряжения U'_n, U''_n . Для узла с индексами $k(\ell)$ заданы активная мощность и модуль комплексного напряжения, аргумент которого является искомым. Для определения аргумента комплексного напряжения также необходимо иметь его составляющие. Однако на основании выражения

$$U_k'^2 + U_k''^2 = U_k^2, \quad k = \Gamma' + 1, \Gamma' + 2, \dots, \Gamma' + \Gamma'' = \Gamma \tag{18}$$

можно заметить, что при задании U_k достаточно определить одну из составляющих U'_k или U''_k .

Представим систему уравнений (18) в виде следующей функции:

$$\Phi_{uk} = U_k^2 - \varphi_{uk}(U'_\ell, U''_\ell) = 0. \tag{19}$$

При этом из систем уравнений (6) и (7) можно исключить функцию Φ_{qk} , и расчетные системы примут следующий вид:

$$\begin{cases} \Phi_{pm} = P_m - [P_{\text{Бм}} + \varphi_{pm}(U'_n U''_n; U'_\ell U''_\ell)] = 0, \\ \Phi_{qm} = Q_m - [Q_{\text{Бм}} + \varphi_{qm}(U'_n U''_n; U'_\ell U''_\ell)] = 0, \end{cases} \tag{20}$$

$$\begin{cases} \Phi_{pk} = P_k - [P_{\text{Бк}} + \varphi_{pk}(U'_n, U''_n, U'_\ell U''_\ell)] = 0, \\ \Phi_{uk} = U_k^2 - \varphi_{um}(U'_\ell, U''_\ell) = 0. \end{cases} \tag{21}$$

Системы уравнений (20), (21) и (8) решаются методом Ньютона-Рафсона, на основании которого можно написать рекуррентные выражения :

$$\begin{bmatrix} U_n' \\ \text{---} \\ U_n'' \\ \text{---} \\ U_\ell' \\ \text{---} \\ U_\ell'' \end{bmatrix}^{I+1} = \begin{bmatrix} U_n' \\ \text{---} \\ U_n'' \\ \text{---} \\ U_\ell' \\ \text{---} \\ U_\ell'' \end{bmatrix}^I - \begin{bmatrix} \frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial U_n'} & \frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial U_n''} & \frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial U_\ell'} & \frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial U_\ell''} \\ \frac{\partial \Phi_{qm}}{\partial U_n'} & \frac{\partial \Phi_{qm}}{\partial U_n''} & \frac{\partial \Phi_{qm}}{\partial U_\ell'} & \frac{\partial \Phi_{qm}}{\partial U_\ell''} \\ \frac{\partial \Phi_{pk}}{\partial U_n'} & \frac{\partial \Phi_{pk}}{\partial U_n''} & \frac{\partial \Phi_{pk}}{\partial U_\ell'} & \frac{\partial \Phi_{pk}}{\partial U_\ell''} \\ \frac{\partial \Phi_{uk}}{\partial U_n'} & \frac{\partial \Phi_{uk}}{\partial U_n''} & \frac{\partial \Phi_{uk}}{\partial U_\ell'} & \frac{\partial \Phi_{uk}}{\partial U_\ell''} \end{bmatrix}^{-1} \times \begin{bmatrix} \Phi_{pm} \\ \text{---} \\ \Phi_{qm} \\ \text{---} \\ \Phi_{pk} \\ \text{---} \\ \Phi_{uk} \end{bmatrix}, \quad (22)$$

$$\begin{bmatrix} I_i' \\ \text{---} \\ I_i'' \end{bmatrix}^{I+1} = \begin{bmatrix} I_i' \\ \text{---} \\ I_i'' \end{bmatrix}^I - \begin{bmatrix} \frac{\partial \Phi_{pi}}{\partial I_i'} & \frac{\partial \Phi_{pi}}{\partial I_i''} \\ \frac{\partial \Phi_{qi}}{\partial I_i'} & \frac{\partial \Phi_{qi}}{\partial I_i''} \end{bmatrix}^{-1} \times \begin{bmatrix} \Phi_{pi} \\ \text{---} \\ \Phi_{qi} \end{bmatrix}. \quad (23)$$

Для определения частных производных, входящих в рекуррентные выражения, необходимо воспользоваться функциями (20), (21) и (8), при которых удобно $\Phi_{pm}, \Phi_{qm}, \Phi_{pk}, \Phi_{um}$, а также Φ_{pi} и Φ_{qi} представить в следующем виде:

$$\begin{aligned} \Phi_{pm} = & g_{m,m}(U_m'^2 + U_m''^2) + \sum_{\substack{n=1 \\ n \neq m}}^{\Gamma'} [g_{m,n}(U_m' U_n' + U_m'' U_n'') + \\ & + b_{m,n}(U_m'' U_n' - U_m' U_n'')] + \sum_{\ell=\Gamma'+1}^{\Gamma} [g_{m,\ell}(U_m' U_\ell' + U_m'' U_\ell'') + \\ & + b_{m,\ell}(U_m'' U_\ell' - U_m' U_\ell'')], \end{aligned} \quad (24)$$

$$\begin{aligned} \Phi_{qm} = & -b_{m,m}(U_m'^2 + U_m''^2) + \sum_{\substack{n=1 \\ n \neq m}}^{\Gamma'} [g_{m,n}(U_m'' U_n' - U_m' U_n'') - b_{m,n}(U_m' U_n' + U_m'' U_n'')] + \\ & + \sum_{k=\Gamma'+1}^{\Gamma} [g_{m,k}(U_m'' U_k' - U_m' U_k'') - b_{m,k}(U_m' U_k' + U_m'' U_k'')], \end{aligned} \quad (25)$$

$$\Phi_{pk} = g_{k,k}(U_k'^2 + U_k''^2) + \sum_{\substack{n=1 \\ n \neq k}}^{\Gamma'} [g_{k,n}(U_k' U_n' + U_k'' U_n'') + b_{k,n}(U_k'' U_n' - U_k' U_n'')] + \quad (26)$$

$$\begin{aligned} & + \sum_{\ell=\Gamma'+1}^{\Gamma} [g_{k,\ell}(U_k' U_\ell' + U_k'' U_\ell'') + b_{k,\ell}(U_k'' U_\ell' - U_k' U_\ell'')] \\ \Phi_{uk} = & U_k'^2 - U_k''^2. \end{aligned} \quad (27)$$

С другой стороны,

$$\begin{aligned}
\varphi_{pi} &= (I_i'^2 + I_i''^2) R_{i,i} + \sum_{\substack{i=\Gamma+1 \\ i \neq j}}^M [R_{i,j} (I_i' I_j' + I_i'' I_j'') + X_{i,j} (I_i'' I_j' - I_i' I_j'')], \\
\varphi_{qi} &= -(I_i'^2 + I_i''^2) X_{i,i} + \sum_{\substack{i=\Gamma+1 \\ i \neq j}}^M [R_{i,j} (I_i'' I_j' - I_i' I_j'') - X_{i,j} (I_i' I_j' + I_i'' I_j'')].
\end{aligned} \tag{28}$$

Частные производные, входящие в матрицу Якоби рекуррентного выражения (22), определяются нижеприведенными выражениями:

- при одинаковых индексах, т.е. когда $n=m$:

$$\begin{aligned}
\frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial U_m'} &= - \left[I_{Ek}' + \sum_{n=1}^{\Gamma} H_{mn} + \left(g_{m,m} U_m' + b_{m,m} U_m'' \right) \right], \\
\frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial U_m''} &= - \left[I_{Ek}'' + \sum_{n=1}^{\Gamma} K_{mn} + \left(g_{m,m} U_m'' - b_{m,m} U_m' \right) \right], \\
\frac{\partial \Phi_{qm}}{\partial U_m'} &= - \left[-I_{Ek}'' + \sum_{n=1}^{\Gamma} K_{mn} + \left(g_{m,m} U_m'' - b_{m,m} U_m' \right) \right], \\
\frac{\partial \Phi_{qm}}{\partial U_m''} &= - \left[I_{Ek}' + \sum_{n=1}^{\Gamma} H_{mn} - \left(g_{m,m} U_m' + b_{m,m} U_m'' \right) \right],
\end{aligned} \tag{29}$$

где

$$H_{mn} = g_{m,n} U_n' - b_{m,n} U_n'', \quad K_{mn} = g_{m,n} U_n'' + b_{m,n} U_n'. \tag{30}$$

С другой стороны,

$$\begin{aligned}
I_{Ek}' &= - \sum_{n=1}^{\Gamma} g_{m,n} U_o + \sum_{k=\Gamma+1}^M (A_{m,k}' I_k' - A_{m,k}'' I_k''), \\
I_{Ek}'' &= - \sum_{n=1}^{\Gamma} b_{m,n} U_o + \sum_{k=\Gamma+1}^M (A_{m,k}' I_k'' + A_{m,k}'' I_k');
\end{aligned} \tag{31}$$

- при разных индексах, т.е. когда $n \neq m$:

$$\begin{aligned}
\frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial U_n'} &= - \left(g_{m,n} U_m' + b_{m,n} U_m'' \right), & \frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial U_n''} &= - \left(g_{m,n} U_m'' - b_{m,n} U_m' \right), \\
\frac{\partial \Phi_{qm}}{\partial U_n'} &= - \left(g_{m,n} U_m'' - b_{m,n} U_m' \right), & \frac{\partial \Phi_{qm}}{\partial U_n''} &= - \left(-g_{m,n} U_m' - b_{m,n} U_m'' \right).
\end{aligned} \tag{32}$$

С другой стороны,

$$\begin{aligned}
\frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial U_\ell'} &= - \left(g_{m,\ell} U_m' + b_{m,\ell} U_m'' \right), & \frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial U_\ell''} &= - \left(g_{m,\ell} U_m'' - b_{m,\ell} U_m' \right), \\
\frac{\partial \Phi_{qm}}{\partial U_\ell'} &= - \left(g_{m,\ell} U_m'' - b_{m,\ell} U_m' \right), & \frac{\partial \Phi_{qm}}{\partial U_\ell''} &= - \left(-g_{m,\ell} U_m' - b_{m,\ell} U_m'' \right),
\end{aligned} \tag{33}$$

$$\begin{aligned}\frac{\partial \Phi_{pk}}{\partial U_n'} &= -\left(g_{k,n} U_k' + b_{k,n} U_k'' \right), & \frac{\partial \Phi_{pk}}{\partial U_n''} &= -\left(g_{k,n} U_k'' - b_{k,n} U_k' \right), \\ \frac{\partial \Phi_{qk}}{\partial U_\ell'} &= -\left(g_{k,\ell} U_k' + b_{k,\ell} U_k'' \right), & \frac{\partial \Phi_{qk}}{\partial U_\ell''} &= -\left(g_{k,\ell} U_k'' - b_{k,\ell} U_k' \right).\end{aligned}\quad (34)$$

Затем определяем следующие типы частных производных:

$$\frac{\partial \Phi_{uk}}{\partial U_n'} = 0, \quad \frac{\partial \Phi_{uk}}{\partial U_n''} = 0, \quad \frac{\partial \Phi_{uk}}{\partial U_\ell'} = 0, \quad \frac{\partial \Phi_{uk}}{\partial U_\ell''} = 0, \quad \frac{\partial \Phi_{uk}}{\partial U_k'} = -2U_k', \quad \frac{\partial \Phi_{uk}}{\partial U_k''} = -2U_k''. \quad (35)$$

Частные производные, входящие в матрицу Якоби рекуррентного выражения (23), определяются нижеприведенными выражениями:

- при одинаковых индексах, т.е. когда $i=j$:

$$\begin{aligned}\frac{\partial \Phi_{pi}}{\partial I_i'} &= -\left[U_{Bi}' + \sum_{j=\Gamma+1}^M D_{ij} + \left(R_{i,i} I_i' + X_{i,i} I_i'' \right) \right], \\ \frac{\partial \Phi_{pi}}{\partial I_i''} &= -\left[U_{Bi}'' + \sum_{j=\Gamma+1}^M N_{ij} + \left(R_{i,i} I_i'' - X_{i,i} I_i' \right) \right], \\ \frac{\partial \Phi_{qi}}{\partial I_i'} &= -\left[U_{Bi}'' + \sum_{j=\Gamma+1}^M N_{ij} - \left(R_{i,i} I_i'' - X_{i,i} I_i' \right) \right], \\ \frac{\partial \Phi_{qi}}{\partial I_i''} &= -\left[-U_{Bi}' - \sum_{j=\Gamma+1}^M D_{ij} + \left(R_{i,i} I_i' + X_{i,i} I_i'' \right) \right],\end{aligned}\quad (36)$$

где

$$D_{ij} = R_{i,j} I_j' - X_{i,j} I_j'', \quad N_{ij} = R_{i,j} I_j'' + X_{i,j} I_j'. \quad (37)$$

С другой стороны,

$$\begin{aligned}U_{Bi}' &= \left(1 - \sum_{n=1}^{\Gamma} B_{k,n}' \right) U_0' + \sum_{n=1}^{\Gamma} (B_{k,n}' U_n' - B_{k,n}'' U_n''), \\ U_{Bi}'' &= -\sum_{n=1}^{\Gamma} B_{k,n}'' U_0' + \sum_{n=1}^{\Gamma} (B_{k,n}' U_n'' + B_{k,n}'' U_n');\end{aligned}\quad (38)$$

- при разных индексах, т.е. когда $i \neq j$:

$$\begin{aligned}\frac{\partial \Phi_{pi}}{\partial I_j'} &= -\left(R_{i,j} I_i' + X_{i,j} I_i'' \right), & \frac{\partial \Phi_{pi}}{\partial I_j''} &= -\left(R_{i,j} I_i'' - X_{i,j} I_i' \right), \\ \frac{\partial \Phi_{qi}}{\partial I_j'} &= -\left(-R_{i,j} I_i'' + X_{i,j} I_i' \right), & \frac{\partial \Phi_{qi}}{\partial I_j''} &= -\left(R_{i,j} I_i' + X_{i,j} I_i'' \right).\end{aligned}\quad (39)$$

Устанавливая предварительные численные значения частных производных, входящих в матрицу Якоби, можно организовать итерационный процесс решения системы нелинейных алгебраических уравнений установившегося режима ЭЭС.

Итерационный процесс считается завершенным, если обеспечиваются следующие условия:

$$\begin{aligned} \left| P_{\lambda} - (P_{B\lambda} + \varphi_{p\lambda}) \right| &\leq \Delta P_{\lambda}, \\ \left| Q_{\lambda} - (Q_{B\lambda} + \varphi_{q\lambda}) \right| &\leq \Delta Q_{\lambda}, \end{aligned} \quad (40)$$

$$\begin{aligned} \left| P_i - (P_{Bi} + \varphi_{pi}) \right| &\leq \Delta P_i, \\ \left| Q_i - (Q_{Bi} + \varphi_{qi}) \right| &\leq \Delta Q_i, \end{aligned} \quad (41)$$

$$\left| U_k^2 - \varphi_{uk} \right| \leq \Delta U_k,$$

где $\lambda = (m, k)$, $\Delta P_{\lambda}, \Delta Q_{\lambda}, \Delta P_i, \Delta Q_i$ и ΔU_k являются заданными положительными величинами и характеризуют точность получения численных значений искомых переменных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Хачатрян В.С., Этмекчян Э.А.** Развитие гибридного метода расчета установившегося режима электрической системы // Электричество.- 1991.- №1.- С. 6-13.
2. **Хачатрян К.В.** К решению системы нелинейных алгебраических уравнений установившегося режима электроэнергетических систем методом Ньютона-Рафсона // Изв. НАН РА и ГИУА .Сер. ТН.- 1999.-Т.52, №1.- С. 38-43.
3. **Хачатрян В.С., Бадалян Н.П., Хачатрян К.В., Маркарян К.К.** Метод коррекции Y-Z расчетной матрицы ЭЭС // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН.- 2001.- Т 54, №1.- С. 41-46.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 20.03.1999.

**Վ. Ս. ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ, Ն.Պ. ԲԱԴԱԼՅԱՆ,
Մ.Գ. ԹԱՄՐԱԶՅԱՆ, Ա.Գ. ԴՈՒԼՅԱՆ
ԷԼԵԿՏՐԱԷՆԵՐԳԵՏԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ԿԱՅՈՒՆԱՑՎԱԾ ՌԵԺԻՄԻ
ՀԻՐԴՆԱԼԵԱԿԱՆ ՈՉ ԳԾԱՅԻՆ ՀԱՆՐԱՀԱՇՎԱԶԱԿԱՆ ՀԱՎԱՍԱՐՈՒՄՆԵՐԻ
ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐԻ ԼՈՒԾՈՒՄԸ ԽԱՌԸ ՏԵՍՔԻ ԿԱՅԱՆԱՅԻՆ ՀԱՆԳՈՒՅՑՆԵՐԻ
ԴԵՊՔՈՒՄ**

Առաջարկվում է էլեկտրաէներգետիկական համակարգի կայունացված ռեժիմի հաշվման նոր մեթոդ, երբ կայանային հանգույցները միաժամանակ կարող են լինել ինչպես P-Q, այնպես էլ P-U տեսքի: Համապատասխան ոչ գծային հանրահաշվական հավասարումների համակարգերը կազմվում են էլեկտրական ցանցի պասիվ մասի Y-Z հիբրիդային մատրիցի հիման վրա:

**V.S. KHACHATRYAN, N.P. BADALYAN,
M.G. TAMRAZIAN, A.G. GULYAN
HYBRID NONLINEAR ALGEBRAIC SIMULTANEOUS SYSTEM SOLUTION OF
EPS STEADY-STATE CONDITIONS WITH MIXED TYPES OF STANDARD
UNITS**

Steady-state condition calculation method of electric power system (EPS) when electric power stations can simultaneously be both of P-Q type and P-U type is proposed. Appropriate nonlinear algebraic simultaneous systems are made up on the basis of Y-Z hybrid matrix of passive part of power network.

В.Г. ПЕТРОСЯН, Г.Р. МАРКОСЯН, С.В. ШАХВЕРДЯН

МЕТОДЫ ЛОКАЛИЗАЦИИ ИСТОЧНИКА ЭНЕРГИИ В СОССП

Предложены три метода локализации источника энергии (ударов) в первом контуре энергоблока АЭС по информации, выданной СОССП. Приводятся результаты проверки первого метода по локализации местоположения удара, наблюдаемого на энергоблоке ¹2 Армянской АЭС.

Ключевые слова: локализация, преобразование Фурье, метод гипербол, амплитуда сигналов, датчик ускорения, коэффициент ослабления, временная статистика.

Система обнаружения свободных и слабозакрепленных предметов (СОССП), предназначенная для обнаружения свободных предметов и слабозакрепленных узлов компонентов первого контура энергоблоков АЭС, в 1998г. была введена в промышленную эксплуатацию на энергоблоке ¹2 Армянской АЭС.

Свободные и слабозакрепленные предметы обнаруживаются по вызываемому ими корпусному шуму (удары). Контроль над акустическим состоянием оборудования ведется с помощью датчиков ускорения (акселерометров), установленных на компонентах первого контура в количестве 24 шт. При превышении корпусным шумом задаваемых пользователем системы уставок (относительных и абсолютных порогов) система автоматически регистрирует событие. Последующая обработка полученной при событиях (временная статистика сигналов в звуковом диапазоне частот) информации средствами программного обеспечения (ПО) системы должна позволить локализовать источник энергии (определить местоположение свободного предмета или слабозакрепленного узла).

В стандартном ПО СОССП [1] не включены программы локализации источника энергии, поскольку они в принципе могут работать только в автономном режиме. Дело в том, что для программы локализации источника энергии необходимо иметь параметры, которые определяются пользователем системы на основе анализа временной статистики сигналов, выданной системой при событиях.

В данной работе разработаны три метода локализации источника энергии, переданные в программном исполнении Армянской АЭС для использования в автономном режиме.

1. Методы локализации

Метод 1 (метод гипербол)

а) Локализация на линии (трубопроводе). Для локализации источника энергии на линии используются показания (временные статистики) двух датчиков, среагировавших первыми на ударные явления (события). Метод 1 для случая линии организуется следующими двумя этапами.

Этап 1. Устанавливаются номера двух датчиков, один из которых (реагировавший первым) принимается как базовый. Информацию об этом выдает СОССП.

Этап 2. Определяется местоположение ударяющего предмета или слабозакрепленного узла в первом контуре из решения системы

$$t_b - t_a = \Delta t, \quad c(t_b + t_a) = d \quad (1)$$

относительно t_b и t_a , где t_b , t_a – время прихода сигналов к датчикам b и a соответственно; c – скорость распространения продольных волн (заданное число); d – расстояние между датчиками b и a (известное число); Δt – разность времен прихода (РВП) сигналов, которая определяется пользователем системы по временной статистике сигналов.

В результате решения системы (1), если $t_b > 0$ и $t_a > 0$, то $R \in [a \text{ и } b]$, $R = c t_a$. Если же $t_a < 0$, то $R \in [a \text{ и } b]$, $R = c t_a$, т.е. источник расположен слева от точки a на расстоянии R . Аналогично, если $t_b < 0$, то $R \in [a \text{ и } b]$, $R = c t_b$, т.е. источник расположен справа от точки b на расстоянии R .

Хотя изложенный метод весьма прозрачен, однако при его применении возникают затруднения, связанные с определением d и Δt .

б) Локализация на поверхности (корпус реактора, парогенератор). Локализация источника энергии на поверхности требует более сложных построений и показаний уже трех датчиков. Пусть эти три датчика установлены на корпусе реактора в точках a , b , v (в СОССП именно так и рекомендовано их расположить) и пусть первым среагировал датчик b , который будет базовым. Тогда из (1) при фиксированном Δt можно определить R , если будет известно d . Однако d неизвестно, так как источник расположен на поверхности, поэтому система (1) решается при различных d . Коль скоро Δt фиксировано, то очевидно, что точки удара будут находиться на гиперболе [2]. Для того чтобы определить точки удара, следует по двум показаниям других датчиков аналогичным образом построить вторую гиперболу. Одна из точек пересечения двух гипербол будет местом приложения источника энергии, причем какая именно из двух точек является искомой, устанавливается по близости точек от базового датчика.

Отметим, что точки пересечения гипербол можно установить либо из совместного аналитического решения уравнений гипербол, либо графически. Эти процедуры здесь опускаются, поскольку они широко известны [2].

Метод 2 (метод преобразования Фурье)

а) Локализация на линии. Метод 2 основан на использовании результатов прямого и обратного преобразований Фурье (ППФ, ОПФ) временной статистики сигналов датчиков. Причем для локализации источника энергии на линии используются показания только одного датчика. Локализация по этому методу также проводится в два этапа.

Этап 1. Процедура по этапу 1 аналогична процедуре этапа 1 метода 1.

Этап 2. Из уравнения

$$r/v_1 - r/v_2 = \Delta t \quad \text{или} \quad r = \frac{v_1 v_2}{v_2 - v_1} \Delta t \quad (2)$$

определяется расстояние от точки удара до базового датчика (r), где v_1 и v_2 - скорость распространения сигналов при частотах f_1 и f_2 . Для того чтобы по f_1 и f_2 определить v_1 и v_2 , необходимо иметь дисперсную характеристику сигналов, на основе которой вычисление r организуется по следующей схеме.

Шаг 1. На основе временной статистики сигналов базового датчика производится ППФ по требованию пользователя СОССП, в результате на экран выводится спектральная характеристика шумового процесса. По двум пиковым значениям спектральной плотности устанавливаются соответствующие частоты f_1 и f_2 .

Шаг 2. По f_1 и f_2 и заданной полосе пропускания сигналов производится ОПФ, в результате получаются две новые временные реализации, по которым определяется разность начал временных процессов (Δt).

Шаг 3. По f_1 и f_2 на основе дисперсной характеристики сигналов устанавливаются v_1 и v_2 , по формуле (2) вычисляется расстояние источника энергии от датчика б на линии (r).

б) Локализация на поверхности. Для локализации источника энергии на поверхности по методу 2 также требуются показания трех датчиков. По аналогии с процедурой вычисления r по (2) для каждого датчика определяется r_i ($i = \overline{1,3}$) и с центром в точках установки датчиков и радиусами r_i проводятся окружности, точка пересечения которых будет местом приложения источника энергии. Возможно, что эти три окружности не пересекутся в одной точке из-за ошибки вычисления Δt . Однако по построению трех окружностей можно определить область, в которой находится источник энергии.

Метод 3 (экспоненциальный метод)

Метод 3 основан на том положении, что ослабление шумового сигнала по длине исследуемого тракта подчиняется следующему закону [3]:

$$A(x) = A_0 e^{-\alpha x}, \quad (3)$$

где A_0 - максимальная амплитуда сигнала на расстоянии $x = 0$, т.е. в точке приложения источника энергии, неизвестное число; α - коэффициент ослабления сигнала; $A(x)$ - максимальная амплитуда сигнала на расстоянии x от начала координат, которая подлежит определению, известное число, выдаваемое СОССП.

Отметим, что для локализации источника энергии на линии по методу 3 необходимо иметь минимум три датчика. На основе предварительного анализа из этих трех датчиков выбираются два с предположением, что источник энергии не расположен между ними.

Пусть $x_1 < x_2$, следовательно, $A(x_1) > A(x_2)$, где x_1, x_2 - соответственно расстояние датчиков 1 и 2 от неизвестного пока начала координат. Тогда из (3) будем иметь $\ln A(x_1) = \ln A_0 - \alpha x_1$, $\ln A(x_2) = \ln A_0 - \alpha x_2$ или $\ln A(x_1) - \ln A(x_2) = \alpha (x_2 - x_1)$, откуда

$$\alpha = \frac{\ln A(x_1) - \ln A(x_2)}{d}, \quad (4)$$

где $d \equiv x_2 - x_1$ - расстояние между датчиками 1 и 2, заданное число.

Через точки $M_1[x_1, \ln A(x_1)]$ и $M_2[x_2, \ln A(x_2)]$ проводится прямая M_1M_2 , которая, очевидно, будет иметь угловой коэффициент $-\alpha$, а через точку $M_3[x_3, \ln A(x_3)]$ проводится вторая прямая с угловым коэффициентом α , определенным по (4). Точка пересечения этих двух прямых будет местом расположения источника энергии.

Анализируя изложенные методы, можно отметить следующее:

- первые два метода с точки зрения области применения более универсальны, чем метод 3. Однако в первых двух методах в качестве входного параметра используется Δt (РВП), точное определение которого связано с трудностями;
- в методе 3 параметр Δt не используется, однако его применение в случае локализации на поверхности ограничено.

В силу этого следует использовать эти методы параллельно и после анализа результатов определить местоположения источника энергии.

2. Результаты экспериментальной проверки

Проверка программы локализации места удара осуществлена по полученной из СОССП информации, зарегистрированной при событиях, наблюдаемых с 22 по 25.06.1999г. Визуальный анализ временной статистики при событиях показал, что у ГЦН-3 (главный циркуляционный насос) за это время имело место несколько сильных ударных явлений (к сожалению, причину не удалось раскрыть).

- На эти ударные явления при всех событиях существенно реагировали, кроме датчика 1 (на ГЦН-3), датчики 2,3, установленные в МПЗ (межпатрубковая зона) и на ГЦН -2.

Как известно, для локализации места удара в первую очередь следует вычислить РВП сигналов, определяемых из временной статистики как разность начал всплесков сигналов. Вычисленные таким образом РВП сигналов двух пар датчиков 1, 2, а также 1, 3 занесены в таблицу для всех событий. Кроме того, для алгоритма локализации места удара необходимо иметь расстояния между парами датчиков 1 и 2, а также 1 и 3.

Расстояние между датчиками 2 и 3 определено по формуле $d_{2,3} = \Delta t_{2,3} \cdot c$, где c - скорость распространения продольных волн, $c = 5920 \text{ м/с}$; $\Delta t_{2,3}$ - РВП сигналов датчиков 2 и 3, равная $5,5 \cdot 10^{-3} \text{ с}$, согласно временной статистике, откуда имеем $d_{2,3} = 32,6 \text{ м}$. Следовательно, $d_{1,3} = d_{2,3} - 12 = 20,6 \text{ м}$. Здесь цифра 12 получена как разность 16 - 4, где 16 - величина гашения сигналов в реакторе [4]; 4 - расстояние между точкой сопряжения холодной нитки с корпусом реактора и датчиком 2.

В графе 8 таблицы приведены расстояния от места удара до датчика 1 (в сторону реактора), где числитель дроби - значения, полученные по РВП сигналов датчиков 1 и 2, а знаменатель - по РВП датчиков 1 и 3. Некоторый разброс цифр в графе 8 обусловлен точностью подготовки исходной для программы локализации места удара информации, что вполне приемлемо для практического применения программы.

Таблица

Дата, время	Максимальная амплитуда по каналам, mg^*			РВП, 10^{-3} с			Место удара, м
	1	2	3	1 - 2	2 - 3	1 - 3	
22.06.99 10.06.46	30000	22559	27187	2,3	5,5	7,8	3,5 2,91
23.06.99 0.40.51	30000	28110	25312	2,2	5,6	7,7	3,78 3,20
23.06.99 6.31.29	30000	30000	30000	2,8	5,7	7,9	2,1 2,61
23.06.99 13.38.46	30000	30000	30000	2,7	5,4	8,0	2,73 3,25
25.06.99 21.35.48	30000	30000	27436	2,2	5,4	8,0	3,78 3,25

* g — ускорение силы тяжести.

Анализируя полученные результаты (графа 8), можно однозначно утверждать, что место удара находится внутри ГЦН - 3.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Системная документация «СОССП» фирмы «Siemens», 1992.
2. **Ильин В.А., Позняк Э.Г.** Аналитическая геометрия.- М.:Наука, 1971.- 458 с.
3. **Бендат Дж., Пирсол А.** Прикладной анализ случайных данных.- М.: Мир, 1989.- 540 с.
4. **Маркосян Г.Р., Петросян В.Г., Шахвердян С.В., Асланян М.А.** Локализация течи теплоносителя из первого контура ВВЭР-440 в диагностической системе «Альс» фирмы «Siemens» // Теплоэнергетика.- 2000.-15. –С. 15-20.

Арматом, Армянская АЭС. Материал поступил в редакцию 10.03.1999.

Վ.Գ. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ, Գ.Ռ. ՄԱՐԿՈՍՅԱՆ, Ս.Վ. ՇԱԽՎԵՐԴՅԱՆ

ԱԹՀՀՀ (СОССП) ԱՆՏՈՐՈՇԻՉ ՀԱՄԱԿԱՐԳՈՒՄ ԷՆԵՐԳԻԱՅԻ ԱՂԹՈՒՐԻ ՏԵՂԱՅՆԱՑՄԱՆ ՄԵԹՈԴՆԵՐ

Առաջարկվում են ԱԷԿ-ների էներգաբլոկների առաջին կոնտուրում էներգիայի աղբյուրի (հարվածի) տեղայնացման երեք մեթոդներ՝ ըստ ԱԹՀՀՀ (հԿհհկ) համակարգի տված տեղեկատվության: Բերվում են հարվածի տեղայնացման առաջին մեթոդի ստուգման արդյունքները՝ դիտարկված Հայկական ԱԷԿ-ի N2 էներգաբլոկում:

V.G. PETROSYAN, G.R. MARKOSYAN, S.V. SHAHVERDYAN
METHODS OF ENERGY SOURCE LOCALIZATION IN THE
FSFODS (COCCPI) DIAGNOSTIC SYSTEM

Three methods of energy source (strokes) in the first power-generating unit cycle of the Armenian Nuclear Power Plant (ANPP) using the information given by FSFODS (COCCPI) system, are proposed. The first method checking results on localization of stroke location observed in Unit 2 at the ANPP are given.

Թ.Պ. ԱՍՍՏՐՅԱՆ, Լ.Վ. ԵՂԻԱԶԱՐՅԱՆ, Վ.Ի. ՍԱՀԱԿՈՎ

ՄԻՆԶԵՎ 1000 կՎԱ ՀԶՈՐՈՒԹՅԱՆ ՈՒԺԱՅԻՆ ՏՐԱՆՍՖՈՐՄԱՏՈՐՆԵՐԻ ՊԱՐԱՊ ԸՆԹԱՑՔԻ ԿՈՐՈՒՍՏՆԵՐԻ ՉԱՓԱԳՐՄԱՆ ՄԵԹՈԴ

Առաջարկվում է ուժային տրանսֆորմատորների պարապ ընթացքի կորուստների չափագրման նոր մեթոդ, որը, ապահովելով չափագրումների պահանջվող ճշտությունը, հանգեցնում է ժամանակի և ֆինանսական միջոցների տնտեսման:

Առանցքային բառեր. տրանսֆորմատոր, փորձարկում, պարապ ընթացքի կորուստներ:

Ուժային 6 (10) / 0,4 կՎ տրանսֆորմատորների պարապ ընթացքի (ՊԸ) կորուստները չափագրվում են համաձայն /1/-ի, որտեղ բերված են տրանսֆորմատորների էլեկտրամագնիսական փորձարկումների եռաֆազ և միաֆազ մեթոդները:

Եռաֆազ մեթոդ. Կողմնակի սնուցման եռաֆազ աղբյուրից տրանսֆորմատորի ցածր լարման փաթույթներին տրվում է արդյունաբերական հաճախության անվանական լարում: Չափագրվում են յուրաքանչյուր ֆազի լարումը, հոսանքը, հաճախությունը և ակտիվ հզորությունը: Եթե լարումը և հաճախությունն անվանական են, ապա տրանսֆորմատորի ՊԸ կորուստները (կորուստների հզորությունը) որոշվում են երեք ֆազերի չափագրված ակտիվ հզորությունների հանրահաշվական գումարով: Հակառակ դեպքում այն բերվում է անվանական լարման և հաճախության:

Միաֆազ մեթոդ. Երբ սնուցման եռաֆազ աղբյուրը բացակայում է, ՊԸ կորուստները չափագրվում են միաֆազ մեթոդով՝ երեք միատեսակ չափագրումների արդյունքում՝

1. Կարճ փակվում է տրանսֆորմատորի ցածր կամ բարձր լարման A ֆազի փաթույթը և գրգռվում են ցածր լարման B և C ֆազերի փաթույթները: Գրգռման համար օգտագործվում է միաֆազ սնուցման աղբյուր: Չափագրվում է P_{OA} կորուստների հզորությունը:
2. Կարճ է փակվում տրանսֆորմատորի B ֆազը, գրգռվում են A և C ֆազերը և չափագրվում է P_{OB} հզորությունը:
3. Կարճ է փակվում տրանսֆորմատորի C ֆազը, գրգռվում են A և B ֆազերը և չափագրվում է P_{OC} հզորությունը:

Քանի որ այս մեթոդով տրանսֆորմատորի յուրաքանչյուր ֆազը չափագրումներին մասնակցում է կրկնակի անգամ, ՊԸ կորուստների հզորությունը կորոշվի

$$P_{\Sigma} = \frac{P_{OA} + P_{OB} + P_{OC}}{2} \quad (1)$$

բանաձևով: Ենթադրվում է, որ չափագրումների ժամանակ գրգռման լարումը պետք է լինի.

$$U_{\text{գր.}} = \frac{2 U_{\text{ազ}}}{\sqrt{3}}, \quad (2)$$

որտեղ $U_{\text{ազ}} = 380$ Վ - ը անվանական գծային լարումն է:

Եթե գրգռման լարումը և հաճախությունը շեղված են անվանականից, P_{OA} -ն, P_{OB} -ն և P_{OC} - ն պետք է բերել անվանականի, հետո կիրառել (1) - ը: Գործող էլեկտրական ցանցում ուժային տրանսֆորմատորների ՊԸ փաստացի բնութագրի չափագրման համար առաջանում է սնուցման աղբյուրի խնդիրը:

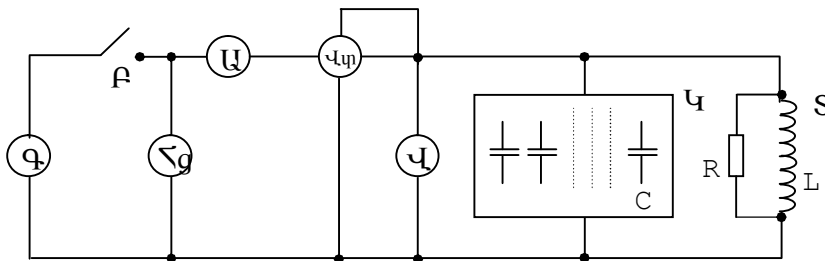
Երբ չափագրվող տրանսֆորմատորի մոտ առկա է երկրորդ գործող տրանսֆորմատորը, այն օգտագործվում է որպես սնուցման աղբյուր: Վերջինիս բացակայության դեպքում որպես սնուցման աղբյուր անհրաժեշտ է օգտագործել շարժական էլեկտրակայան (գեներատոր), որը, սակայն, պետք է ունենա որոշակի հզորություն՝ չափագրումների ճշտությունն ապահովելու համար: Գեներատորի հզորության ընտրության հետ առնչվող հարցերը մանրամասն դիտարկվում են /2/ - ում: Հետևելով /2/ - ին, նշենք, որ 1000 կՎԱ հզորությամբ տրանսֆորմատորի ՊԸ կորուստները եռաֆազ մեթոդով չափագրելու համար անհրաժեշտ է օգտագործել մոտ 100 կՎտ հզորությամբ գեներատոր, իսկ միաֆազ մեթոդով՝ մոտ 67 կՎտ հզորությամբ:

Այսպիսի հզորությամբ գեներատորներն ունեն մեծ չափեր և զանգված, իսկ նրանց օգտագործումը մեծ տարածությունների վրա սփռված տրանսֆորմատորների ՊԸ կորուստների չափագրման համար պահանջում է զգալի աշխատուժ և ֆինանսական միջոցներ:

Գեներատորի հետ կապված խոչընդոտների շրջանցման նպատակով մշակվել է չափագրումների նոր մեթոդ, որը միաֆազ մեթոդի կատարելագործված տարբերակն է:

Հայտնի է, որ ՊԸ ռեժիմում տրանսֆորմատորը հիմնականում ռեակտիվ (ինդուկտիվ) դիմադրություն է /3/: Դա նշանակում է, որ ՊԸ հոսանքի ռեակտիվ բաղադրիչը շատ անգամ մեծ է ակտիվ բաղադրիչից, որով և բացատրվում է չափագրումների համար մեծ հզորության սնուցման աղբյուրի անհրաժեշտությունը: Մշակված մեթոդի էությունը տրանսֆորմատորի ՊԸ հոսանքի (հզորության) ռեակտիվ բաղադրիչի կոմպենսացումն է, որը կատարվում է կոնդենսատորների օգնությամբ:

Չափագրումների սխեման բերված է նկ. 1 - ում:



Նկ.1. Ռեակտիվ հզորության կոմպենսացումով չափագրման սխեմա

Նկարում Գ-ն գեներատորն է, Հց - ն՝ հաճախամետր, S - ն տրանսֆորմատորի գրգռվող փաթույթների զույգն է (A - B, A - C, B - C), որտեղ L - ը զույգ փաթույթների ինդուկտիվությունն է, R - ը այդ զույգով պայմանավորված պարապ ընթացքի կորուստների մեծությունը որոշող համարժեք ակտիվ

դիմադրությունն է, U - ն՝ ամպերմետր, Φ - ն՝ վոլտմետր, F - ն՝ բանալի, իսկ Ψ - ն կոնդենսատորների մարտկոց է, որը պարունակում է մեկական 1, 2, 10, 30, 60 μF և երկուական 4, 20, 50 μF ունակության կոնդենսատորներ: Այսպիսի ունակության կոնդենսատորներով մարտկոցը հնարավորություն է տալիս 1 μF մեծությամբ քայլով շղթայի մեջ մտցնել մինչև 251 μF ունակության կոնդենսատոր, որը գեներատորի ելքի ~ 220 Վ, 50 Հց լարման դեպքում ապահովում է 0,07 Ա - ից մինչև 17,3 Ա ունակային հոսանք: Ունակային հոսանքի այս մեծությունը բավարար է մինչև 1000 կՎԱ հզորության տրանսֆորմատորի ՊԸ ինդուկտիվ հոսանքը կոմպենսացնելու համար:

Չափագրումը կատարվում է հետևյալ կերպ. անջատիչի օգնությամբ շղթային է միացվում գեներատորը, այնուհետև շղթայի մեջ մտցված ունակության փոփոխումով ընտրվում է այն ռեժիմը, երբ ամպերմետրի ցուցմունքն ընդունում է նվազագույն արժեք: Դա նշանակում է, որ կոնդենսատորի ունակության և տրանսֆորմատորի ինդուկտիվության շղթայում հաստատվել է ռեզոնանս, որի ժամանակ դեպի տրանսֆորմատոր հոսում է միայն ակտիվ հոսանք: Գրանցվում են հաճախամետրի, վոլտմետրի և վատտմետրի ցուցմունքները: Այս ընթացակարգը կրկնվում է երեք անգամ՝ ամեն անգամ գրգռելով տրանսֆորմատորի ֆազային փաթյունների տարբեր գույգեր:

Չափագրումների գրանցված արդյունքների մշակումը կատարվում է հետևյալ հաջորդականությամբ.

- A ֆազի կարճ փակման դեպքում չափագրված ակտիվ հզորությունը բերվում է անվանական լարման և հաճախության:

$$P'_{OA\omega} = \left(\frac{U_{\xi A}}{U_{\text{գր.}}} \right)^2 \left(\frac{60}{f_{\xi A}} - 0,2 \right) \cdot P_{\xi OA}, \quad (3)$$

որտեղ $U_{\xi A}$ -ն, $f_{\xi A}$ -ն և $P_{\xi OA}$ -ն համապատասխանաբար A ֆազի կարճ փակման դեպքում չափագրված լարումը, հաճախությունը և ակտիվ հզորությունն են, իսկ $P'_{OA\omega}$ - ը՝ անվանական հզորությունը:

Նման եղանակով անվանական լարման և հաճախության են բերվում համապատասխանաբար B և C ֆազերի կարճ փակման դեպքում չափագրված ակտիվ հզորությունները ($P'_{OB\omega}$, $P'_{OC\omega}$):

- Որոշվում է չափիչ սարքերի վրա հզորության կորուստը, համաձայն $/4/$ - ի.

$$P_{\xi\omega} = U_{\xi}^2 \left(\frac{1}{R_{\text{լ}}} + \frac{1}{R_{\text{լգ}}}\right), \quad (4)$$

որտեղ U_{ξ} -ն վոլտմետրի ցուցմունքն է, $R_{\text{լ}}$ -ն վոլտմետրի դիմադրությունն է, իսկ $R_{\text{լգ}}$ -ն՝ վատտմետրի դիմադրությունը:

- Որոշվում է կոնդենսատորներում ակտիվ հզորության կորուստը.

$$P_{\psi} = 2\pi U_{\xi}^2 f_{\xi} C \text{tg} \delta, \quad (5)$$

որտեղ C - ն կոնդենսատորի ունակությունն է, (δ - ն կոնդենսատորների կորուստների անկյունն է, որը տվյալ տեսակի կոնդենսատորի համար տեղեկատվական մեծություն է:

Միացման հաղորդալարերում ակտիվ կորուստները փոքր լինելու պատճառով անտեսվում են:

- Հաշվարկվում են յուրաքանչյուր ֆազի կարճ փակման դեպքում անվանական հզորությունները՝ հաշվի առնելով չափող սարքերի վրա կորուստները:

$$\begin{aligned} P_{OAw} &= P'_{OAw} - P_{\Sigma A} - P_{\Sigma B} - P_{\Sigma C}, \\ P_{OBw} &= P'_{OBw} - P_{\Sigma A} - P_{\Sigma B} - P_{\Sigma C}, \\ P_{OCw} &= P'_{OCw} - P_{\Sigma A} - P_{\Sigma B} - P_{\Sigma C}: \end{aligned} \quad (6)$$

- Տրանսֆորմատորի չափագրված ՊԸ անվանական կորուստների հզորությունը ստացվում է (2) - ի կիրառմամբ.

$$P_{Ow} = \frac{P_{OAw} + P_{OBw} + P_{OCw}}{2} : \quad (7)$$

Նկարագրված մեթոդի ճշտության գնահատման նպատակով կատարվել են միևնույն տրանսֆորմատորի ՊԸ կորուստների չափագրում եռաֆազ մեթոդով (սնուցումն այլ տրանսֆորմատորից) և բերված մեթոդով (սնուցումը 2 կՎտ հզորության շարժական էլեկտրակայանից): Չափագրումների արդյունքները բերված են աղյուսակ 1 - ում:

Աղյուսակ 1

Չափագրումների արդյունքների նմուշ

Բնակավայր ՏԵ - ի համարը Տր. - թի համարը	Տր.- ի հզորու- թյունը (ԿՎԱ)	Տր. - թի կորուստների չափագրված հզորությունը բերված անվանականի (Վտ)		Առաջարկվող մեթոդի սխալը եռաֆազ մեթո- դի նկատմամբ (%)
		Սնուցումը Տր. - ից	Սնուցումը գեներատորից	
Արովյան, ՏԵ - 58, Տ - 1	400	1052	1036	1,52
Էջմիածին, ՏԵ - 8, Տ - 2	400	1004	981	2,29

Ինչպես երևում է աղյուսակից, չափագրումների սխալը 3 %-ից պակաս է և շահագործական փորձարկումների համար կարելի է համարել լրիվ բավարար: Եթե հաշվի առնենք, որ առաջարկվող մեթոդը խիստ կրճատում է չափագրումների հետ կապված ծախսերը և ժամանակը, ապա այն կարելի է համարել անհրաժեշտ, հատկապես այն տարբերակում, երբ երկրորդ տրանսֆորմատորը որպես սնուցման աղբյուր բացակայում է:

Եզրակացություններ

1. Տրանսֆորմատորի պարապ ընթացքի կորուստների ռեակտիվ հզորության կոմպենսացումով միաֆազ չափագրման մեթոդը .
 - թույլ է տալիս փոքր հզորության (2 կՎտ) շարժական էլեկտրակայանի օգնությամբ չափագրել մինչև 1000 կՎԱ հզորության տրանսֆորմատորների պարապ ընթացքի կորուստների հզորությունը,
 - ապահովում է աշխատուժի, ժամանակի և նյութական ռեսուրսների զգալի խնայողություն,

- ապահովում է շահագործական փորձարկումների բավականին բարձր ճշտություն:
2. Չափագրումների առաջարկված մեթոդը կարելի է համարել արդյունավետ մինչև 1000 կՎԱ տրանսֆորմատորների պարապ ընթացքի կորուստների չափագրման համար և երաշխավորել նրա գործնական կիրառումը:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **ГОСТ 3484.1 – 88.** Трансформаторы силовые, методы электромагнитных испытаний.
2. **Каганович Е. А.** Испытание трансформаторов малой и средней мощности. -М.; Л.: Госэнергоиздат, 1959. – 189 с.
3. **Петров Г. И.** Электрические машины. - М.: Госэнергоиздат, 1956. - 224 с.
4. **ГОСТ 8476-93.** Приборы аналоговые показывающие, электроизмерительные прямого действия .

ՀՀ Էներգետիկայի ինստիտուտ: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 05.09.2000.

Т.П. АСАТРЯН, Л.В. ЕГИАЗАРЯН, В.И. СААКОВ

МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ПОТЕРЬ ХОЛОСТОГО ХОДА СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ МОЩНОСТЬЮ ДО 1000 кВА

Предлагается новый метод измерения потерь холостого хода силовых трансформаторов, который, обеспечивая требуемую точность, приводит к экономии времени и финансовых средств.

T.P. ASATRYAN, L.V. YEGHIAZARYAN, V.I. SAHAKOV

A NEW METHOD FOR MEASURING IDLE STROKE LOSSES FOR TRANSFORMERS WITH CAPACITY UP TO 1000 kW

A new method for measuring the idle stroke losses for transformers, which, providing the required accuracy, results in saving the time and financial means, is proposed.

Ю.А. КАЗАРЯН, Г.Д. БЕДЖАНЯН, К.П. МАНУКЯН, М.Р. АРУТЮНОВ

К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТОПЛИВНО - ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА РЕСПУБЛИКИ АРМЕНИЯ

В условиях избыточности производственных мощностей отдельных участков структурных единиц ТЭК РА предложенный методический подход позволяет повысить загрузку производственных активов, улучшить структуру топливно-энергетического баланса путем использования избыточных мощностей для диверсификации импорта энергоносителей и повышения энергетической безопасности Армении.

Ключевые слова: газотранспортная система, структура топливopotребления, топливно-энергетический комплекс, эффективность транспорта энергоносителей.

Топливоно-энергетический комплекс Республики Армения (ТЭК РА) включает в себя газотранспортную систему, обладающую значительной производительностью; высокоразвитую электроэнергетическую систему (атомную, гидро- и тепловые электростанции, линии электропередач); систему вторых топливных хозяйств, представленную 24 нефтебазами с возможностью приема-отпуска значительных объемов нефтепродуктов и мазутохранилищами, составляющими топливный резерв ряда энергоемких промышленных предприятий.

Анализ ретроспективных данных по балансу потребления котельно-печного топлива показал, что последний был представлен в основном газовой и мазутной составляющими. Уголь и другие виды твердого топлива не получили промышленного применения.

Уровень потребления мазута доходил в годы пикового (1988–1990 гг.) топливopotребления в РА до 2,4 млн т в год, что в балансе потребления котельно-печного топлива составляло до 35%. Причиной снижения доли потребления мазута явилось возрастание его стоимости, превышающей цену энергетического эквивалента природного газа более, чем на 55%.

Электроэнергетическая система Армении способна вырабатывать и распределять электроэнергию в объеме до 10 млрд кВт·ч в год. За период 1993–1999 гг. эта величина не превысила уровня 6 млрд кВт·ч в год. Загрузка мощностей системы в данном случае составляет не более 60%.

Газотранспортная система (ГТС) Армении проектировалась и сооружалась как базовая отрасль энергетики республики. ГТС представляет собой сеть магистральных закольцованных газопроводов с многониточной структурой, оснащенной трубами различного диаметра, рассчитанными на максимальное рабочее давление 5,5 МПа. Глубина газификации Армении составляет порядка 72%. ГТС РА способна принимать и распределять до 10 млрд м³ газа в год.

Сокращение объемов и консервация нерентабельных энергоемких производств привели к резкому падению объемов выработки и потребления

энергоресурсов в РА. На современном этапе производственные мощности на отдельных участках структурных единиц ТЭК РА обладают избыточностью даже с учетом необходимых резервных мощностей для повышения надежности их функционирования. Последнее проявляется в неоправданном завышении эксплуатационных расходов на выработку и доставку энергоносителей конечным потребителям.

Следующим фактором, отрицательно сказывающимся на эффективности функционирования ТЭК Армении, является полная ориентация энергопотребляющих процессов на использование природного газа. В частности, за период 1998–1999 гг. доля газа в топливно-энергетическом балансе республики достигла 60%. В условиях ограниченности источников поступления газа и нивелирования роли вторых топливных хозяйств по причине дороговизны доставки топочного мазута снижается надежность топливоснабжения и возрастает риск энергетической безопасности РА.

В этой связи особую значимость приобретает задача сокращения избыточности мощностей структурных единиц ТЭК и обеспечения сбалансированности структуры топливно-энергетического баланса с целью повышения эффективности функционирования ТЭК РА.

Решение данной задачи представляется возможным путем поэтапного ее решения на основе применения принципа декомпозиции с взаимным согласованием частных оптимальных решений, принимаемых каждой из подсистем ТЭК.

С формальной точки зрения, повышение эффективности функционирования ТЭК РА сводится к задаче структурно-параметрической оптимизации, заключающейся в целенаправленном изменении структуры и параметров ТЭК, обеспечивающем выполнение составными элементами комплекса транспортировки прогнозных величин потоков энергоносителей на рассматриваемую перспективу. При наличии избыточности производственных мощностей целью оптимизации является ограничение или выбор используемых активов в соответствии с прогнозной схемой потоков энергоносителей в системе. ТЭК рассматривается как сложная система со множеством входов и выходов, осуществляющая свою деятельность в условиях рыночной среды, управление которой подчинено принципу *минимум затрат–максимум доходов*. Критерий оптимальности транспорта энергоносителей должен обеспечить условие экономической эффективности деятельности транспортных предприятий.

Предлагаемая концептуальная модель повышения эффективности функционирования ТЭК РА включает следующие расчетные модули локальных подзадач:

1. **Маркетинг рынка сбыта углеводородного сырья в РА.** Обоснованный прогноз платежеспособного спроса связан с маркетинговыми исследованиями, учитывающими состояние экономики государства, ценовую и налоговую политику, платежеспособную дисциплину потребителей и др. Совокупность этих факторов в итоге формирует платежеспособный спрос на углеводородное сырье в отраслевом и территориальном разрезах [1].

2. **Адаптация производственных мощностей ТЭК к спросовым ограничениям.** На основе прогнозных уровней спроса на углеводородное сырье в пунктах потребления исследуется схема привязки потребителей

к поставщику, осуществляется выбор трасс энергоносителей и рассчитываются годовые потоки на участках транспортных систем за весь рассматриваемый период.

3. Оценка уровня избыточности производственных активов транспортных систем.

Избыточность устанавливается на основе коэффициента использования проектной мощности, рассчитываемого путем сопоставления прогнозной величины потока углеводородного сырья на участке трубопровода с его проектной величиной.

Выбор используемых производственных активов производится с учетом условия оптимальности транспорта энергоносителя, призванного обеспечить экономическую эффективность деятельности транспортного предприятия. В качестве количественной меры эффективности в данной постановке рассмотрен интегральный экономический эффект, включающий алгебраическую сумму стоимостной оценки транспорта углеводородного сырья, суммарных эксплуатационных расходов и капиталовложений, связанных с реконструкцией и развитием транспортных систем. В этой связи ключевую роль играет тарифная ставка на транспорт углеводородного сырья, являющаяся составной частью цены реализации энергоносителя [2]. Учет критерия оптимальности транспорта углеводородного сырья сводится к определению величины тарифной ставки, обеспечивающей зону устойчивости, в которой транспортное предприятие сохраняет статус экономически эффективного объекта.

Мероприятия по повышению эффективности функционирования ТЭК в контексте энергетической стратегии РА включают диверсификацию импорта энергоносителей, обеспечивающую энергетическую безопасность республики. Предлагаемые мероприятия основаны на использовании избыточных мощностей ГТС РА под транспорт сырой нефти и нефтепродуктов [3] и создании национального нефтеперерабатывающего комплекса. Разработка этих проектов связана с исследованием ресурсной базы углеводородного сырья для подачи в РА, выбором и обоснованием маршрутов подачи и др.

Экономическая оценка инвестиционных проектов поставок углеводородного сырья в РА включает прогнозирование внутренних и внешних условий реализации инвестиционных проектов, расчет критериев эффективности проекта и др. Экономический фон среды прогнозируется путем установления факторов и тенденций, влияющих на динамику индексов цен на сырье, материалы, оборудование и др. При оценке инвестиций учитываются цены на ресурсы, услуги и динамика изменения цен и тарифов, сведения об организационной среде, нормативно-правовой базе, источниках и формах финансирования. Эффективный проект обеспечивает возврат наличных денежных средств, для оценки которых использован метод расчета и анализа потоков наличности [4]. Расчет эффективности инвестиционного проекта производится с использованием показателей, которые вычисляются следующим образом:

$$(Rt^L)_t = (Tf_t^L) \frac{(L)_t}{100} \left[(Q^L)_t - \sum_{i=1}^n (P_i^{ow}) \right] - (OC^L)_t, \quad (1)$$

$$(NRt^L)_t = [1 - (CS)_t] (Rt^L)_t, \quad (2)$$

$$(NCF^L)_t = (NRt^L)_t + (A^L)_t - (K^L)_t, \quad (3)$$

$$(NPV^L)_{\Sigma,t} = \sum_{t=1}^t (NCF^L)_t \frac{1}{[1 + (Dr)_t]^t}. \quad (4)$$

Внутренняя норма прибыли определяется решением уравнения

$$(NCF^L)_T \frac{1}{(1+r)^1} + (NCF^L)_T \frac{1}{(1+r)^2} + \dots + (NCF^L)_T \frac{1}{(1+r)^t} = 0, \\ (Irr^L)_{t'} = r, \quad (5)$$

а срок окупаемости определяется как интервал времени t' , за пределами которого чистая текущая стоимость становится и остается положительной величиной, т.е. из условия

$$(NPV^L)_{t'} \geq 0, \quad t_{ok} = t', \quad (6)$$

где $(Rt^L)_t$ - налогооблагаемая прибыль по L-му маршруту углеводородного сырья в год t ; $(Tf^L)_t$ - тарифная ставка на транспорт углеводородного сырья по L-му маршруту в год t ; $(L)_t$ - длина маршрута подачи углеводородного сырья в год t ; $(Q^L)_t$ - объем подачи углеводородного сырья по L-му маршруту в год t ; $(P_i^{ow})_t$ - расход углеводородного сырья на собственные нужды и потери i -го участка трубопровода в год t ; $(OC^L)_t$ - эксплуатационные расходы по L-му маршруту в год t ; $(NRt^L)_t$ - чистая прибыль по L-му маршруту в год t ; $(CS^L)_t$ - налог на прибыль в % в год t ; $(NCF^L)_t$ - чистый денежный поток по L-му маршруту в год t ; $(A^L)_t$ - амортизационные отчисления по L-му маршруту в год t ; $(K^L)_t$ - капиталовложения в L-й маршрут в год t ; $(NPV^L)_{\Sigma,t}$ - чистая текущая стоимость по L-му маршруту в год t ; $(Dr)_t$ - ставка дисконтирования в год t ; r - ставка дисконтирования; $(Irr^L)_{t'}$ - внутренняя норма прибыли по L-му маршруту в год t' ; t_{ok} - период отрицательного денежного потока по L-му маршруту подачи углеводородного сырья.

Предложенный методический подход и разработанное модельное обеспечение использованы для повышения эффективности функционирования ТЭК РА. Единственным видом энергоносителя, поступающего в РА по системе магистральных трубопроводов, является природный газ. Избыточность производственных активов установлена на основе перспективной схемы потоков в ГТС, рассчитанной с учетом прогнозных уровней платежеспособного спроса на газ по марзам РА. Динамика показателей загрузки участков ГТС РА, свидетельствующая об избыточности производственных активов на рассматриваемую перспективу, приведена в табл. 1.

Избыточные мощности ГТС предлагается перепрофилировать для транспорта сырой нефти и нефтепродуктов. Результаты прогнозирования объемов потребления нефтепродуктов в РА на период до 2015 года, выполненного на основе ретроспективного анализа потребления светлых нефтепродуктов и топочного мазута, показали, что требуемый объем сырой нефти для РА может составить до 1,8 млн т в год.

С учетом сложившихся и перспективных направлений магистрального транспорта сырой нефти стран-экспортеров, как Россия, Казахстан, Азербайджан, Иран и Ирак, сформирован информационный комплекс с

описанием технических характеристик альтернативных вариантов поставок сырой нефти в РА (табл. 2).

Таблица 1

Прогнозные показатели использования производственных мощностей участков ГТС Республики Армения на период до 2015 года¹⁾

Наименование участка газопровода (УГ)	Диаметр трубы, мм	Производительность УГ, млн.м³/год	% использования мощностей							
			2000	2001	2002	2003	2004	2005	2010	2015
Кб.Мост–Айрум	1020	9000	20.5	23.0	26.3	30.1	32.2	39.2	44.2	47.8
Айрум–Ванадзор	530, 720	4000 1200	4.2 14.2	4.9 16.4	5.4 18.1	6.0 20.1	6.6 22.2	7.5 25.0	8.4 28.1	9.0 30.1
Ванадзор–Гюмри	530, 720	4000 1200	1.5 5.1	1.8 6.1	2.1 6.8	2.3 7.8	2.6 8.8	3.0 10.1	3.8 12.7	4.2 14.1
Айрум–Иджеван	1020	9000	18.7	20.8	23.9	27.4	29.3	35.9	40.5	43.8
Иджеван–Севан	720, 1020	11800 9000	13.8 18.2	15.4 20.2	17.7 23.2	20.2 26.2	21.5 28.2	26.4 34.6	29.6 38.9	32.0 42.0
Севан–Варденис	325, 530	1600 1200	8.2 11.0	10.4 13.9	11.5 15.3	12.9 17.3	14.4 19.2	16.0 21.3	20.1 26.8	22.6 30.2
Варденис–Джермук	325, 530	1600 1200	4.6 6.2	5.9 7.9	6.4 8.5	7.0 9.3	7.5 10.9	8.1 10.8	10.3 13.8	12.1 16.2
Джермук–Горис	530	1000	6.7	8.6	9.2	9.9	10.5	11.4	14.4	17.2
Севан–Раздан	530, 720, 1020	11800 9000	12.6 16.5	13.7 18.0	15.8 20.8	18.2 23.8	19.2 25.2	23.8 31.3	26.4 34.6	28.4 37.2
Раздан–Ереван	530, 720, 1020	6800 2800	10.1 24.6	11.5 27.9	13.4 32.6	16.9 41.1	18.3 44.4	20.8 50.6	24.6 59.7	27.2 66.1
Ереван–Армавир	530	800	9.0	11.2	12.6	14.2	16.2	18.5	24.1	27.2
Ереван–Арагат	377, 720	2000 480	7.5 31.5	8.4 35.0	9.1 38.1	9.9 41.3	10.7 44.8	11.9 49.6	14.9 62.1	16.1 63.7

¹⁾ В знаменателе указаны показатели с учетом выбора объемов используемых производственных мощностей.

Таблица 2

Характеристика вариантов поставок сырой нефти в Армению

Страна - экспортер	Пункт подключения	Протяженность, км			Число НПС, ед	Суммарн. мощность НПС, МВт
		Общая	Нового строительства	Реконструкции		
Россия	Нефтепровод Баку–Новороссийск (НПС Терская)	2600	–	420	8	14,5
Казахстан I	Танкером Тенгиз–Махачкала, нефтепровод Махачкала–Новороссийск (НПС Терская)	1350	–	420	8	14,5
Казахстан II	Танкером Тенгиз–Баку, нефтепровод Баку–Новороссийск (НПС Терская)	1650	–	420	8	14,5
Казахстан III	Танкером Тенгиз–Баку, нефтепровод Баку–Супса (НПС Самгори)	1250	–	240	4	8,5
Азербайджан	Нефтепровод Баку–Супса (НПС Самгори)	980	–	240	4	8,5
Иран	п. Тебриз	570	570	–	8	16,0
Ирак	п. Киркук	725	725	–	9	18,5

Выполненная оценка технических и технологических решений по указанным маршрутам позволяет заключить, что наиболее экономичным вариантом подачи сырой нефти в РА было бы подключение к нефтепроводу Баку–Супса в п. Самгори. Реализация данного проекта связана с необходимостью реконструкции 240 км линейной части трубопровода Сагурамо–Кр. Мост–Верин Талин, установки 4-х нефтеперекачивающих станций (НПС), одной совмещенной станции защиты и регулирования и одного замерного узла.

Выводы

1. В условиях дефицита инвестиций целесообразно осуществлять комплекс мер по восстановлению и реконструкции производственных мощностей многониточных коридоров ГТС в увязке с прогнозными уровнями платежеспособного спроса потребителей газа на рассматриваемую перспективу, т.е. необходимо основные фонды ГТС увязать с уровнями газопотребления, что позволит повысить эффективность их использования.

2. Предложенная концептуальная модель основана на принципе декомпозиции. Сущность разработанного методического подхода состоит в реализации следующих этапов:

- формализация свойств и выявление основных функций ТЭК;
- отслеживание динамики и тенденций в развитии структурных единиц ТЭК;
- определение альтернативных способов реализации этих функций и выбор наилучшего варианта функционирования ТЭК.

3. Выбор объемов используемых производственных активов ГТС РА, основанный на критерии интегрального экономического эффекта, позволяет улучшить загрузку основных фондов системы и повысить эффективность ее функционирования. Использование избыточных мощностей ГТС для транспорта сырой нефти и нефтепродуктов способствует дальнейшему совершенствованию структуры топливно–энергетического баланса республики, обеспечению диверсификации энергоносителей и сокращению риска энергетической безопасности РА.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Манукян К.П., Харазян А.Р., Манукян К.П. Прогнозирование спроса на газ в Армении в рыночных условиях // Сб. докл. 1-й Межд. энерг. конф. в Армении. – Ереван, 1998. – С. 366–369.
2. Казарян Ю.А., Беджаниян Г.Д., Арутюнов М.Р. Разработка методики и автоматизация расчета тарифных ставок за транзитные поставки природного газа // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. – 1997. – Т.50, ¹ 2. – С. 103–107.
3. Бычков В. Е., Данильченко И. Г., Пирогов Ю. Н. Газопровод для транспорта и хранения нефтепродуктов.–М.: Недра, 1992.–224 с.
4. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов (Вторая редакция) / Под рук. В. В. Коссова, В. Н. Лившица, А. Г. Шахназарова.–М.: Экономика, 2000. – 423 с.

ОЭИГП в СНГ ООО “НИИГазэкономика”. Материал поступил в редакцию 15.11.2000.

**ՅՈՒ. Հ. ՂԱԶԱՐՅԱՆ, Գ. Դ. ԲԵՋԱՆՅԱՆ, Կ. Պ. ՄԱՆՈՒԿՅԱՆ,
Մ. Ռ. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՈՎ**

**ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՀԱՆՐԱՊԵՏՈՒԹՅԱՆ ՎԱՌԵԼԻՔԱԷՆԵՐԳԵՏԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼԻՐԻ
ԳՈՐԾՈՒՆԵՈՒԹՅԱՆ ԱՐԴՅՈՒՆԱՎԵՏՈՒԹՅՈՒՆԸ ԲԱՐՁՐԱՑՆԵԼՈՒ ՀԱՐՑԻ ՎԵՐԱԲԵՐՅԱԼ**

Հայաստանի Հանրապետության վառելիքաէներգետիկական համալիրի կառուցվածքային տարրերի առանձին հատվածների արտադրական հզորությունների ավելցուկային պայմաններում առաջարկված մեթոդական մոտեցումը հնարավորություն է տալիս բարձրացնել արտադրական ակտիվների ծանրաբեռնվածությունը, բարելավել վառելիքա-էներգետիկական հաշվեկշռի կառուցվածքը՝ օգտագործելով ավելցուկային արտադրական հզորությունները էներգակիրների ներմուծման զանազանակերպման և Հայաստանի էներգետիկական անվտանգության բարձրացման համար:

**YU.H. GHAZARIAN, G.D. BEJANIAN, K.P. MANUKIAN,
M.R. HARUTYUNOV**

**METHODICAL APPROACH TO OPERATION EFFICIENCY INCREASE OF POWER COMPLEX
IN REPUBLIC OF ARMENIA**

In redundancy conditions of productive capacities in structural unit sections of fuel and energy complex in Republic of Armenia the methodical approach proposed allows to increase the loading of productive capacities, improve the structure of fuel and energy balance by using supefluous capacities for diversification of the import energy sources, and provide power safety of Armenia.

В.С. САФАРЯН ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТРАНСПОРТНОЙ ЗАДАЧИ

Приводится электрическая модель транспортной задачи, состоящей из нелинейных резисторов, диодов и источников тока. Рассматриваются задачи, родственные к транспортной, приведены их электрические модели. Используя известные свойства решения транспортной задачи, делаются соответствующие выводы о решении режимов рассматриваемых нелинейных цепей.

Ключевые слова: транспортная задача, квазитранспортная задача, опорное решение, двудольный граф, совершенная транспортная задача.

Как известно [1], некоторые простые задачи линейного программирования могут быть решены построением эквивалентных электрических цепей, содержащих источники тока и идеальные диоды. В [1] также показано, что решение любой электрической цепи, состоящей из источников напряжения, источников тока, идеальных трансформаторов, эквивалентно определению оптимального решения задачи линейного программирования. Добавление линейных сопротивлений к этим электрическим элементам обеспечивает более широкую эквивалентность между задачами квадратичного программирования с линейными ограничениями и электрическими цепями.

В [2] приводится электрическая модель транспортной задачи, а также метод решения задач линейного программирования по частям с применением общей теории ортогональных цепей.

Известно, что диакоптика, как самостоятельное направление решения математических и других задач, сформулировалась впервые в работах Г.Крона. Однако предложенные им подходы даны в абстрактном, общем виде, и попытки их непосредственного применения для решения конкретных задач не всегда были успешными.

В отличие от [1,2], в настоящей работе приводится электрическая модель транспортной задачи, состоящая из нелинейных резисторов, диодов и источников тока. Предлагаемая модель отличается своей простотой и может быть использована для решения транспортных задач. Учитывая аналогию между этими задачами и известными свойствами решения транспортной задачи [3], приходим к соответствующим выводам о решении нелинейных задач электрических цепей и наоборот.

Математическая формулировка транспортной задачи [3]: определить значения переменных x_{ij} , которые минимизируют стоимость перевозок

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

при условиях

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = a_i, \quad a_i \geq 0, \quad i = \overline{1, m}, \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = b_j, \quad b_j \geq 0, \quad j = \overline{1, n}, \quad (3)$$

$$x_{ij} (0, \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j. \quad (5)$$

Построим электрическую цепь, математическая модель которой идентична (1) - (5).

Для этого рассмотрим электрическую цепь, соответствующий граф которой является ориентированным полным двудольным (рис. 1а).

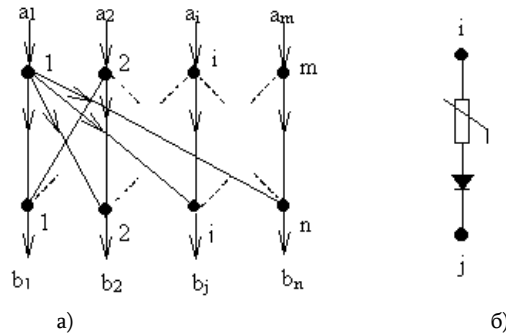


Рис. 1

Ветви электрической цепи состоят из идеального диода (ориентированного по направлению ветви) и нелинейного резистора (рис. 1б) с характеристикой $g_{ij} = x_{ij}/c_{ij}$, где g_{ij} - проводимость резистора; x_{ij} - ток через него; c_{ij} - фиксированное напряжение ветви. Характеристика ветви приведена на рис. 2.

Исходя из свойства минимальности потери рассеивания [4], можно показать, что уравнения состояния цепи идентичны (1) - (5). Действительно, (2), (3) представляют собой уравнения по первому закону Кирхгофа для узлов цепи, (4) обеспечивается характеристикой ветви, (5) представляет собой уравнение баланса узловых токов, а потери в цепи

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n r_{ij} x_{ij}^2 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \frac{c_{ij}}{x_{ij}} x_{ij}^2 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}.$$

Исходя из свойств транспортной задачи [1], можно установить следующие свойства для решений нелинейных цепей с характеристикой, представленной на рис. 2.

- а) нелинейные цепи вышеупомянутого типа всегда имеют решение;
- б) если значения всех источников токов - целые числа, то токи во всех ветвях также целочисленные;
- в) существует решение, состоящее не более чем из $m+n-1$ токов (опорное решение);

- г) если имеется решение, состоящее более чем из $m+n-1$ токов (неопорное решение), то задача имеет хотя бы два опорных решения;
- д) линейная комбинация двух решений также является решением;
- е) если имеется неопорное решение, то задача имеет бесконечное число решений.

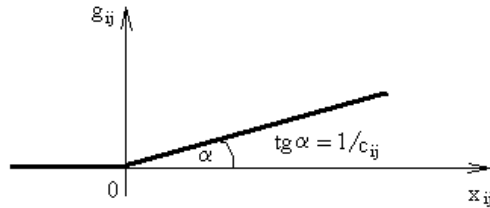


Рис. 2

Последнее свойство вытекает из двух предыдущих.

Исходя из законов Кирхгофа, установим свойство для транспортной задачи.

Очевидно, что цепь, представленная на рис. 1а, содержит $m+n$ узлов, $m(n-1)$ ветвей и $m(n-m-n+1)$ независимых контуров, а также $m+n-1$ ветвей дерева. При опорном решении ненулевые токи соответствуют ветвям какого-то дерева, при неопорном - из ветвей с ненулевыми токами образуется контур, для которого выполняется второй закон Кирхгофа. Поскольку напряжения на ветвях с ненулевыми токами равны c_{ij} , то можно сделать следующий вывод: если имеется контур, для которого алгебраическая сумма c_{ij} ветвей равна нулю, то транспортная задача имеет бесконечное число решений, в противном случае решение единственное (опорное).

Рассмотрим задачу, двойственную по отношению к рассмотренной транспортной задаче [5].

Определить вектор

$$Y=(u_1, u_2, \dots, u_m, v_1, v_2, \dots, v_n), \quad (6)$$

минимизирующий линейную форму

$$\sum_{i=1}^m a_i u_i - \sum_{j=1}^n b_j v_j \quad (7)$$

при ограничениях

$$v_j - u_i - c_{ij} \leq 0, \quad i = \overline{1, m}, \quad j = \overline{1, n}. \quad (8)$$

Для оптимальности допустимых (удовлетворяющих условиям (2) -(5)) искомым x_{ij} необходимо и достаточно, чтобы среди компонентов вектора (6), удовлетворяющих условию (8), нашелся такой, чтобы $v_j - u_i - c_{ij} = 0$, если $x_{ij} > 0$ [5]. При этом соответствующий вектор (6) является оптимальным в двойственной задаче. Линейная форма (7) представляет собой потери активной мощности, а компоненты вектора (6) - потенциалы узлов рассматриваемой цепи (рис. 1а).

Рассмотрим две задачи, родственные к транспортной.

Квазитранспортная задача. Определить значения переменных x_{ij} , которые минимизируют стоимость перевозок

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} |x_{ij}|$$

при условиях

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = a_i, \quad a_i \geq 0, \quad i = \overline{1, m}; \quad \sum_{i=1}^m x_{ij} = b_j, \quad b_j \geq 0, \quad j = \overline{1, n}; \quad \sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j.$$

Квазитранспортную задачу нельзя отнести к классу линейных, поскольку в целевой функции нарушено условие линейности. Электрическая модель квазитранспортной задачи отличается от классической лишь тем, что в ветвях отсутствуют идеальные диоды. При этом характеристика нелинейных резисторов (рис. 3а) имеет вид

$$g_{ij} = \frac{x_{ij}^2}{c_{ij} |x_{ij}|} = \frac{x_{ij}^2}{c_{ij} \operatorname{Sgn}(x_{ij}) x_{ij}} = \frac{|x_{ij}|}{c_{ij}},$$

а вольт-амперная характеристика (рис. 3б):

$$u_{ij} = \frac{x_{ij}}{g_{ij}} = \frac{x_{ij} c_{ij}}{|x_{ij}|} = \operatorname{Sgn}(x_{ij}) c_{ij},$$

где $\operatorname{Sgn}(x_{ij})$ - функция знака; u_{ij} - напряжение на ветви.

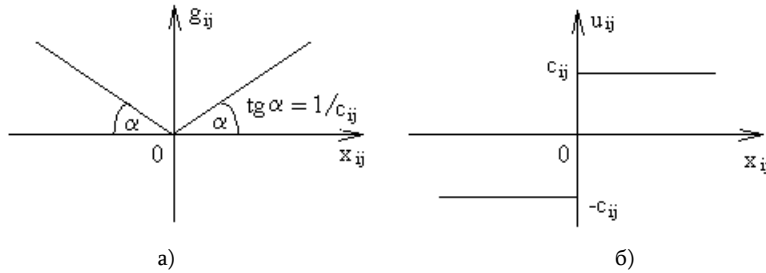


Рис. 3

Следовательно, квазитранспортная задача всегда имеет единственное решение [6].

Совершенная транспортная задача (СТЗ). Математическая модель совершенной транспортной задачи отличается от классической (1) - (5) лишь тем, что величины $a_i, i = \overline{1, m}$ рассматриваются как искомые. СТЗ не является транспортной задачей в смысле ее классического определения (среди искомых имеются компоненты с отрицательными коэффициентами), но она является задачей линейного программирования. СТЗ можно трактовать как транспортную задачу с оптимальным распределением ресурсов между источниками. Граф электрической цепи, моделирующей СТЗ, представлен на рис. 4а.

В модели СТЗ (рис. 4а) появляется обобщенный узел (0) с входом $Q = \sum_{i=1}^m a_i$. Ветви $i-j$ представлены на рис. 1б, а ветви $0-i$ содержат лишь

идеальные диоды (рис. 4б). Перечисленные выше свойства транспортной задачи справедливы для СТЗ.

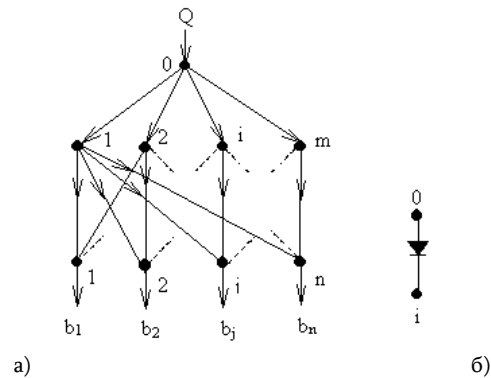


Рис. 4

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Деннис Дж.Б.** Математическое программирование и электрические цепи. - М.: Иностранная литература, 1961. - 216 с.
2. **Крон Г.** Исследования сложных систем по частям – диакоптика. - М.: Наука, 1972. - 542 с.
3. **Гасс С.** Линейное программирование. - М.: Физико-математическая литература, 1961. - 303 с.
4. **Дезоер Ч.А., Ку Э.С.** Основы теории цепей. - М.: Связь, 1976. - 286 с.
5. **Мухачева Э.А., Рубенштейн Г.Ш.** Математическое программирование. - Новосибирск : Наука, 1977. - 319 с.
6. **Пенфилд П., Спенс Р., Дюинкер С.** Энергетическая теория электрических цепей. - М.: Энергия, 1974. - 151 с.

ЗАО “Институт энергетики РА”. Материал поступил в редакцию 29.03.2000.

Վ.Ս. ՍԱՖԱՐՅԱՆ

ՏՐԱՆՍՊՈՐՏԱՅԻՆ ԽՆԴԻԻ ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ ՄՈՂԵԼԸ

Բերվում է տրանսպորտային խնդրի էլեկտրական մոդելը, որը բաղկացած է ոչ գծային դիմադրություններից, դիոդներից և հոսանքի աղբյուրներից: Դիտարկվում են նաև տրանսպորտայինին մերձավոր խնդիրներ, բերվում են դրանց էլեկտրական մոդելները: Օգտագործելով տրանսպորտային խնդրի լուծման հանրահայտ հատկությունները, կատարվում են համապատասխան եզրահանգումներ դիտարկվող ոչ գծային շղթաների ռեժիմների լուծման վերաբերյալ:

V. S. SAFARYAN

ELECTRICAL MODEL OF TRANSPORT TASK

An electrical model of transport task consisting of non-linear resistors, diodes and their models are considered. Corresponding conclusions are made on the considered circuit regime solutions by using the well-known characteristics of transport task decision.

Р.К. ЕГОЯН

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СОЛНЕЧНЫХ ВОДОНАГРЕВАТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Рассмотрены вопросы исследования и предпроектного моделирования теплоэнергетической эффективности солнечных водонагревательных преобразователей. Разработана экспериментальная установка для снятия основных характеристик и выбора системы управления.

Ключевые слова: электролит, датчик температур, контроль и управление, водонагревательный преобразователь.

С целью исследования и предпроектного моделирования теплоэнергетической эффективности солнечных водонагревательных преобразователей разработана экспериментальная установка [1].

Установка (рис.1) состоит из солнечного коллектора 1 с электролитическими датчиками температуры (ЭДТ) 14 и 15, установленными на входе и выходе коллектора, бака 9 с ЭДТ 6 - 8, установленными на различных уровнях по высоте бака, схемы вычитания 13, усилителей 2, 4 и 5 с выходными аналого-цифровыми преобразователями, пиранометра 12, помпы 10, расходомера 16, блока солнечных фотопреобразователей 11, ЭВМ 3 и интегратора КРЭИ 17 [2, 3].

До определенной температуры теплоносителя в преобразователе циркуляция жидкости происходит благодаря естественной конвекции. При достижении определенной разницы температур на входе и выходе коллектора включается помпа для предотвращения перегрева теплоносителя коллектора. При этом скорость помпы находится в прямой зависимости от источника питания, в качестве которого использован фотопреобразовательный элемент (11).

Текущая информация о изменении солнечной радиации, температуры в коллекторе и в баке, скорости потока теплоносителя вводится в ЭВМ и выдается в виде графиков и таблиц, данные которых позволяют получить динамические характеристики солнечного водонагревателя.

В установке в качестве измерителя температур применены ЭДТ, которые в отличие от традиционных термодатчиков имеют высокую чувствительность. При этом выходной сигнал выдается в виде синусоидального, величина которого на порядок превышает выходной сигнал термодатчиков, что позволяет непосредственно использовать его без предварительного усиления (рис. 2).

ЭДТ представляет собой герметичную камеру с помещенным в ней капилляром, частично заполненную ртутью и электролитом. Используемый электролит имеет отрицательный температурный коэффициент α .

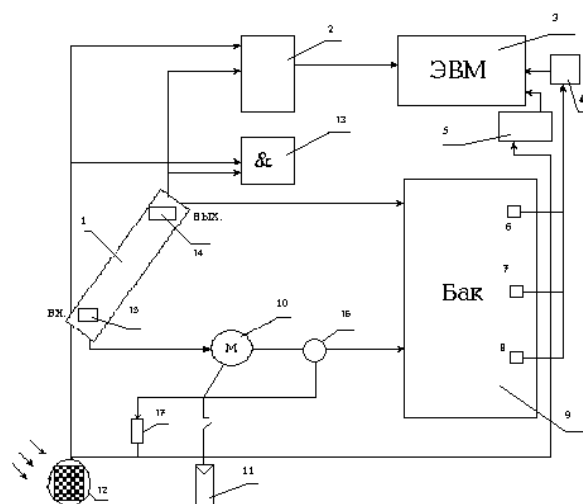


Рис.1

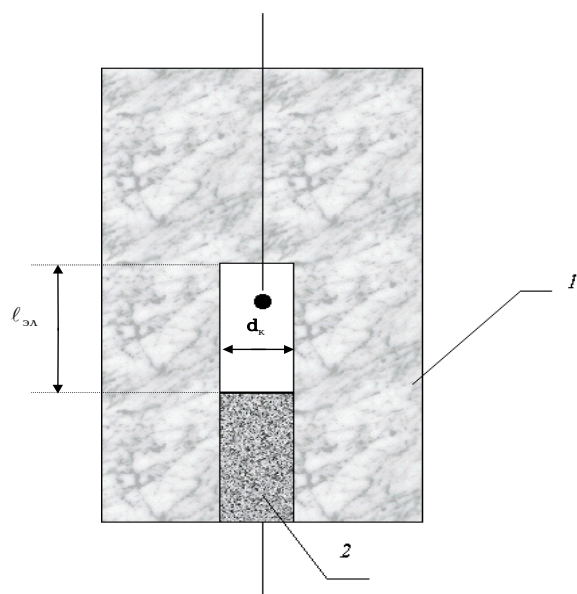


Рис. 2

1 – электролит, 2 - ртуть, d_k - диаметр капилляра,
 $l_{эл}$ - длина столба электролита

Аппроксимация температурной зависимости ЭДТ по принципу наименьшего квадратичного отклонения в общем случае может быть представлена в виде суммы полиномов

$$Z_0 / Z_{30} = 1 - [\alpha_0 (\theta - 30^0) + \alpha_1 (\theta - 30^0)^2],$$

где $\alpha_0 = 1,260 \cdot 10^{-2} \text{ град}^{-1}$; $\alpha_1 = 1,513 \cdot 10^{-4} \text{ град}^{-1}$; Z_{30} - сопротивление столба электролита при температуре 30(С с учетом сопротивления двойного слоя.

Схема включения ЭДТ приведена на рис.3.

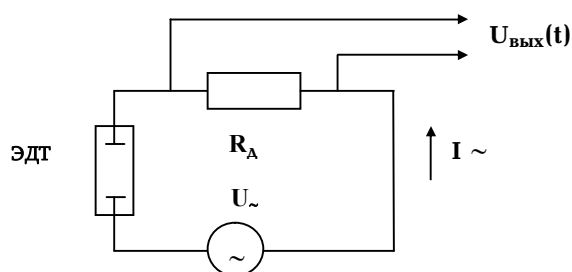


Рис. 3

Здесь $I \sim$ - ток считывания; R_d - дополнительное сопротивление.

ЭДТ включается последовательно с источником переменного сигнала, что позволяет производить считывание сопротивления столба электролита без разрушения информации в широком диапазоне частот. Ток считывания равен 0,5...1,5 мА. Сопротивление столба электролита, пренебрегая сопротивлением емкости двойного слоя, равно

$$R_{эл} = \frac{4 \cdot \ell_{эл}}{\rho_{эл} \pi d_k^2}.$$

Зависимость сопротивления ЭДТ в этом случае определяется в виде

$$R_t = \frac{4 \cdot \ell_{эл}}{\rho_{эл,30} \pi d_k^2} \left[1 - \alpha_0 (\theta - 30^\circ) + \alpha_1 (\theta - 30^\circ)^2 \right],$$

где $\rho_{эл,30}$ - электропроводность электролита при 30 (С.

На рис. 4 представлена зависимость изменения сопротивления ЭДТ от температуры окружающей среды.

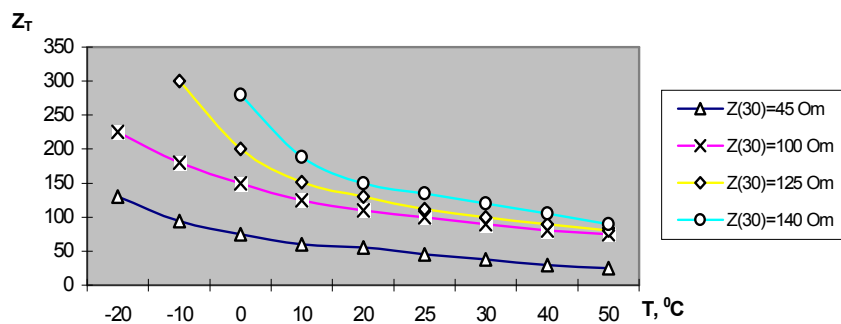


Рис. 4

Как видно, указанная зависимость обусловлена отрицательными температурными коэффициентами α_0, α_1 , которые изменяются в интервале 0,9...1,2% / град.

Использование ЭДТ с переменным сигналом на выходе в качестве измерителя температур позволило устранить звено для усиления выходного сигнала, применяемое в обычных термических датчиках, сигналом которых является постоянная ЭДС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Казарян Э.В., Егоян Р.К.** Информационно - измерительный комплекс для создания базы данных солнечных преобразователей // Сб. матер. год. научн. конф. ГИУА. - Ереван, 1998. - С.58.
2. **Казарян Э.В.** Принципы построения интегрирующих аналоговых преобразователей на основе капиллярных ртутно-электролитических элементов // Измерения, контроль, автоматизация. – М., 1981 - ¹ 3. - С. 29-35.
3. **Егоян Р.К., Казарян Э.В., Кардашян Г.А.** К вопросу мониторинга метеорологических данных при проектировании альтернативных источников тепловой энергии // Моделирование, оптимизация, управление. / ГИУА. - Вып.3. - Ереван, 2000. - С. 65 - 68.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 15.11. 2000.

Ռ.Կ. ԵՂՈՅԱՆ

ԱՐԵՎԱԿԱՆԱՅԻՆ ՋՐԱՍԱՔԱՑՈՒՑԻՉ ՁԵՎԱՓՈԽԻՉՆԵՐԻ ՁԵՐՄԱԷՆԵՐԳԵՏԻԿ ԱՐՅՈՒՆԱՎԵՏՈՒԹՅԱՆ ՄՈԴԵԼԱՎՈՐՄԱՆ ՓՈՐՁՆԱԿԱՆ ՄԱՐԲ

Քննարկված են արեգակնային ջրատաքացուցիչ ձևափոխիչների ջերմաէներգետիկ արդյունավետության հետազոտման և մինչնախագծային մոդելավորման հարցերը: Այդ նպատակով մշակված է հիմնական բնութագրերի հանման և կառավարման համակարգի ընտրման փորձական սարք:

R.K. YEGHOYAN

TEST INSTALLATION FOR SOLAR WATER HEATING TRANSFORMER THERMAL-ENERGY EFFICIENCY MODELING

Solar water heating transformer thermal-energy efficiency research and design modeling problems are considered. For that purpose the test installation for reading basic characteristics, as well as for choosing the control system are elaborated.

С.С. АРУТЮНЯН, А.С. АРУТЮНЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ АГРЕГАТА ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА ПО КОМБИНИРОВАННОЙ СХЕМЕ ВЫПРЯМЛЕНИЯ С ТОКООГРАНИЧИВАЮЩИМ РЕАКТОРОМ И РАЗРЯДНОЙ ЦЕПЬЮ

Рассматриваются переходные процессы тягового агрегата в период внешних коротких замыканий при наличии токоограничивающего реактора и разрядной цепи.

Ключевые слова: тиристорный агрегат, короткое замыкание, переходный процесс, токоограничивающий реактор, разрядная цепь.

В [1] был рассмотрен переходный процесс при внезапном глухом внешнем коротком замыкании (к.з.) нового тягового тиристорного агрегата с комбинированной электрической схемой без токоограничивающего реактора и разрядной цепи. Как было показано, ток к.з. при такой конфигурации схемы спадает до нуля в пределах двух временных интервалов.

С целью снижения амплитуды ударного тока к.з. и обеспечения запаса силовых вентилей по току иногда необходимо включать в аварийную цепь токоограничивающий реактор L_d-R_d . При этом перенапряжения на запираемых тиристорах при отсечке тока к.з. могут достичь недопустимых уровней [2, 3]. Для их снятия путем гашения электромагнитной энергии реактора непосредственно на выходных шинах комбинированного выпрямителя дополнительно вводится разрядная цепь VD_p-R_p (рис. 1).

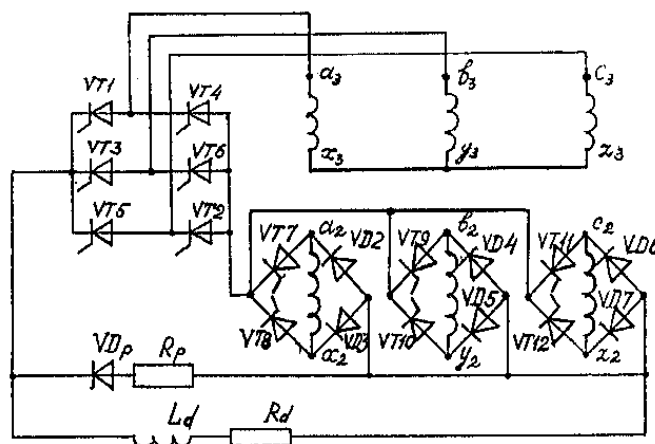


Рис. 1. Схема агрегата в режиме внезапного внешнего к.з. при токоограничивающем реакторе (L_d , R_d) и разрядной цепи (R_p , VD_p)

Выражения для определения аварийного тока в пределах первых двух временных интервалов приведены в [1]. Однако при реакторе и разрядной цепи второй интервал завершается в момент достижения тока к.з. i_{d2}^* максимального значения. Именно с этого момента включается в работу также разрядная цепь. Весь процесс спадания токов во всех трех ветвях цепи завершается в конце четвертого интервала.

Третий интервал (будет иметь место только в выпрямителе с разрядной цепью). В этом интервале справедлива система уравнений

$$u_{b3} - u_{c3} = 2L_{k3}(di_{b3}/dt) + 2R_{k3}i_{b3} - R_p i_p, \quad (1)$$

$$-E_d = L_d(di_{d3}/dt) + 2R_d i_{d3} + R_p i_p, \quad (2)$$

$$i_{d3} = i_{b3} + i_p, \quad (3)$$

где i_{d3} - ток нагрузки; i_p - ток в разрядной цепи; i_{b3} - ток в цепи “VD16, VT17 и VT2 – обмотки b3 и c3 – VT3”.

Из (1) – (3) получаем

$$d^2 i_{b3}^*/d(\omega t)^2 + (\rho_{d3} + \rho_{b3})di_{b3}^*/d\omega t + (\rho_{d3}\rho_{b3} - \rho_{p3}\rho_{pk3})i_{b3}^* = A_{b3} \sin(\omega t + \pi/3 + \theta_{k3}), \quad (4)$$

где $\rho_{d3} = (R_d + R_p) / \omega L_d$; $\rho_{p3} = R_p / \omega L_d$; $\rho_{k3} = R_p / 2\omega L_{k3}$;
 $\rho_{b3} = (2R_{k3} + R_p) / 2\omega L_{k3}$; $A_{b3} = (\sqrt{3}/2)\sqrt{\rho_{k3}^2 + 1}\sqrt{\rho_{d3}^2 + 1}$;
 $\text{tg}\theta_{b3} = 1/\rho_{d3}$.

Решая (4) для i_{b3}^* , получим

$$i_{b3}^* = -I_{Mb3}^* \sin(\omega t + \pi/3 + \theta_{b3} + \varphi_{b3}) + \frac{-P_2 I_{eb3}^* + (dI_{eb3}^*/d\omega t)}{P_1 - P_2} e^{P_1(\omega t - \psi_3)} + \frac{P_1 I_{eb3}^* - (dI_{eb3}^*/d\omega t)}{P_1 - P_2} e^{P_2(\omega t - \psi_3)}, \quad (5)$$

где P_1 и P_2 - корни характеристического уравнения

$$P^2 + (\rho_{d3} + \rho_{b3})P + (\rho_{d3}\rho_{b3} - \rho_{p3}\rho_{pk3}) = 0,$$

равные

$$P_{1,2} = -(\rho_{d3} + \rho_{b3})/2 \pm \sqrt{((\rho_{d3} - \rho_{b3})/2)^2 + \rho_{p3}\rho_{pk3}},$$

$$I_{Mb3}^* = A_{b3} / \sqrt{(1 + \rho_{p3}\rho_{pk3} - \rho_{d3}\rho_{b3})^2 + (\rho_{d3} + \rho_{b3})^2},$$

$$I_{eb3}^* = I_{b3}^* + I_{Mb3}^* \sin(\psi_3 + \pi/3 + \theta_{b3} + \varphi_{b3}),$$

$$\text{tg}\varphi_{b3} = (\rho_{d3} + \rho_{b3})/(1 + \rho_{p3}\rho_{pk3} - \rho_{d3}\rho_{b3}),$$

$$dI_{e,b3}^*/d\omega t = dI_{b3}^*/d\omega t + I_{Mb3}^* \cos(\psi_3 + \pi/3 + \theta_{b3} + \varphi_{b3}); \quad (6)$$

I_{eb3}^* и $dI_{eb3}^*/d\omega t$ - начальное значение тока i_{b3}^* и его производная, определяемые по (8) [1] и (1) при $\omega t = \psi_3$.

Третий интервал заканчивается, когда i_{b3}^* принимает нулевое значение. При выборе элементов разрядной цепи необходимо знать максимальное значение тока в ней. Уравнение относительно тока i_p^* можно получить из исходных (1) – (3). Для этого определим разность (2) и (3) и исключим из нее токи i_{d3} и i_{b3} и их производные с помощью (1) и (3). После преобразования относительно тока i_p^* разрядной цепи получаем

$$\begin{aligned} d^2 i_p^* / d(\omega t)^2 + (\rho_{d3} + \rho_{b3}) di_p^* / d\omega t + (\rho_{d3}\rho_{b3} - \rho_{p3}\rho_{pk3}) i_p^* = \\ = A_p \sin(\omega t + \pi/3 + \theta_p), \end{aligned} \quad (7)$$

где $\rho_3 = 2R_{k3} / \omega L_d$, $A_p = -(\sqrt{3}/2)\sqrt{\rho_2^2 + 1}\sqrt{\rho_{k3}^2 + 1}$, $\text{tg}\theta_p = 1/\rho_2$.

Решение (7) имеет вид

$$\begin{aligned} i_p^* = I_{op}^* - I_{op}^* \sin(\omega t + \pi/3 + \theta_p + \varphi_p) + \\ + \frac{-P_2 I_{ep}^* + dI_{ep}^*/d\omega t}{P_1 - P_2} e^{P_1(\omega t - \psi_3)} + \frac{P_1 I_{ep}^* - dI_{ep}^*/d\omega t}{P_1 - P_2} e^{P_2(\omega t - \psi_3)}, \end{aligned} \quad (8)$$

где $I_{op}^* = \beta_p / (\rho_{d3}\rho_{b3} - \rho_{p3}\rho_{pk3})$,

$$I_{Mp}^* = A_p / \sqrt{(1 + \rho_{p3}\rho_{pk3} - \rho_{d3}\rho_{b3})^2 + (\rho_{d3} + \rho_{b3})^2},$$

$$I_{ep}^* = I_{b3}^* + I_{Mp}^* \sin(\psi_3 + \pi/3 + \theta_p + \varphi_p) - I_{op}^*,$$

$$dI_{ep}^* / d\omega t = I_{Mp}^* \cos(\psi_3 + \pi/3 + \theta_p + \varphi_p),$$

$$\text{tg}\varphi_p = \text{tg}\varphi_{b3} = (\rho_{d3} + \rho_{b3}) / (1 + \rho_{b3}\rho_{pk3} - \rho_{d3}\rho_{b3}).$$

Ток в цепи нагрузки i_{d3}^* можно найти либо по (3) в относительных единицах и представляя i_{b3}^* и i_p^* по (5) и (8), либо решением уравнения относительно тока i_{d3}^* , полученного из исходной системы (1) – (3):

$$\begin{aligned} d^2 i_{d3}^* / d(\omega t)^2 + (\rho_{d3} + \rho_{b3}) di_{d3}^* / d\omega t + (\rho_{d3}\rho_{b3} - \rho_{p3}\rho_{pk3}) i_{d3}^* = \\ = A_{d3} \sin(\omega t + \pi/3), \end{aligned} \quad (9)$$

где $A_{d3} = (\sqrt{3}/2)\rho_{p3}\sqrt{\rho_{k3}^2 + 1}$.

Решением уравнения (9) является

$$\begin{aligned} i_{d3}^* = -I_{Md3}^* \sin(\omega t + \pi/3 + \varphi_{d3}) + \\ + \frac{-P_2 I_{ed3}^* + dI_{ed3}^*/d\omega t}{P_1 - P_2} e^{P_1(\omega t - \psi_3)} + \frac{P_1 I_{ed3}^* - dI_{ed3}^*/d\omega t}{P_1 - P_2} e^{P_2(\omega t - \psi_3)}, \end{aligned} \quad (10)$$

где $I_{Md3}^* = A_{d3} / \sqrt{(1 + \rho_{p3}\rho_{pk3} - \rho_{d3}\rho_{b3})^2 + (\rho_{d3} + \rho_{b3})^2}$,

$$I_{ed3}^* = I_{d3}^* + I_{Md3}^* \sin(\psi_3 + \pi/3 + \varphi_{d3}),$$

$$dI_{cd3}^*/d\omega t = dI_{d3}^*/d\omega t + I_{Md3}^* \cos(\psi_3 + \pi/3 + \varphi_{d3}),$$

$$\operatorname{tg} \varphi_{d3} = \operatorname{tg} \varphi_{b3} = \operatorname{tg} \varphi_p;$$

I_{d3}^* – начальное значение тока i_{d3}^* , причем $I_{d3}^* = I_{b3}^*$, а его производная $dI_{d3}^*/d\omega t$ в соответствии с (2) при $\omega t = \psi_3$ оказывается равной $dI_{d3}^*/d\omega t = -\rho_2 I_{d3}^*$.

Третий интервал заканчивается, когда $i_{b3}^* (0$. Этому значению тока соответствует начало четвертого интервала, когда $\omega t = \psi_4$.

Четвертый интервал (завершающий). Ток проводит контур "нагрузка – разрядная цепь". В этом контуре процесс описывается уравнением

$$L_d(di_{d4}/dt) + (R_d + R_p)i_{d4} = 0, \quad (11)$$

которое после преобразований имеет вид

$$di_{d4}^*/d\omega t + \rho_{d4}i_{d4}^* = 0, \text{ причем } \rho_{d4} = (R_d + R_p)/\omega L_d = \rho_{d3}.$$

Решением этого уравнения является

$$i_{d4}^* = I_{cd4}^* e^{-\rho_{d4}(\omega t - \psi_4)}, \quad (12)$$

где $I_{cd4}^* = I_4^*$; I_4^* – начальное значение тока i_{d4}^* , определяемое по (12) при $\omega t = \psi_4$.

На рис. 2 приведены кривые тока к.з. комбинированного выпрямителя при наличии (кривая 1) и отсутствии (кривая 2) реактора индуктивностью $L_d = 0,2 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}$ для случая отсутствия разрядной цепи и при ее наличии (кривая 3). Там же показаны вспомогательные кривые 4, 5 и 6, необходимые для определения границ между интервалами (ψ_2 и ψ_3). Расчеты выполнены в относительных единицах для следующих данных: $U_2 = 220 \text{ В}$; $U_3 = 127 \text{ В}$; $\omega = 314$; $L_{k2} = 0,6 \cdot 10^{-4} \text{ Гн}$; $R_{k2} = 0,46 \cdot 10^{-2} \text{ Ом}$; $L_{k3} = 0,5 \cdot 10^{-4} \text{ Гн}$; $R_{k3} = 0,38 \cdot 10^{-2} \text{ Ом}$; $L_d = 0,2 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}$; $R_d = 0,1 \cdot 10^{-2} \text{ Ом}$; $R_{раз} = 0,15 \cdot 10^{-2} \text{ Ом}$.

Как видно из рис.2, применение разрядной цепи не влияет на амплитуду тока, не вызывает его ускоренного гашения в вентилях выпрямителей (кривая i_{b3}^*), однако приводит к значительной длительности гашения тока в контуре. Поэтому, если расчеты показывают, что отсутствие разрядной цепи не мешает нормальному гашению тока, то применять его не следует. По результатам машинной обработки данных построены кривые тока в контурах. Данные экспериментальных исследований макетного образца подтвердили полученные теоретические выводы.

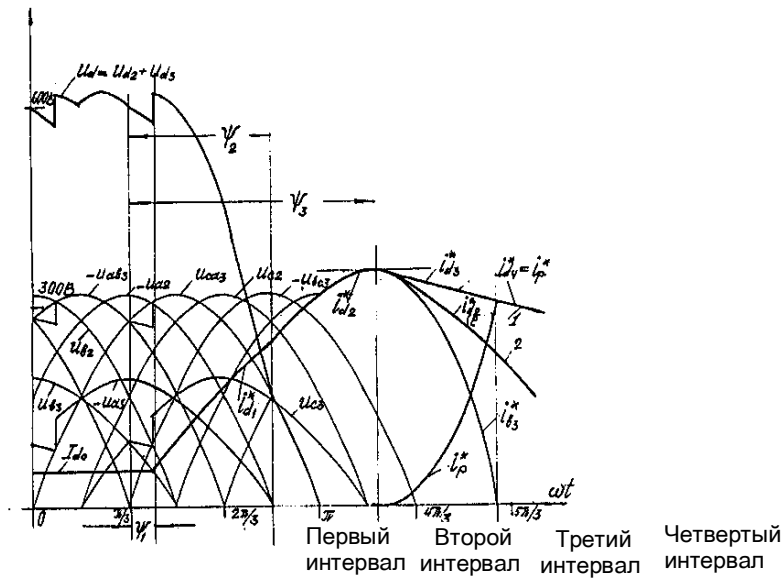


Рис. 2. Диаграммы напряжений и токов к.з. выпрямителя с токоограничивающим реактором (L_d, R_d): 1 - i_d^* ($i_{d1}^*, i_{d2}^*, i_{d3}^*$ и i_{d4}^*) при наличии разрядной цепи (R_p, VD_p);
2 - i_d^* (i_{d1}^*, i_{d2}^* и $i_{d2(p)}^*$) при отсутствии разрядной цепи

Общие результаты проведенного исследования динамических режимов комбинированного преобразовательного агрегата сводятся к следующим положениям:

- приведенные формулы позволяют рассчитать аварийный режим к.з. агрегата и выбрать параметры его элементов – трансформатора, вентилях, реактора и разрядной цепи;
- включение на выходе агрегата токоограничивающего реактора с небольшой индуктивностью $L_d = 0,2 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}$ позволяет ограничить запас у вентилях по току примерно двукратным значением, требуемым по условиям нормальной работы, и обеспечить надежную защиту агрегата;
- шунтирование токоограничивающего реактора разрядной цепью, содержащей полупроводниковый диод и резистор, снижает время существования тока к.з., однако в эту цепь, с целью ограничения тока, через диод требуется вводить резистор со значительным сопротивлением.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Арутюнян С.С.** Новый тиристорный агрегат для электрического пассажирского транспорта // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. – 2000. – Т.53, ¹ 1. – С. 72-77.
2. **Лабунцов В.А.** Энергетическая электроника.-М.: Энергоатомиздат, 1987.-463 с.
3. **Беркович Е.И.** и др. Полупроводниковые выпрямители. - М.: Энергия, 1978.- 448 с.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 20.04.1999.

Ս.Ս. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ, Հ.Ս. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ

ՈՒՂՂՄԱՆ ՀԱՄԱԿՑՎԱԾ ՍԽԵՄԱՅՈՎ ԷԼԵԿՏՐԱՏՐԱՆՍՊՈՐՏԻ
ԱԳՐԵԳԱՏԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ ՀՈՍԱՆՔԱՄԱՀՄԱՆԱՓԱԿԻՉ
ՌԵԱԿՏՈՐԻ ԵՎ ՊԱՐՊԻՉ ՇՂԹԱՅԻ ԱՌԿԱՅՈՒԹՅԱՆ ԴԵՊՔՈՒՄ

Քննարկվում են քարշի ագրեգատի անցողիկ պրոցեսները արտաքին կարճ միակցումների ժամանակ հոսանքասահմանափակիչ ռեակտորի և լիցքաթափման շղթայի առկայության դեպքում:

S.S. HARUTYUNYAN, H.S. HARUTYUNYAN

RESEARCH OF ELECTRICAL TRANSPORT UNIT BY THE COMBINED
RECTIFIER SCHEME IN THE PRESENCE OF
CURRENT-LIMITING REACTOR AND DISCHARGE CIRCUIT

Examination of traction unit transients in time of external short-circuits in the presence of current-limiting reactor and discharge circuit is considered.

Г.Л. АРЕШЯН

КОНФОРМНЫЕ ОТОБРАЖЕНИЯ МЕТОДОМ УНИВЕРСАЛЬНОЙ ИНВЕРСИИ

Предложен новый метод инверсии, который позволяет отображать область относительно любой выпуклой граничной кривой.

Ключевые слова: инверсия, плоские фигуры, окружность, эллипс, отрезок, центральная звезда.

Зададим в плоскости $Z = x + jy = re^{j\varphi}$ замкнутую выпуклую кривую L , содержащую начало координат (рис. 1). Под выпуклостью будем понимать требование, когда любой луч из начала координат пересекает кривую L только в одной точке $M(x_m, y_m)$. Сопоставим точке $A(x, y)$ на луче OM точку $A'(x', y')$ такую, чтобы отрезки OA , OA' и OM соответствовали равенству

$$(OA)(OA') = (OM)^2. \quad (1)$$

Все внутренние точки области G , ограниченной кривой L , однозначно отображаются во внешнюю поверхность комплексной плоскости Z . Точки $M(x_m, y_m)$ граничной кривой L отображаются сами в себя.

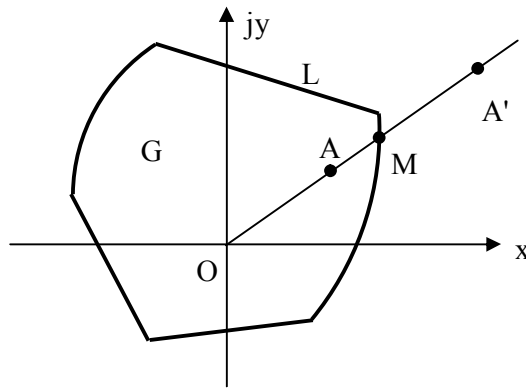


Рис 1. Граничная кривая L , содержащая прямые отрезки. Область G ограничена кривой L

Рассмотрим также комплексную плоскость $\omega = u + jv = \rho e^{j\psi}$, которая содержит такую же граничную кривую L $f(u_L, v_L) = 0$, что и плоскость Z $f(x_L, y_L) = 0$, причем $u_L = x_L$, $v_L = y_L$.

Произведем конформное отображение [1] точек плоскости Z в точки плоскости ω по закону

$$\omega = \frac{R_M^2}{Z^*}, \quad Z^* = x - jy, \quad (2)$$

где

$$R_M^2 = x_M^2 + y_M^2 = u_M^2 + v_M^2. \quad (3)$$

Обратное отображение будет

$$Z = \frac{R_M^2}{\omega^*}, \quad \omega^* = u - jv. \quad (4)$$

Уравнение (2) можно представить в другой форме, если числитель и знаменатель умножить на Z :

$$\omega = R_M^2 \frac{Z}{Z^* Z} = R_M^2 \frac{Z}{|Z|^2} = R_M^2 \frac{x + jy}{x^2 + y^2} = R_M^2 \frac{e^{j\varphi}}{r}. \quad (5)$$

Аналогично для (4) получаем

$$Z = R_M^2 \frac{\omega}{\omega^* \omega} = R_M^2 \frac{\omega}{|\omega|^2} = R_M^2 \frac{u + jv}{u^2 + v^2} = R_M^2 \frac{e^{j\psi}}{\rho}. \quad (6)$$

Точка $A(x, y)$ внутренней области G плоскости Z отображается в точку $A'(u, v)$ плоскости ω , которая лежит во внешней области ограниченной кривой L . При этом аргументы точек A и A' равны друг другу и аргументу точки M :

$$\arg A = \arg A' = \arg M = \varphi = \psi. \quad (7)$$

Точка O начала координат плоскости Z отображается в бесконечно удаленную точку плоскости ω и наоборот, начало координат плоскости ω отображается в бесконечно удаленную точку плоскости Z .

Легко показать, учитывая подобие треугольников (рис.2):

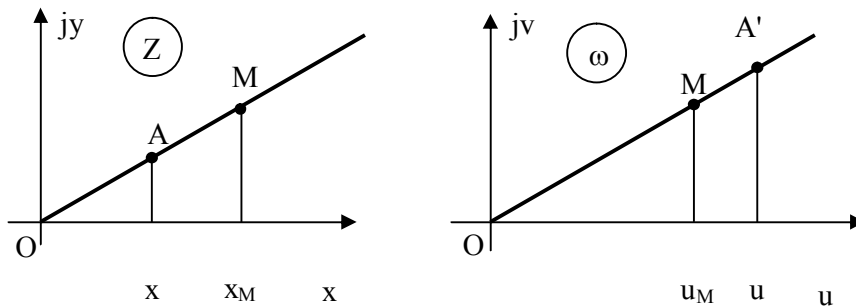


Рис.2. Инверсия точки A в точку A' относительно точки M

- $\triangle OAx \sim \triangle OMx_M = \triangle OMu_M \sim \triangle OA'u, \quad x_M = u_M, \quad y_M = v_M,$

что, если

$$x = kx_M, \quad y = ky_M, \quad k < 1,$$

то

$$u = \frac{1}{k} u_M = \frac{1}{k} x_M = \frac{1}{k^2} x, \quad v = \frac{1}{k} v_M = \frac{1}{k} y_M = \frac{1}{k^2} y. \quad (9)$$

Равенство (9) справедливо и при $k > 1$. При этом точка A из внешней области плоскости Z отображается в A' , которая находится во внутренней области плоскости ω .

Отображение по закону (2) или (4) назовем отображением методом универсальной инверсии. В зависимости от формы граничной кривой L можно задавать различные инверсии.

Например:

1. Инверсия относительно окружности. В этом случае граничные кривые L в плоскостях Z и ω будут

$$x_M^2 + y_M^2 = R_M^2, \quad u_M^2 + v_M^2 = R_M^2, \quad R_M = \text{const}. \quad (10)$$

Координаты отображенной точки A' будут по (5):

$$\omega = u + jv = R_M^2 \frac{x + jy}{x^2 + y^2}, \quad \text{причем } R_M = \text{const}.$$

Центральные окружности в плоскости Z $x^2 + y^2 = r^2$, $r = kR_M$ отображаются на основании (8) и (9) в центральные окружности в плоскости ω : $u^2 + v^2 = \rho^2$, где $\rho = \frac{1}{k} R_M = \frac{R_M^2}{r}$.

При $k < 1$ внутренние центральные окружности плоскости Z отображаются в центральные внешние окружности плоскости ω . При $k > 1$ внешние окружности плоскости Z отображаются во внутренние окружности плоскости ω . Радиусы внутренних окружностей отображаются в лучи, начинающиеся из точек внешних окружностей и уходящие в бесконечность.

2. Инверсия относительно эллипса. Граничные кривые L в плоскостях Z и ω будут

$$x_M^2/a_M^2 + y_M^2/b_M^2 = 1, \quad u_M^2/a_M^2 + v_M^2/b_M^2 = 1. \quad (11)$$

Координаты отображенной точки A' будут определяться по (5), причем в этом случае $R_M^2 = \text{var}$ и зависит от координат точки M . Покажем, что центральные эллипсы в плоскости Z :

$$x^2/a^2 + y^2/b^2 = 1, \quad (12)$$

которые подобны центральному граничному эллипсу L ($a = ka_M, b = kb_M$), отображаются в центральные эллипсы в плоскости ω :

$$u^2/a_1^2 + v^2/b_1^2 = 1. \quad (13)$$

Действительно, подставив в (12) на основании (9) $x = k^2u$, $y = k^2v$, получаем (13), в котором $a_1 = k^{-2}a$, $b_1 = k^{-2}b$.

При $k < 1$ внутренние эллипсы в Z отображаются во внешние эллипсы в ω . При $k > 1$ внешние эллипсы в Z отображаются во внутренние эллипсы в ω .

3. Инверсия относительно отрезка M_1M_2 в центральном угле. В плоскости Z координаты концов отрезка обозначены $M_1(x_{1M}, y_{1M})$, $M_2(x_{2M}, y_{2M})$ (рис.3). В плоскости ω координаты этих точек будут (рис.4) $u_{iM} = x_{iM}$, $v_{iM} = y_{iM}$ ($i=1,2$).

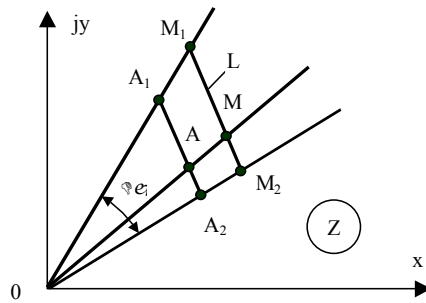


Рис. 3. Отрезок M_1M_2 , являющийся граничной линией L в плоскости Z

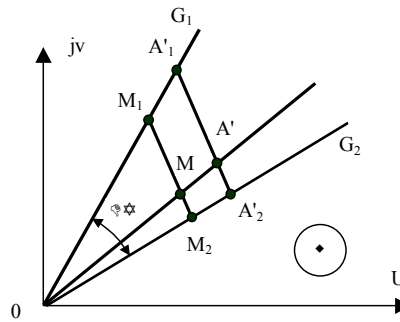


Рис.4. Отрезок M_1M_2 , являющийся граничной линией L в плоскости ω . Отрезок $A'_1A'_2$ есть отображение отрезка A_1A_2

Отрезки M_1M_2 в плоскостях Z и ω принимаем за граничные линии L . За внутренние области плоскостей Z и ω принимаем области OM_1M_2 , которые образованы центральными лучами, проходящими через точки M_1 и M_2 . Точки внутренней области плоскости Z отображаются уравнением (5) в точки, расположенные в области $S_1M_1M_2S_2$ плоскости ω . Покажем, что точки отрезка A_1A_2 , который параллелен граничной линии M_1M_2 , отображаются в точки, лежащие на отрезке $A'_1A'_2$, который параллелен отрезку M_1M_2 в плоскости ω . Действительно, ввиду параллельности имеем

$$\begin{aligned} x_1 &= ky_{1M}, \quad y_1 = ky_{1M}, \quad x_2 = kx_{2M}, \quad y_2 = kx_{2M}, \\ x &= kx_M, \quad y = ky_M, \end{aligned} \quad (14)$$

где координаты точек соответственно обозначены через

$$A_1(x_1y_1), \quad A_2(x_2y_2), \quad A(x,y), \quad M(x_M, y_M).$$

Уравнение прямой, проходящей через точки A_1 и A_2 , будет

$$(y - y_2)/(x - x_2) = (y_1 - y_2)/(x_1 - x_2). \quad (15)$$

Подставляя на основании (9) значения

$$x = k^2u, \quad y = k^2v, \quad x_i = k^2u_i, \quad y_i = k^2v_i \quad (i = 1, 2)$$

в (15), получаем уравнение отображенного отрезка

$$(v - v_2)/(u - u_2) = (v_1 - v_2)/(u_1 - u_2).$$

4. Инверсия относительно центрального квадрата. В качестве граничной линии L принимаем ребра квадрата с вершинами в точках $\dot{M}_1 = a + ja$, $\dot{M}_2 = a - ja$, $\dot{M}_3 = -a - ja$, $\dot{M}_4 = -a + ja$. Производя инверсию относительно отрезков M_1M_2 , M_2M_3 , M_3M_4 , M_4M_1 (см. предыдущий случай), получаем, что внутренние центральные квадраты в плоскости Z , подобные граничному квадрату L , отображаются во внешние центральные квадраты в плоскости ω . Соответствие точек вершин определяется из (8) и (9).

5. Инверсия относительно центральной звезды с N вершинами. Для обеспечения однозначного отображения ни одно из ребер граничной звезды L не должно совпадать с центральными лучами, исходящими из начала координат. Уравнения (5) и (6) отображают внутренние звезды, подобные граничной звезде L , в плоскости Z (или ω) в подобные звезды во внешней области ω (или Z). Соответствие вершин (или впадин) задается уравнениями (8) и (9).

6. Инверсия относительно произвольной выпуклой кривой. Граничная выпуклая замкнутая кривая L может содержать участки в виде прямых отрезков (рис.1). Легко показать (см. предыдущие разделы), что замкнутые кривые в плоскости Z , подобные L , отображаются в подобные кривые в плоскости ω .

Заключение. В [2] при автоматизации геометрического моделирования различных трехмерных объектов было предложено производить преобразование пространства на основе плоских круговых преобразований, т.е на основании инверсии точек внутренних или внешних областей исходной плоскости (плоскость Z в наших обозначениях) только относительно граничной окружности L . Рассмотренные в настоящей работе конформные отображения методом универсальной инверсии дают возможность производить преобразования областей, используя множество других граничных замкнутых кривых L . Это, несомненно, в огромной степени расширяет области преобразования трехмерных объектов в пространстве и обуславливает возможность (и, наверное, потребность) в новых теоретических исследованиях.

В качестве иллюстрации, на рис. 5 и 6 даны отображения центральных простых кривых D (круг и квадрат) относительно граничных кривых L в плоскости Z в кривые E в плоскости ω .

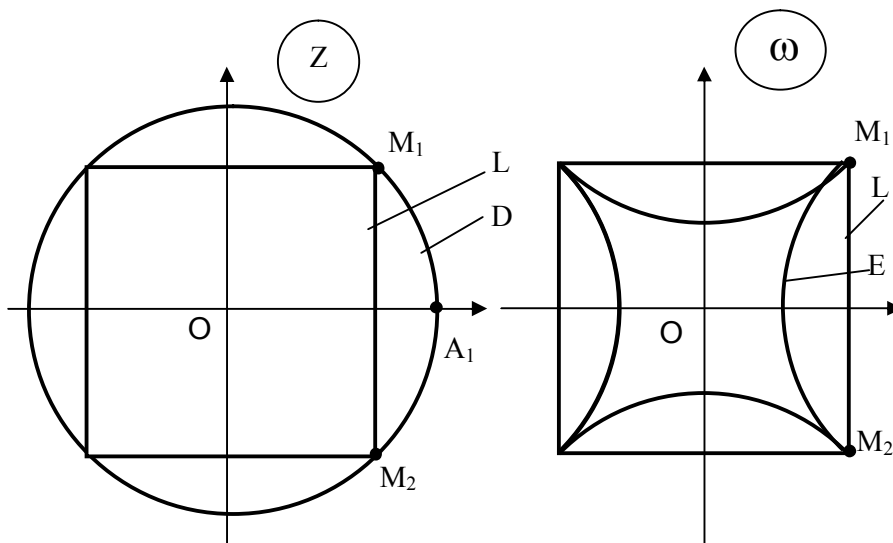


Рис. 5. Описанная окружность D в граничном квадрате L и ее отображение E

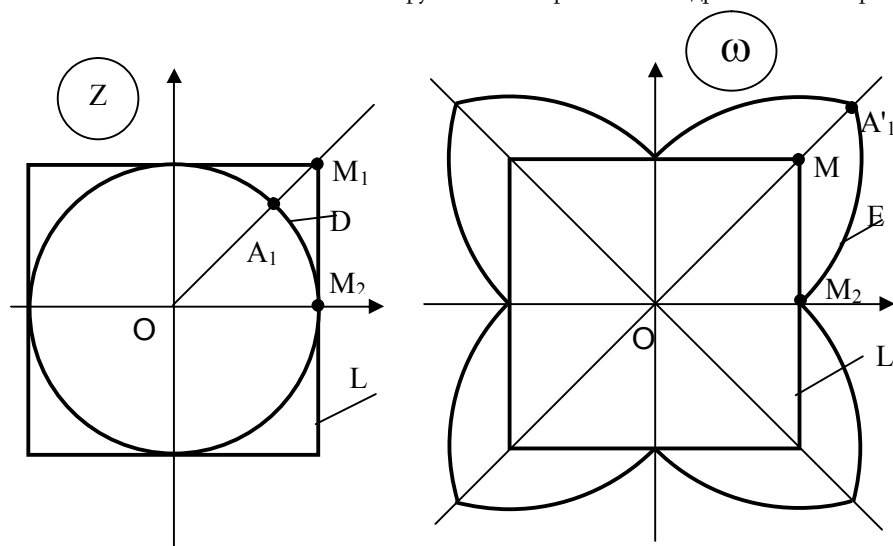


Рис. 6. Вписанная окружность D в граничном квадрате L и ее отображение E

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Лаврентьев М.А., Шабат Б.В.** Методы теории функций комплексного переменного. – М.; - Л.: Изд. техн. - теор. лит-ры. - 1951.- С. 230.
2. **Казарян Н.Л.** Преобразование пространства на основе плоских круговых преобразований и их применение в автоматизации геометрического моделирования объектов: Дис. ... к.т.н. / ГИУА. – Ереван, 2000. – С.110.

ГИУА.Материал поступил в редакцию 20.08.2000.

Գ.Լ. ԱՐԵՇՅԱՆ

ՈՒՆԻՎԵՐՍԱԼ ԻՆՎԵՐՍԻԱՅԻ ՄԵԹՈԴՈՎ ԿՈՆՖՈՐՄ ԱՐՏԱՊԱՏԿԵՐՈՒՄ

Առաջարկվում է հակադարձման նոր մեթոդ, որը թույլ է տալիս արտապատկերել տիրույթը ցանկացած ուռուցիկ սահմանային կորի նկատմամբ:

G.L. ARESHYAN

CONFORMAL REPRESENTATION BY UNIVERSAL INVERSION METHOD

A new method of inversion which permits to map the area with respect to any convex boundary curve is proposed.

О.С. СИМОНЯН

ДИНАМИЧЕСКИЕ МАКРОЭКОНОМИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ
ПАРЕТО - ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Разработаны явная и неявная динамические макроэкономические модели парето-оптимального управления уменьшением загрязнения окружающей среды карбон-диоксидом (CO_2) и увеличением потребляемой энергии.

Ключевые слова: окружающая среда, динамическая модель, парето-оптимальное управление.

1. Введение. В [1] предложена статическая математическая модель уменьшения загрязнения окружающей среды карбон-диоксидом, приведены факторы, способствующие изменению количества загрязнения, а также переменные, с помощью которых возможно управлять уровнем этого загрязнения, т.е. уменьшать его. Эта модель позволяет описывать связь между экономическими переменными и загрязнением окружающей среды карбон-диоксидом. Однако вопросы изучения динамики изменения этих переменных и создания динамической макроэкономической модели остались открытыми. С целью заполнения этого пробела в [2] разработана динамическая модель макроэкономического анализа загрязнения окружающей среды карбон-диоксидом. В настоящей работе предлагается динамическая макроэкономическая модель парето-оптимального управления уменьшением такого загрязнения и увеличением потребляемой энергии.

2. Явная математическая модель. Имея в виду балансовые уравнения

$$\begin{cases} c(t) = c^g(t) + c^o(t) + c^f(t), \\ e_c(t) = e_c^g(t) + e_c^o(t) + e_c^f(t) + e_c^n(t), \end{cases}$$

где $c(t) = (c^g(t), c^o(t), c^f(t))^T$ - вектор выбрасываемого в окружающую среду количества карбон-диоксида (подвектор переменных состояния); $e_c(t) = (e_c^g(t), e_c^o(t), e_c^f(t), e_c^n(t))^T$ - вектор общей потребности в энергии (подвектор переменных состояния); а g, o, f, n - индексы, указывающие на потребление газа, нефти, бензина и атомной энергии соответственно, разработанную в [2] модель можно представить в следующей форме:

$$\begin{cases} \dot{c}(t) = r_{\varphi_1}(t)\varphi_1(t)e_c(t) + \left(r_{\varphi_2}(t)\varphi_2(t)\frac{G(t)}{e(t)} + r_{\varphi_3}(t)\varphi_3(t)\frac{P(t)}{G(t)} + r_p(t) \right) c(t), \\ \dot{e}_c(t) = \left(r_{\psi_g}(t)\psi_g(t) + r_{\psi_o}(t)\psi_o(t) + r_{\psi_f}(t)\psi_f(t) + r_{\psi_n}(t)\psi_n(t) + \right. \\ \left. + r_{\varphi_2}(t)\varphi_2(t)\frac{G(t)}{e(t)} + r_{\varphi_3}(t)\varphi_3(t)\frac{P(t)}{G(t)} + r_p(t) \right) e_c(t), \end{cases}$$

где $e(t)$ - функция, задающая закон изменения производимой энергии; $G(t)$ - валовой внутренний продукт (скалярное управляющее воздействие); $P(t)$ - численность населения (скалярное управляющее воздействие);

$$r_{\varphi_1}(t) = \frac{\dot{\varphi}_1(t)}{\varphi_1(t)}, r_{\varphi_2}(t) = \frac{\dot{\varphi}_2(t)}{\varphi_2(t)}, r_{\varphi_3}(t) = \frac{\dot{\varphi}_3(t)}{\varphi_3(t)}, r_P(t) = \frac{\dot{P}(t)}{P(t)} - \quad (5)$$

нормы роста по переменным

$$\varphi_1(t) = \frac{c(t)}{e_c(t)}, \varphi_2(t) = \frac{e(t)}{G(t)}, \varphi_3(t) = \frac{G(t)}{P(t)}, P(t) \quad (6)$$

соответственно;

$$r_{\psi_g}(t) = \frac{\dot{\psi}_g(t)}{\psi_g(t)}, r_{\psi_o}(t) = \frac{\dot{\psi}_o(t)}{\psi_o(t)}, r_{\psi_f}(t) = \frac{\dot{\psi}_f(t)}{\psi_f(t)}, r_{\psi_n}(t) = \frac{\dot{\psi}_n(t)}{\psi_n(t)} - \quad (7)$$

нормы роста по переменным

$$\psi_g(t) = \frac{e_c^g(t)}{e_c(t)}, \psi_o(t) = \frac{e_c^o(t)}{e_c(t)}, \psi_f(t) = \frac{e_c^f(t)}{e_c(t)}, \psi_n(t) = \frac{e_c^n(t)}{e_c(t)} \quad (8)$$

соответственно.

С учетом соотношений (5)-(8) систему (3), (4) можно привести к виду

$$\begin{cases} \dot{c}(t) = \left(\frac{\dot{\varphi}_1(t)}{\varphi_1(t)} + \dot{\varphi}_2(t) \frac{G(t)}{e(t)} + \dot{\varphi}_3(t) \frac{P(t)}{G(t)} + \frac{\dot{P}(t)}{P(t)} \right) c(t), & (9) \\ \dot{e}_c(t) = \left(\dot{\varphi}_2(t) \frac{G(t)}{e(t)} + \dot{\varphi}_3(t) \frac{P(t)}{G(t)} + \frac{\dot{P}(t)}{P(t)} \right) e_c(t), & (10) \end{cases}$$

ибо

$$\begin{aligned} r_{\psi_g}(t)\psi_g(t) + r_{\psi_o}(t)\psi_o(t) + r_{\psi_f}(t)\psi_f(t) + r_{\psi_n}(t)\psi_n(t) = \\ = \dot{\psi}_g(t) + \dot{\psi}_o(t) + \dot{\psi}_f(t) + \dot{\psi}_n(t) = \\ = \frac{d}{dt}(\psi_g(t) + \psi_o(t) + \psi_f(t) + \psi_n(t)) = \frac{d}{dt}(1) = 0. \end{aligned} \quad (11)$$

Система (9), (10) описывает динамику изменения переменных состояния $C(t)$ и $e_c(t)$. К этой системе добавим следующие естественные ограничения:

$$0 \leq \varphi_1(t) \leq \varphi_1^*, \quad (12)$$

$$0 \leq \varphi_2(t) \leq \varphi_2^*, \quad (13)$$

$$0 \leq \varphi_3(t) \leq \varphi_3^*, \quad (14)$$

где φ_1^* , φ_2^* , φ_3^* – задаваемые из определенных практических соображений граничные величины соответствующих переменных.

С учетом соотношений (6) систему ограничений (12)-(14) представим в виде

$$0 \leq c(t) \leq \varphi_1^* e_c(t), \quad (15)$$

$$0 \leq e(t) \leq \varphi_2^* G(t), \quad (16)$$

$$0 \leq G(t) \leq \varphi_3^* P(t), \quad (17)$$

и добавим к ней еще одно естественное ограничение

$$0 \leq P(t) \leq P^*. \quad (18)$$

Следуя [4], ограничения (15)-(18) вида двусторонних слабых неравенств сведем к следующим равенствам:

$$\Phi_{\varphi_1}(c(t), e_c(t)) = 1 + \frac{2}{\pi} \arctg \frac{c(t)(c(t) - \varphi_1^* e_c(t))}{k} = 0, \quad (19)$$

$$\Phi_{\varphi_2}(e(t), G(t)) = 1 + \frac{2}{\pi} \arctg \frac{e(t)(e(t) - \varphi_2^* G(t))}{k} = 0, \quad (20)$$

$$\Phi_{\varphi_3}(G(t), P(t)) = 1 + \frac{2}{\pi} \arctg \frac{G(t)(G(t) - \varphi_3^* P(t))}{k} = 0, \quad (21)$$

$$\Phi_P(P(t)) = 1 + \frac{2}{\pi} \arctg \frac{P(t)(P(t) - P^*)}{k} = 0, \quad (22)$$

где k – достаточно малое положительное число (для учета ограничений (15)-(18) могут быть использованы также другие представления, в частности, негладкие соотношения типа знаковых функций (sign), требующих, естественно, использования методов недифференцируемой оптимизации [3]).

С учетом вышеизложенного имеем следующую двухкритериальную оптимизационную задачу (при известных законах изменения $\varphi_1(t)$, $\varphi_2(t)$, $\varphi_3(t)$):

а) терминальные критерии качества:

$$c(T) \rightarrow \min_{G(t), P(t)}, \quad (23)$$

$$e_c(T) \rightarrow \max_{G(t), P(t)}, \quad t \in [t_0, T], \quad (24)$$

где t_0 – начало, а T – конец динамического процесса;

б) уравнения динамики: система обыкновенных дифференциальных уравнений (9), (10) (системы переменных состояния);

в) ограничения: соотношения вида равенств (19)-(22), образующие связанную область допустимых решений;

г) краевые условия: могут быть различными (фиксированные, нефиксированные, частично фиксированные, типа гладких неперемещающихся или перемещающихся многообразий и т.д.), в зависимости от

которых для решения полученной паретовской динамической оптимизационной задачи должны быть использованы соответствующие необходимые условия трансверсальности на левом (при $t=t_0$) и правом (при $t=T$) концах оптимальных траекторий [3].

3. Неявная математическая модель. Теперь, в отличие от предложенной явной математической модели, рассмотрим ее неявный эквивалент, в котором вместо управляющих воздействий $G(t)$ и $P(t)$ выступают нормы роста $r_c(t)=r_c(G(t),P(t))$ и $r_{e_c}(t)=r_{e_c}(G(t),P(t))$ переменных состояния $c(t)$ и $e_c(t)$ соответственно. С этой целью сделаем ряд преобразований. Для нормы роста $r_{\phi_1}(t)$ имеем

$$\begin{aligned} r_{\phi_1}(t) &= \frac{\dot{\phi}_1(t)}{\phi_1(t)} = \frac{e_c(t)}{c(t)} \frac{d}{dt} \left(\frac{c(t)}{e_c(t)} \right) = \frac{e_c(t)}{c(t)} \frac{\dot{c}(t)e_c(t) - c(t)\dot{e}_c(t)}{e_c^2(t)} = \\ &= \frac{\dot{c}(t)}{c(t)} - \frac{\dot{e}_c(t)}{e_c(t)} = r_c(t) - r_{e_c}(t). \end{aligned} \quad (25)$$

Аналогично можно доказать, что

$$r_{\phi_2}(t) = r_c(t) - r_G(t), \quad (26)$$

$$r_{\phi_3}(t) = r_G(t) - r_P(t), \quad (27)$$

где $r_c(t)$, $r_{e_c}(t)$, $r_e(t)$, $r_G(t)$ - нормы роста по переменным $c(t)$, $e_c(t)$, $e(t)$, $G(t)$ соответственно.

Следовательно, при соотношениях (25)-(27) система (9), (10) приобретает вид

$$\begin{cases} \dot{c}(t) = (r_c(t) - r_{e_c}(t) + r_e(t))c(t), & (28) \\ \dot{e}_c(t) = r_{e_c}(t)e_c(t). & (29) \end{cases}$$

Преобразуя дифференциальное уравнение (28), получим

$$\begin{aligned} \dot{c}(t) &= \left(\frac{\dot{c}(t)}{c(t)} - r_{e_c}(t) + r_e(t) \right) c(t) = \\ &= \dot{c}(t) - (r_{e_c}(t) - r_e(t))c(t), \end{aligned}$$

откуда

$$r_{e_c}(t) = r_e(t) \quad (30)$$

или

$$\frac{\dot{e}_c(t)}{e_c(t)} = \frac{\dot{e}(t)}{e(t)}. \quad (31)$$

Таким образом, система (9), (10) окончательно принимает вид

$$\begin{cases} \dot{c}(t) = r_c(t)c(t), & (32) \\ \dot{e}_c(t) = r_{e_c}(t)e_c(t) & (33) \end{cases}$$

(как и должно быть).

Следовательно, двухкритериальная оптимизационная задача формулируется следующим образом:

а) терминальные критерии качества:

$$c(T) \rightarrow \min_{r_c(t)}, \quad (34)$$

$$e_c(T) \rightarrow \max_{r_{ec}(t)}, \quad t \in [t_0, T]; \quad (35)$$

б) уравнения динамики: система обыкновенных дифференциальных уравнений (32), (33);

в) ограничения:

(36)

$$r_c^* \leq r_c(t) \leq 0, \quad (37)$$

$$0 \leq r_{ec}(t) \leq r_{ec}^*,$$

где r_c^* и r_{ec}^* - задаваемые из определенных практических соображений граничные величины соответствующих переменных, которые (по аналогии с (19)-(22)) также могут быть сведены к ограничениям вида равенств

$$\Phi_c(r_c(t)) = 1 + \frac{2}{\pi} \arctg \frac{(r_c(t) - r_c^*)r_c(t)}{k} = 0, \quad (38)$$

$$\Phi_{ec}(r_{ec}(t)) = 1 + \frac{2}{\pi} \arctg \frac{(r_{ec}(t) - r_{ec}^*)r_{ec}(t)}{k} = 0; \quad (39)$$

г) краевые условия: аналогичны пункту "г" явной математической модели.

4. Замечание. Для достаточно общего случая – при гладких перемещающихся многообразиях на левом и правом концах оптимальных траекторий, в [3] предложена непрерывная математическая модель скоростного субградиентного спуска, основанная на методах утопической точки, квадратичных штрафных функций и дифференциальных уравнений. Там же рассмотрен модельный пример, результаты решения которого подтверждают высокую вычислительную эффективность разработанной модели. Предложенные здесь математические модели двухкритериальной оптимизации полностью укладываются в рамки этой модели, с той лишь разницей, что вместо субградиентного спуска необходимо оперировать градиентным спуском.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Matsuoka Yusuru, Kawashina Yasuko, Kainuma Mikiko, Morita Tsuneyuki.** A review of CO₂ Emission Reduction Policies in Japan and an Assessment of Policies of the Annex I Parties for Beyond the Year 2000 // Climate Change: Integrating Science, Economics and Policy, Proc. of a Workshop. 19-20 March, 1996, IIASA, Laxemburg, Austria. - P. 331-347.
2. **Arakelyan A.H., Simonyan H.S.** Dynamic Multiple Objective Decision Support System to Provide the Monitoring and Management the Carbone Dioxide Emission // MOPGP OO: The Fourth International Conference on Multi-Objective Programming and Goal Programming: Theory & Applications. Ustron, Poland. May 29 - June 1. 2000. - P. 17-21.
3. **СИМОНЯН С.О., Аветисян А.Г. СИМОНЯН О.С., Гюзальян Н.Г.** Скоростные субградиентные модели многокритериальных динамических оптимизационных задач // Моделирование, оптимизация, управление: Сб. научн. тр. / ГИУА.- Ереван. - Вып. 3. - С. 182-195.
4. **СИМОНЯН С.О., Аветисян А.Г.** Параллелепипедные ограничения и их гладкие эквиваленты в задачах оптимизации // Сб. мат. год. науч. конф. ГИУА. - Ереван, 2000. - Т.2. - С. 333-335.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 10.12.2000.

ՀԱՍՏԱՈՒՑԱՆ

ՊԱՐԵՏՈ - ՕՊՏԻՄԱԼ ԿԱՌԱՎԱՐՄԱՆ ԴԻՆԱՄԻԿԱԿԱՆ ՄԱԿՐՈՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ՄՈԴԵԼՆԵՐ

Մշակվել են ածխաթթու գազով (CO₂) շրջակա միջավայրի աղտոտվածության կրճատման և սպառվող էներգիայի մեծացման պարետո-օպտիմալ կառավարման բացահայտ և անբացահայտ դինամիկական մակրոտնտեսական մոդելներ:

H.S. SIMONYAN

DYNAMIC MACROECONOMIC MODELS OF PARETHO-OPTIMAL CONTROL

Explicit and implicit dynamic macroeconomic models of paretho-optimal control of environment polution reduction by carbon-dioxide (CO₂) and increase of consumable energy are developed.

К.В. АЛЕКСАНДРЯН, В.Н. ЯВРУЯН, С.Р. ГАЛСТЯН

ОПТИЧЕСКИЙ РАСПОЗНАВАТЕЛЬНЫЙ МАНИПУЛЯТОР ДЛЯ ОРИЕНТАЦИИ И ПОДАЧИ ТАБАЧНЫХ ЛИСТЬЕВ К ПРИШИВАЛЬНОЙ МАШИНЕ

Рассмотрены конструктивные особенности и принцип работы оптического распознавательного манипулятора, созданного с целью механизации и автоматизации сложного технологического процесса подачи свежесобраных листьев табака к пришивальной машине. Разработано оптическое устройство, обладающее возможностью опознавания внешнего образа табачного листа, определения его пространственного расположения и ориентации относительно того или иного органа пришивальной машины.

Ключевые слова: распознавательный манипулятор, табачные листья, ориентация, пришивальная машина.

Преобладающее большинство технологических процессов уборки и послеуборочной обработки сельскохозяйственных культур выделяется низкой степенью механизации и автоматизации и почти полностью базируется на применении малоэффективного ручного труда. Объясняется такое положение прежде всего сложностью отмеченных технологических процессов, обусловленной спецификой строения материалов растительного происхождения, их неоднородностью и значительным разбросом геометрических параметров, легкой повреждаемостью в ходе контакта с рабочими органами машин и механизмов, а также рядом других факторов, требующих в конечном итоге применения "искусственного интеллекта", в частности, манипулятора.

В связи с этим исследования по обоснованию параметров технических средств для механизации и автоматизации сложных технологических процессов сельскохозяйственного производства имеют определенное научное и практическое значение.

В изложенном аспекте характерен пример процесса подготовки табачных листьев к сушке, включающего технологические операции поштучной выгрузки из тары свежесобраных листьев, ориентации их в пространстве и подачи к пришивальной машине [1]. По своему содержанию и последовательности эти операции могут быть автоматизированы с помощью многопозиционного манипулятора. Однако система управления такого манипулятора должна иметь возможность опознавания внешнего образа табачного листа, поскольку именно в этом случае можно определить пространственное расположение листа и дать команду исполнительному органу сориентировать его относительно того или иного рабочего органа пришивальной машины.

В связи с этим целью настоящей работы является разработка системы зрительного восприятия и определение параметров расположения табачного листа на плоскости. При решении поставленной задачи рассмотрены два возможных варианта. Первый базируется на принципе

сравнения внешнего образа с уже имеющимся его прототипом в памяти управляющей системы. Этот подход полагает хранение множества "кадров" - прототипов в памяти ЭВМ с их различными положениями в зрительном поле манипулятора и, конечно же, трудоемкий процесс сравнения их внешнего образа с прототипами. При этом необходимо учесть, что ради опознавания внешнего образа недостаточно только его сравнение с прототипами, важно также динамически менять масштаб внешнего образа с тем, чтобы найти наиболее подходящий вариант, и полагать, что внешний образ ассоциируется именно с найденным. Погрешность такого процесса находится в прямой зависимости от количества имеющихся прототипов, каждый из которых представляет лишь одну позицию внешнего образа. К тому же время, необходимое для получения конечного результата, увеличивается параллельно с количеством прототипов. Итак, ради "точного" опознавания образа необходимо увеличить количество прототипов, что, в свою очередь, приводит к увеличению времени обработки.

Данный подход как будто требует только наличия "солидной" библиотеки прототипов всех возможных типов образов. Однако техническая реализация не оправдывает себя в части памяти ЭВМ и его быстродействия.

Второй подход к решению поставленной задачи заключается в создании алгоритмов геометрического анализа внешних образов, которые предполагают нахождение координат специфических точек конкретного образа. Так как здесь не возникает проблема масштабирования внешнего образа, быстродействие этого подхода несравненно выше, нежели при предыдущем варианте. При этом может создаться впечатление, что данный подход догматичен, негибок, или же ограничен в рамках конкретного алгоритма геометрического анализа. Однако это не так, поскольку в памяти ЭВМ можно держать несколько различных алгоритмов, которые будут работать параллельно, обрабатывая один и тот же образ. В конце работы каждого алгоритма будет оцениваться результат этой работы, что окончательно определит, какой же тип образа поступил на обработку.

Для конкретного решения поставленной задачи нами был выбран второй подход, при котором возникает необходимость определения координат характерных точек внешнего образа (табачного листа).

Как свидетельствуют исследования [2], для решения аналогичных задач наиболее приемлема теория фреймов, предопределяющая границы поля зрения искусственного интеллекта, используемая для ограничения структуры данных, представленных конкретной стереотипной ситуацией. При этом вводится понятие координатной сетки, расположенной на двух примыкающих сторонах фрейма, и экстремальных точек распознаваемого образа в смысле их удаленности от координатных осей фрейма.

Анализ геометрического образа табачных листьев различных сортотипов показывает, что образ листа ассоциируется с совокупностью двух геометрических фигур - круга и треугольника, естественно, с определенной аппроксимацией. Следовательно, решение задачи сводится к определению координат вершины "треугольника" и трех диаметрально противоположных характерных точек круга при произвольном

расположении листа в поле зрения фрейма. При этом целесообразно применение принципа просмотра листа, заключенного в рамки фрейма, с логическим вращением воспринятого образа на 90° , который повторяется для каждой стороны фрейма. Поле зрения искусственного интеллекта, заключенное в пределах фрейма, раздроблено на матрицы размерностью 32×32 (1024 бита). Каждый элемент матрицы может принимать значение "0" либо "1", причем "1" - тело образа табачного листа, "0" - пустое пространство.

Определение экстремальной точки для данного логического положения матрицы производится следующим образом: рассматриваются все элементы матрицы слева направо для каждой строки. При нахождении элемента строки матрицы, у которого состояние "1", фиксируется координата этого элемента, т.е. размер его проекции на координатных осях фрейма. Далее проверяется следующий элемент строки матрицы. В случае исчерпания всех элементов строки без нахождения "1" производится переход на следующую строку. После нахождения экстремальных точек матрицы в данном положении производится фиксация их координат и логическое вращение матрицы на 90° по часовой стрелке для определения следующих. Этот процесс повторяется для каждой стороны ребра фрейма. В итоге получается совокупность экстремальных точек от трех до шести значений.

После установления экстремальных точек необходимо обработать информацию таким образом, чтобы выдать импульс исполнительному органу для поворота листа на определенный угол с целью совмещения его оси симметрии с заданной осью пришивания. Для этого в память ЭВМ вводится соответствующая программа по относительному анализу взаимосвязи экстремальных точек образа листа, в результате чего определяется расположение его ширины и длины по отношению к ребрам фрейма. Таким образом, выдается величина угла поворота относительно заданной оси пришивания.

На основе вышеприведенных выкладок, положенных в основу метода опознавания внешнего образа табачного листа, с целью его ориентации на плоскости и подачи к табакопришивальной машине, была разработана структурно-функциональная схема манипулятора (рис.1), состоящая из информационно-преобразовательной системы, системы управления, исполнительной системы и системы связи.

Информационно-преобразовательная система предназначена для восприятия и преобразования информации о состоянии внешней среды. В качестве элементов этой системы целесообразно использовать оптическую систему обыкновенного зеркального широкоформатного фотоаппарата, в кадровом окошке которого установлен преобразователь оптической информации. В качестве последнего использовалась фотоприемная матрица МФ-14, представляющая собой полупроводниковый (в однокристалльном исполнении) фотоэлектрический матричный приемник лучистой энергии, преобразующий оптические сигналы диапазона длин волн от 0,5 до 1,06 мкм в электрические. В ней 32 входные адресные (по строкам) и 32 выходные разрядные (по столбцам) шины. Конструктивно она состоит из 1024 идентичных фотоячеек размерами 0,1 x 0,1 мм, корпус металлокерамический с 70 выводами,

расположенными по его периметру размерами 29х29 мм и весом не более 15 г.

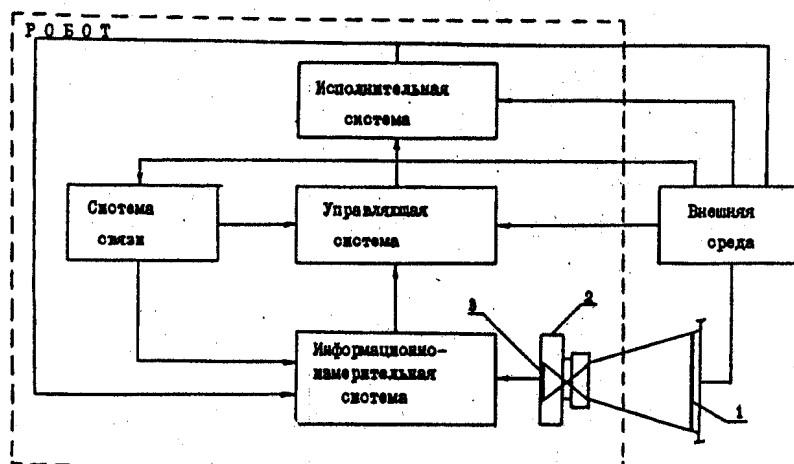


Рис. 1. Структурно-функциональная схема оптического распознающего манипулятора: 1 - распознаваемый образ (табачный лист),
2 - оптическая система, 3 - преобразователь оптической информации

В преобразователе оптической информации использован режим работы фотоприемной матрицы с накоплением. Цикл преобразования оптической информации в электрический сигнал осуществляется двумя последовательными процессами - стиранием и накоплением. Процесс стирания происходит в заряде барьерных емкостей всех элементарных фоточувствительных ячеек матрицы при подаче импульса стирания отрицательной полярности ($-12 В$). Уровни выходного напряжения всех ячеек после стирания соответствуют логическому нулю на входе фотоматрицы. По окончании стирания начинается процесс накопления оптической информации, расположенной в разряде барьерных емкостей фоточувствительных ячеек. При отсутствии оптического воздействия на фоточувствительную область барьерная емкость медленно разряжается темновыми токами, величина которых определяет максимальное время хранения информации в ячейке. При воздействии на ячейку оптического излучения рабочего спектрального диапазона возникает фототок, значительно больший, чем темновой, что резко увеличивает скорость разряда барьерной емкости фоточувствительной ячейки.

Таким образом, преобразованная оптическая информация в конце интервала накопления представляется различными уровнями аналоговых сигналов, величина которых не превышает сотни милливольт.

Длительность интервала накопления выбирается с учетом условия различимости выходных напряжений ячеек, на которые воздействуют различные уровни оптической информации. Очевидно, что это время существенно зависит от величины воздействующего оптического излучения. В описываемом преобразователе использован последовательный

принцип формирования изображения. Для этого на вход преобразователя микро-ЭВМ подаются коды выбора столбцов и строк, определяющие адрес выбираемого элемента информационного поля матрицы. Код выбора столбцов декодируется дешифратором столбцов. Сигнал с выхода дешифратора столбцов подается на фотоприемную матрицу, на входе которой появляется соответствующее 32-разрядное слово оптической информации, поступающее на входы аналогового коммутатора. Перед считыванием оптической информации каждой фоточувствительной ячейки машина выдает импульс стирания, тем самым обеспечивая равномерность и возможность регулирования чувствительности матрицы в широком интервале времени.

Аналоговый коммутатор построен на микросхемах и управляется дешифратором строк. Таким образом, на выходе аналогового коммутатора будет присутствовать выходное напряжение $U_{\text{вых}}$ фоточувствительной ячейки, выбранной для преобразования.

Двухградационное изображение зоны обзора формируется компаратором видеосигнала путем сравнения выходного сигнала ячеек фотоприемной матрицы с некоторым заданным порогом U_2 . После подачи импульса стирания $U_{\text{вых}} < U_2$, и компаратор находится в исходном состоянии. Если освещенность выбранной ячейки меньше порогового уровня, то в течение всего интервала накопления $U_{\text{вых}} > U_2$, и компаратор не изменит своего состояния, фиксируя тем самым "темную" точку. Если же освещенность выбранной ячейки больше порогового уровня, то в пределах интервала накопления окажется, что $U_{\text{вых}} < U_2$, и компаратор изменит свое состояние, фиксируя "светлую" точку. Для исключения влияния разброса по чувствительности ячеек матрицы считывание информации с выхода преобразователя должно производиться в момент окончания интервала накопления и затем использоваться для обработки. Заданный уровень формирования изображения может легко изменяться потенциометром. Узлы преобразователя собраны на одной двусторонней печатной плате размерами 100x150 мм. Плата установлена в корпусе, изготовленном из полистирольного материала размерами 190x150x30 мм. На задней стенке корпуса установлен разъем для подключения плоским кабелем схемы преобразователя с интерфейсом микро-ЭВМ.

Для экспериментальной проверки преобразователя оптической информации использовался дисплей, который позволяет получать изображение, воспринимаемое преобразователем на его экране в виде совокупности нулей и единиц в координатах информационного поля матрицы. Программа драйвера позволяет получать также распечатку образа табачного листа на печатающем устройстве с выдачей информации об угле вращения для ориентации образа табачного листа в соответствии с заложенной в память машины программой (рис.2).

Драйвер предназначен для обеспечения ввода информации с оптоэлектронного преобразователя в микро-ЭВМ через универсальную интерфейсную плату параллельного обмена и имеет алгоритм программы, построенный на принципе последовательного опроса всех 1024 фоточувствительных ячеек фотоприемной матрицы.

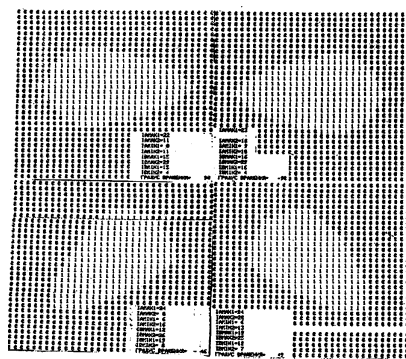


Рис. 2. Распечатка образов табачного листа, снятая с печатающего устройства ЭВМ

В ходе экспериментальных исследований оптического преобразователя был собран комплект технических средств согласно вышеописанной структурной схеме, а путем размещения под различными углами к оси пришивания в зрительном поле "глаза" электронного преобразователя запускалось печатающее устройство микро-ЭВМ. В каждом отдельном случае печатающее устройство выдавало зрительный образ листа с обозначением величины необходимого угла его поворота относительно оси пришивания, которая в дальнейшем сверялась с ее значениями, измеряемыми с помощью угломера. Многократное повторение экспериментов позволило установить высокую точность выдаваемой информации. Средняя ошибка за 200 опытов не превосходила $\pm 1^\circ$, что свидетельствует об успешном решении поставленной задачи. В ходе дальнейших экспериментов вместо печатающего устройства включался дисплей микро-ЭВМ и проверялось быстроедействие разработанного устройства. Как показали результаты исследований, скорость обработки информации составляла 5-6 листьев в секунду, что обеспечивало производительность всей линии подготовки табачных листьев к сушке, почти вдвое превышающую тот же показатель серийно выпускаемых табакопришивальных машин, работающих без оптоэлектронного манипулятора.

Проведенные экспериментальные исследования позволяют констатировать, что создаваемая на базе описанного оптоэлектронного преобразователя линия для подготовки табачных листьев к сушке обеспечит повышение производительности труда не менее чем в 2,5-3 раза и, что самое главное, создаст необходимые предпосылки для перевода послеуборочной обработки табака на основу производства без участия человека.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бучинский А.Ф, Володарский Н.И., Асмаев П.Г. Табаководство – М.: Колос, 1979.
2. Уинстон П.М. Искусственный интеллект. – М.: Мир, 1980.

НПХО «Сельхозмеханизация». Материал поступил в редакцию 25.11.1999.

Կ.Վ.ԱԼԵՔՍԱՆԴՐՅԱՆ, Վ.Ն.ՅԱՎՐՈՒՅԱՆ, Ս.Ռ.ԳԱԼՍՏՅԱՆ

ՃԱՆԱԶՈՂ ՕՊՏԻԿԱԿԱՆ ՄԱՆԻՊՈՒԼՅԱՏՈՐ ԾԽԱԽՈՏԻ ՏԵՐԵՎՆԵՐԻ ԿՈՂՄՆՈՐՈՇՄԱՆ ԵՎ ՏԵՐԵՎԱՇԱՐ ՄԵՔԵՆԱՅԻՆ ՄԱՏՈՒՑՄԱՆ ՀԱՄԱՐ

Գյուղատնտեսական արտադրության բարդ տեխնոլոգիական գործընթացներից մեկի՝ ծխախոտի թարմ քաղված տերևները շարող մեքենային մատուցելու գործընթացի ավտոմատացման նպատակով մշակվել է օպտիկական ճանաչողությամբ մանիպուլյատորային համակարգ, որն օժտված է ծխախոտի տերևների արտաքին պատկերի ընկալման, տարածության մեջ նրանց դիրքի որոշման և տերևաշար մեքենայի այս կամ այն բանվորական օրգանի նկատմամբ կողմնորոշելու ունակություններով:

K.V. ALEXANDRIAN, V.N. YAVRUYAN, S.P. GALSTYAN

Optical IDENTIFYING manipulator for orientatION AND FEEDING TOBACCO LEAVES TO THE SEWING MACHINE

Constructive properties and operation principles of optical identifying the manipulator made for mechanizing and automating the difficult technological process of feeding new tobacco leaves to the sewing machine are discussed. An optical device which can identify the tobacco leaf appearance, and define its spatial arrangement and orientation relative to either organ of the sewing machine is developed.

Л.Р. БОЛИБЕКЯН

**АНАЛИЗ И МОДИФИКАЦИЯ АНАЛИТИЧЕСКОГО МЕТОДА
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИЕРАРХИИ ЦЕЛЕЙ (АНР-МЕТОД)**

Рассматривается известный аналитический метод определения иерархии целей (АНР-метод). Разработана модификация АНР-метода, связанная с введением сингулярных чисел вместо собственных значений в качестве критерия выбора имеющихся альтернатив в процессе принятия решений. Предложенная модификация позволяет ликвидировать недостаток, связанный с чувствительностью матрицы сравнения пар, и использовать АНР-метод при решении прикладных многокритериальных задач.

Ключевые слова: АНР-метод, матрица сравнения пар, чувствительность, собственные значения, сингулярные числа.

При рассмотрении многих проблем принятия решений приходится учитывать множество целевых критериев. Это справедливо прежде всего для решений стратегического характера, с помощью которых создаются или изменяются сложные системы.

В данной работе рассматривается многокритериальная задача принятия решений. Поиск решения касается всех этапов процесса планирования и, прежде всего, этапов формирования цели, а также оценки и принятия решений. Как правило, необходимо проведение всеобъемлющего анализа для определения целей, значения этих целей, конфликтов между ними, а также путей их достижения. Особое значение придается приоритетам лица, принимающего решения, которые можно определить посредством опросов. При оценке альтернатив относительно существенных целевых критериев определяют количественные величины или величины полезности. При этом необходимо использовать подходящую шкалу. В зависимости от измерения проявлений целевых критериев применяются различные виды шкалы измерений. Они должны быть представлены далее в порядке уровня измеряемости, начиная с самого низшего уровня [1].

Рассмотрим метод аналитического определения иерархии целей (АНР-метод) [9, 14], в котором могут учитываться как качественные, так и количественные критерии [3, 4, 6, 8, 11]. Относительная значимость различных критериев определяется отдельно для каждого элемента вышестоящего уровня с помощью сопоставления пар. Для таких частичных целей, как альтернативы, затем может быть определен общий показатель, отражающий относительную значимость или выгодность альтернатив в отношении совокупной иерархии и тем самым в отношении главной цели.

АНР-метод проводится в следующей последовательности:

1. Формирование иерархии целей.
2. Определение приоритетов.

3. Расчет локальных векторов приоритетов (факторов взвешивания).
4. Проверка органичности оценки приоритетов.
5. Расчет приоритетов целей и мероприятий для иерархии в совокупности.

Некоторые из этих этапов при определенных обстоятельствах необходимо пройти многократно. Это имеет место, если сделана неправильная оценка приоритетов. Проверка, главным образом, субъективных оценок в отношении их структуры представляет собой еще один важный признак данного метода [9].

На первом этапе АНР-метода происходит формирование иерархии целей. При этом проблема принятия решения раскладывается на составные части, которые представляются в виде иерархии целей. На этом этапе следует проводить четкое разграничение между различными альтернативами и подцелями. Для иерархии целей должны существовать взаимосвязи только между элементами следующих друг за другом уровней. Это условие требует одновременно того, чтобы между элементами одного уровня не существовало вообще никаких связей, или существовала, по крайней мере, незначительная взаимосвязь. Кроме того, элементы одного уровня должны быть сопоставимы друг с другом, т.е. должны обладать одинаковой степенью значимости. В заключение необходимо добиться того, чтобы сделанные оценки действовали независимо от других оценок на данном и других уровнях. Помимо этого, предполагается, что учитываются все существенные альтернативы и целевые критерии.

Второй этап заключается в определении приоритетов для всех элементов иерархии целей. Значимость может интерпретироваться в отношении целевых критериев как вклад в достижение главной цели. В отношении сравнения пар при применении АНР-метода необходимым условием является то, что лицо, принимающее решения, может присвоить всем парам i и k из множества элементов A одного уровня (альтернативы или целевые критерии) одно измеренное на шкале относительных показателей значение v_{ik} , показывающее, во сколько раз i более значимо, чем k , в отношении определенного элемента следующего более высокого уровня. Этого нужно добиться для всех элементов более высокого уровня и всех прочих уровней. При этом должен действовать принцип обратной пропорциональности, т.е. относительное значение i к k должно соответствовать значению этого показателя, получаемому при сравнении k с i . В отношении элемента следующего более высокого уровня действует правило

$$v_{ik} = 1 / v_{ki}$$

для всех $i, k \in A$.

Относительная величина v_{ik} не может быть бесконечной. При бесконечной относительной значимости соответствующие целевые критерии или альтернативы были бы несопоставимы, и необходимо было бы заново проводить анализ проблемы целей.

Для сравнения пар можно использовать девятибалльную шкалу Саати. В пользу применения данной шкалы говорит то, что с ее помощью можно преобразовать устные суждения в количественные показатели.

При использовании данной шкалы сравнения могут производиться по значениям от 1 до 9, а также по их обратным величинам.

Количество сравнений пар резко возрастает с ростом элементов уровня. Это следует учитывать при составлении иерархии целей.

На третьем этапе происходит расчет локальных векторов приоритетов (факторов взвешивания). При этом для каждой матрицы сравнения пар определяется сравнительная значимость элементов (альтернатив, целевых критериев), являющаяся результатом совокупности сравнения пар, которая представляется в форме вектора приоритетов. Каждая составляющая этого вектора указывает, какой сравнительной значимостью обладает данный элемент в отношении рассматриваемого элемента более высокого уровня.

В АНР-методе [14] расчет векторов приоритетов проводится с помощью метода определения собственного значения. Однако в нем имеется следующий недостаток.

Как было отмечено выше, для сравнения пар используется девятибалльная шкала Саати. На практике для определения приоритетов могут использоваться и другие шкалы [3, 8, 11]. Определенные относительные значимости носят достаточно субъективный характер, так как являются мнением либо экспертов, либо лица, принимающего решения. Даже небольшие изменения в матрице сравнения пар могут привести к значительному изменению собственных значений этой матрицы, что вызывает возникновение совершенно другого результата выбора. Для выхода из создавшегося положения предлагается вместо максимального собственного значения матрицы сравнения пар использовать ее сингулярные числа как менее чувствительные к вариациям в исходной матрице [2, 5, 10, 12, 13].

Рассмотрим следующий пример применения АНР-метода с использованием собственных значений и сингулярных чисел.

Пусть существует некоторый промышленный объект [1], для которого выбирается оптимальное местоположение, и необходимо принять решение об относительной выгодности трех альтернатив А1, А2 и А3. Допустим, что на первом этапе АНР-метода определена иерархия целей, которая выглядит так:

Выбор оптимального местоположения.

1. Земельный участок (ЗУ).
 - 1.1. Величина земельного участка (ВЗУ).
 - 1.2. Цена земельного участка (ЦЗУ).
 - 1.3. Расходы на освоение (РнО).
2. Рабочая сила (РС).
 - 2.1. Потенциал рабочей силы (ПРС).
 - 2.2. Конкуренция на рынке рабочей силы (КРРС).
3. МТО и транспорт (СТ).
 - 3.1. Транспортная инфраструктура (ТИС).
 - 3.2. Транспортно-экспедиторские фирмы (ТЭФ).
 - 3.3. Потенциал поставщиков (ПП).
 - 3.4. Предложение банковских услуг (ПБУ).
4. Влияние государства (ВГ).
 - 4.1. Меры стимулирования (МС).
 - 4.2. Ставка налога на хозяйственную деятельность (СН).

Далее определяются приоритеты для всех элементов иерархии. Следующие матрицы сравнения пар составлены с использованием девятибалльной шкалы Саати.

Величина земельного участка

	A1	A2	A3
A1	1,00	4,00	5,00
A2	1/4	1,00	3,00
A3	1/5	1/3	1,00

001,00Макс. собств. значение: 3,0858
3,0858Вектор взвеш.: (0,6738; 0,2255;
0,1007)
Макс. сингул. число: 7,2183
Мин.сингул.число: 0,1079

Цена земельного участка

	A1	A2	A3
A1	1,00	3,00	1/4
A2	1/3	1,00	1/6
A3	4,00	6,00	1,00

Макс. собств. значение:
Вектор взвеш.: (0,6738; 0,2255;
0,1007)
Макс. сингул. число: 7,9708
Мин.сингул.число: 0,0771

Затраты на освоение

	A1	A2	A3
A1	1,00	7,00	3,00
A2	1/7	1,00	1/4
A3	1/3	4,00	1,00

9,005,001,00Макс. собств. значение: 3,0323
Вектор взвеш.: (0,6586; 0,0786;
0,2628)
Макс. сингул. число: 8,7642
Мин.сингул.число: 0,0551

Потенциал рабоче

	A1	A2	A3
A1	1,00	1/4	1/9
A2	4,00	1,00	1/5
A3	9,00	5,00	1,00

Макс. собств. значение: 3,0713
Вектор взвеш.: (0,0633; 0,1939;
0,7428)
Макс. сингул. число: 11,1372
Мин.сингул.число: 0,0583

Конкуренция на рынке рабочей силы

	A1	A2	A3
A1	1,00	1/5	1/7
A2	5,00	1,00	1/3
A3	7,00	3,00	1,00

Макс. собств. значение: 3,0649
Вектор взвеш.: (0,0719; 0,2790;
0,6491)
Макс. сингул. число: 7,9708
Мин.сингул.число: 0,0711

Транспортная ин

	A1	A2	A3
A1	1,00	1/2	1/2
A2	2,00	1,00	1,00
A3	2,00	1,00	1,00

Макс. собств. значение: 3,0000
Вектор взвеш.: (0,200 0; 0,4000;
0,4000)
Макс. сингул. число: 3,6742
Мин.сингул.число: 0,0000

Транспортно-экспедиторские фирмы

	A1	A2	A3
A1	1,00	8,00	4,00
A2	1/8	1,00	1/3
A3	1/4	3,00	1,00

Макс. собств. значение: 3,0183
Вектор взвеш.: (0,7167; 0,0782;
0,2051)
Макс. сингул. число: 9,5909
Мин.сингул.число: 0,0386

Потенциал поставщиков

	A1	A2	A3
A1	1,00	8,00	4,00
A2	1/8	1,00	1/3
A3	1/4	3,00	1,00

Макс. собств. значение: 3,0093
Вектор взвеш.: (0,7166; 0,0783;
0,2051)
Макс. сингул. число: 9,5909
Мин.сингул.число: 0,0386

Предложение банковских услуг

	A1	A2	A3
A1	1,00	3,00	3,00
A2	1/3	1,00	1,00
A3	1/3	1,00	1,00

Макс. собствен. значение: 3,0183

Вектор взвеш.: (0,7167; 0,0782; 0,2051)

Макс. сингул. число: 4,8189

Мин. сингул. число: 0,0000

Ставка налога на хозяйств. деятельность

	A1	A2	A3
A1	1,00	6,00	4,00
A2	1/6	1,00	1/3
A3	1/4	3,00	1,00

Макс. собствен. значение: 3,0183

Вектор взвеш.: (0,7167; 0,0782; 0,2051)

Макс. сингул. число: 7,9708

Мин. сингул. число: 0,0711

Рабочая сила

	ПРС	КРР
ПРС	1,00	5,00
КРР	1/5	1,00

Макс. собствен. значение: 3,0183

Вектор взвеш.: (0,7167; 0,0782; 0,2051)

Макс. сингул. число: 5,2000

Мин. сингул. число: 0,0000

Влияние государства

	МС	СН
МС	1,00	3,00
СН	1/3	1,00

Макс. собствен. значение: 2,0000

Вектор взвеш.: (0,7500; 0,2500)

Макс. сингул. число: 3,3333

Мин. сингул. число: 0,0000

Мероприятия по стимулированию

	A1	A2	A3
A1	1,00	1/7	1/2
A2	7,00	1,00	6,00
A3	2,00	1/6	1,00

Макс. собствен. значение: 3,0093

Вектор взвеш.: (0,7166; 0,0783; 0,2051)

Макс. сингул. число: 9,5890

Мин. сингул. число: 0,0528

Земельный участок

	ВЗУ	ЦЗУ	РО
ВЗУ	1,00	1/3	4,00
ЦЗУ	3,00	1,00	9,00
РО	1/4	1/9	1,00

Макс. собствен. значение: 3,0093

Вектор взвеш.: (0,7166; 0,0783; 0,2051)

Макс. сингул. число: 10,4446

Мин. сингул. число: 0,0257

МТО и транспорт

	ТИС	ТЭФ	ПП	ПБУ
ТИС	1,00	7,00	5,00	9,00
ТЭФ	1/7	1,00	1/4	3,00
ПП	1/5	4,00	1,00	5,00
ПБУ	1/9	1/3	1/5	1,00

Макс. собствен. значение: 3,0093

Вектор взвеш.: (0,7166; 0,0783; 0,2051)

Макс. сингул. число: 14,3236

Мин. сингул. число: 0,0376

Главная цель: оптимальное местоположение

	ЗУ	РС	СТ	ВГ
ЗУ	1,00	1/8	1/3	2,00
РС	8,00	1,00	4,00	6,00
СТ	3,00	1/4	1,00	5,00
ВГ	1/2	1/6	1/5	1,00

Макс. собствен. значение: 4,1670

Вектор взвеш.: (0,0871; 0,6238; 0,2281; 0,0610)

Макс. сингул. число: 12,3578

Мин. сингул. число: 0,0228

Допустим, что матрица сравнения пар "МТО и транспорт" составлена экспертами (или лицом, принимаю

МТО и транспорт				
	ТИС	ТЭФ	ПП	ПБУ
ТИС	1,00	6,00	4,00	8,00
ТЭФ	1/6	1,00	1/4	3,00
ПП	1/4	4,00	1,00	5,00
ПБУ	1/8	1/3	1/5	1,00

Макс. собств. значение: 4,2051

Макс. сингул. число: 12,9249

Мин.сингул.число: 0,0383

Вданной матрице значения элементов первой строки заменены на "промежуточные значения" по шкале Саати, что, согласно той же шкале [9], является незначительным изменением в оценке сравнения пар. Такая ситуация очень часто имеет место на практике, так как возможны небольшие колебания в мнениях экспертов. Как видно, в данном случае изменение максимального собственного значения превосходит изменение сингулярного числа (минимального) примерно в сорок раз. Учитывая вышеизложенное, в данной работе предлагается в качестве критерия выбора глобальной альтернативы использовать сингулярные числа.

АНР-метод может применяться и вне сферы нахождения решения при наличии многокритериальных проблем, а также с целью прогнозирования тенденций будущего развития. В рамках этого метода в модель можно включать также фактор неопределенности относительно будущих состояний окружающей среды путем учета уровня с различными возможностями ее состояний или различными сценариями в иерархии целей. Неопределенность в отношении приоритетов, являющихся результатом сравнения пар, может быть исследована с помощью анализа чувствительности [7, 13].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Блех Ю., Гетце У.** Инвестиционные расчеты. Модели и методы оценки инвестиционных проектов / Перевод с нем. Изд. 1. - Калининград: Янтарный сказ, 1997. - 437 с.
2. **Гантмахер Ф.Р.** Теория матриц. Изд. 3. - М.: Наука, 1967. - 575 с.
3. **Гафт М.Г.** Принятие решений при многих критериях. - М.: Знание, 1979. - 64 с.
4. **Кини Р.Л., Райфа Х.** Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения. - М.: Радио и связь, 1981. - 560 с.
5. **Беллман Р.** Введение в теорию матриц / Перевод с англ. - М.: Наука, 1969. - 367 с.
6. **Ларичев О.И., Мошкович Е.М.** Качественные методы принятия решений. - М.: Физматлит, 1996. - 208 с.
7. Лившиц Б.Л. Метод возмущений для оператора простой структуры // Докл. АН СССР. - 1960. - Т.133, ¹ 4. - С. 800 - 804.

8. **Подinovский В.В.** Многокритериальные задачи с упорядоченными по важности критериями. // Автоматика и телемеханика. - 1976. - ¹ 11. - С. 118 - 127.
9. **Саати Л.** Математические модели конфликтных ситуаций / Перевод с англ. - М., 1977. - 302с.
10. **Уилкинсон Дж.Х.** Алгебраическая проблема собственных значений / Перевод с англ. - М.: Наука, 1970. - 564 с.
11. **Фишберн П.** Теория полезности для принятия решений / Перевод с англ. - М.: Наука, 1978. - 352 с.
12. **Хорн Р., Джонсон Ч.** Матричный анализ / Перевод с англ. - М.: Мир, 1989. - 655 с.
13. **Freudenberg J.S., Looze D.P. and Cruz J.B.** Robustness analysis using singular value sensitivities // I.E.E.E. International Journal of Control. - 1982. - V. 35, ¹ 1. - P. 95-116. Saaty T.L. How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process // European Journal of Operational Research. - 1990. - V. 48.

Լ.Ռ. ԲՈԼԻԲԵԿՅԱՆ

ՆՊԱՏԱԿՆԵՐԻ ՀԻԵՐԱՐԽԻԱՅԻ ԱՆԱԼԻՏԻԿԱԿԱՆ ՈՐՈՇՄԱՆ ՄԵԹՈԴԻ ՄՈԴԻՖԻԿԱՑԻԱ (AHP-ՄԵԹՈԴ)

Դիտարկված է նպատակների հիերարխիայի անալիտիկական որոշման հայտնի մեթոդը (AHP-մեթոդ): Մշակված է AHP-մեթոդի մոդիֆիկացիա, որը կապված է սեփական արժեքների փոխարեն սինգուլյար թվերի ներմուծման հետ՝ որպես որոշումների ընդունման ընթացքում տարբերակների ընտրության չափանիշ: Առաջարկված մոդիֆիկացիան հնարավորություն է տալիս վերացնել զույգերի համեմատման մատրիցի զգայունության հետ կապված թերությունը և AHP-մեթոդն օգտագործել կիրառական բազմաչափանիշային խնդիրների լուծման համար:

L.R. BOLIBEKYAN

MODIFICATION OF ANALYTIC HIERARCHY PROCESS METHOD (AHP-METHOD)

This article reviews the known analytic hierarchy process method (AHP—method). The modification of AHP—method has been developed that is related to entering singular numbers instead of eigenvalues as a criterion for selecting available alternatives in decision making process. The suggested modification allows to liquidate the shortcoming related to the sensitivity of pair comparison matrix, and use AHP—method in solving practical multicriteria problems.

С.О. МКРТЧЯН, А.С. МКРТЧЯН, В.Э. ДЖАНГИРЯН,
А.Ф. ЛАЗАРЯН

КАК ОЖИВИТЬ СБИС ?

Рассматриваются вопросы защиты интегральных микросхем (ИМС) от перегрузок по выходу типа “короткое замыкание” (к.з.) на шины питания +5В “земли”. Приводятся примеры таких схем типа ТТЛ ИМС, которые “самоблокируются” при перегрузках указанного типа, тем самым предотвращая перегорания (тепловой пробой) внутренней структуры ИМС.

Ключевые слова: самоторможение, запредельное раздражение, короткое замыкание, перегрузка.

1. Введение и постановка задачи. Прежде чем ответить на поставленный в заглавии вопрос, попытаемся выяснить, как отличить живое от неживого в инженерном понимании. Издавна известно, что живым организмам свойствен инстинкт самосохранения, который базируется на безусловных рефлексах типа “раздражение-сокращение мышц”. У высших животных, у которых развита центральная нервная система (ЦНС), этот рефлекс имеет более сложные выражения в виде поведенческого акта (убегание, скрывание, изменение цвета и т.д. [1-5]). На уровне ЦНС или мозга человека и высших животных одним из фундаментальных свойств самозащиты нервных сетей является самоторможение, играющее огромную спасательную роль в защите тонких структур мозга от гибели при воздействии на них запредельных раздражений. Нередко можно увидеть в повседневной жизни, как человек теряет сознание при воздействии на него запредельного (надпорогового) раздражения в виде боли, звука, света и т.д. и как он возвращается к нормальной жизни при устранении раздражения.

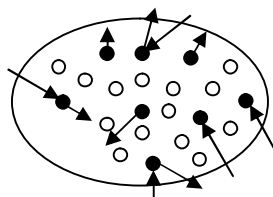


Рис.1. Общий вид структуры БИС:

- - вентили, не имеющие внешних связей;
- - вентили, связанные с внешним миром только по входу;
- - вентили, связанные с внешним миром только по выходу;
- - вентили, связанные с внешним миром по входу и по выходу

Это замечательное свойство живых нервных сетей предотвращает от гибели мозг и организм в целом в окружающем мире.

Задача заключается в том, чтобы привить это свойство самозащиты искусственным (электронным) нейронным сетям в виде БИС.

Известно, что современные БИС в виде целого блока обработки информации содержат сотни и даже тысячи ячеек, состоящих из элементарных вентилях типа И, ИЛИ, НЕ или их комбинаций (рис.1). Эти вентили общаются с внешним и внутренним миром через входы и выходы. На рис.1 эти ячейки обозначены соответственно темными и белыми кружками. Темные вентили имеют связь с внешним миром по входу или по выходу. Следовательно, они могут оказаться под влиянием внешних запердельных раздражений. Вентили же, обозначенные белыми кружками, не имеют связи с внешним миром. Следовательно, они не попадут под воздействие запердельных раздражений и поэтому не окажут существенного влияния на живучесть БИС, т.к. принимается, что исходные вентили работают надежно, если нет технологического брака, если в сети нет патологии, т.е. очагов запердельных сигналов “перегрузок”. Другими словами, если белые кружки представляют собой надежно работающие вентили ИМС, то темные вентили отличаются тем, что содержат дополнительные цепочки помимо основных функциональных цепочек. Эти дополнительные цепочки необходимы для организации самоблокировки (“прививка”) логических вентилях, когда на них воздействует запердельное раздражение.

Таким образом, для защиты БИС от запердельных раздражений надо защитить прежде всего темные (рис.1) вентили, которые связаны с внешним миром. Сказанное остается в силе, если в БИС использованы не только обычные вентили типа ТТЛ, но и нейронные элементы (модели нейрона, имеющие соответствующие схемные реализации).

Рассмотрим сперва случаи схмотехнической защиты обычных вентилях типа ТТЛ. Впоследствии будем расширять этот диапазон, рассматривая ЭСЛ, И²Л и другие схемы.

2. Защита ТТЛ вентилях от перегрузок. Из построения ТТЛ схемы (рис.2) очевидно, что она нечувствительна к перегрузкам типа к.з. на +5В, 0В по входу и чувствительна к подобным перегрузкам O_1 и O_2 по выходу в зависимости от логического состояния вентиля.

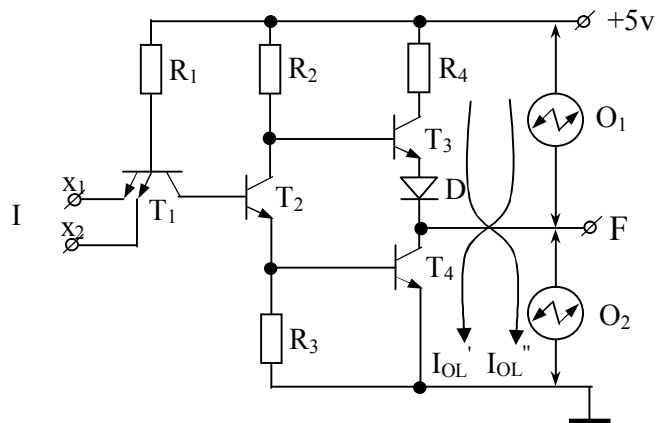


Рис.2. Базовая схема ТТЛ

Это объясняется тем, что при замыкании входов X_1 или X_2 (рис.2) на +5В эмиттерные переходы транзистора T_1 попадают под обратное напряжение, а поскольку это не превышает допустимое обратное напряжение T_1 , то нет опасности пробоя транзистора T_1 . Другими словами, ТТЛ схема защищена по входу от к.з. на шины +5В и 0В. Другое дело, если под подобную перегрузку (по O_1 и O_2 , рис.2) попадает выходной вывод ТТЛ схемы. В этом случае, если $F=0$, то опасность теплового пробоя грозит открытому транзистору T_4 током через O_1 , если же $F=1$, то опасность теплового пробоя грозит транзистору T_3 и диоду D током через O_2 . Следовательно, задача заключается в преобразовании базовой схемы (рис.2) так, чтобы предотвратить тепловой пробой ИМС в случае перегрузок типа O_1 и O_2 .

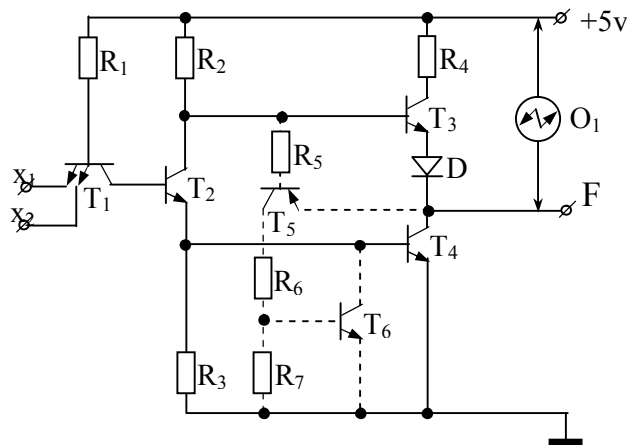


Рис.3. Защита T_4 от перегрузки типа O_1

На рис.3 показана такая преобразованная схема ТТЛ, которая устойчива к перегрузкам типа O_1 . Пунктиром показана цепочка, добавленная к базовой схеме, которая предотвращает пробой транзистора T_4 при к.з. выхода схемы F на шину питания +5В. При таком к.з. срабатывает цепочка T_5 - R_6 - T_6 , которая отбирает ток базы транзистора T_4 , запирая его. За время срабатывания цепочки T_5 - R_6 - T_6 транзистор T_4 попадает под перегрузку (через него протекает ток к.з.). Однако, поскольку это время небольшое (10...15 нс), то его недостаточно для перегрева и пробоя T_4 . Таким образом, при $F=0$ в случае возникновения перегрузки типа O_1 транзистор T_4 самоблокируется (закрывается) благодаря дополнительной цепочке, тем самым предотвращая пробой микросхемы. При устранении перегрузки O_1 ТТЛ схема возвращается в исходное состояние и продолжает нормально функционировать. На рис.4 показан вариант ТТЛ схемы, защищенной от перегрузок, когда на выходе имеется логическая 1 ($F=1$) и под опасностью пробоя под влиянием тока перегрузки находится транзистор T_3 (верхний) выходного каскада. С этой целью к базовой схеме ТТЛ (рис.2) добавлена цепочка на транзисторах T_5 и T_6 (рис.4).

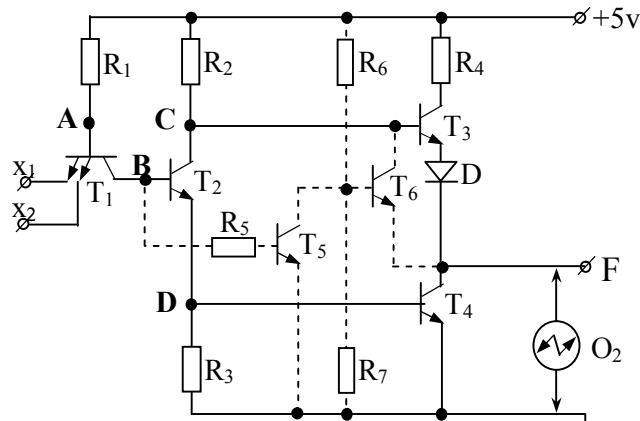


Рис.4. Защита транзистора T_3 (и диода D) при перегрузке типа O_2

В схеме при перегрузке типа O_2 ток перегрузки берет на себя транзистор T_6 , шунтирующий последовательно соединенные переход база-эмиттер T_3 и диод D . После устранения перегрузки O_2 для возвращения ТТЛ схемы в исходное состояние на входы X_1 и X_2 схемы подается отрицательный скачок входных сигналов, тем самым закрывая транзистор T_5 [6...8].

3. Заключение. Если объединить схемы рис. 3 и 4, получим ячейку БИС, которая не боится перегрузок вообще.

На рис.5 показана полная усовершенствованная ТТЛ схема, где пунктиром обозначена цепочка защиты схемы от перегрузки типа O_1 и O_2 .

Следовательно, если в БИС рис.1 заштрихованные ячейки заменить показанными на рис.5 схемами, площадь кристалла БИС несколько увеличится, а значит, повысится стоимость БИС.

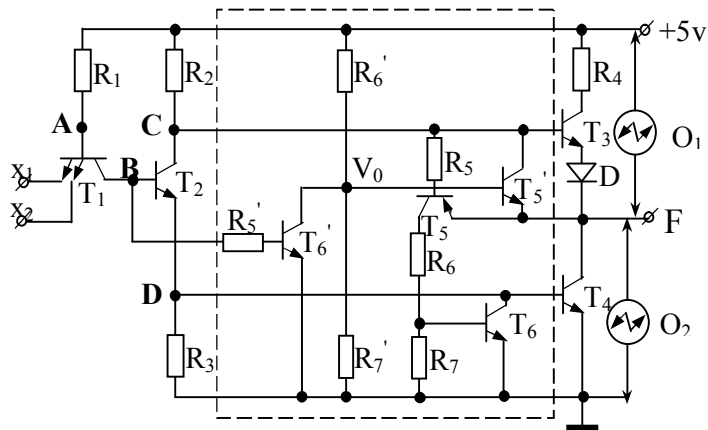


Рис.5. Усовершенствованная ТТЛ схема

При этом повысится живучесть микросхемы, т.е. она приобретет свойство самозащиты наподобие живых нейронных сетей.

Таким образом, электронная схема приобретает свойства, характерные живым нейронным сетям, а именно, самоблокируется при воздействии на них запрещенных (опасных) раздражений и восстанавливает свое нормальное функционирование при снятии раздражения. Если вместо логических вентилей в БИС применять нейронные схемы типа ТТЛ [9], то можно утверждать, что формальная искусственная нейронная сеть приобретет свойство биологической нейронной сети.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Анохин П.К.** Внутреннее торможение как проблема физиологии // Мед.газ., 1958. -360 с.
2. **Асратян Э.А.** Физиология центральной нервной системы. - М: Изд-во АМН СССР, 1953. -380 с.
3. **Асратян Э.А., Симонов П.В.** Надежность мозга.-М.: Изд. АН СССР, 1963. - 136 с.
4. **Ֆախրջյան Վ.Բ.** Ուղեղի կառավարման մեխանիզմները: Ուսումնական ձեռնարկ / ՀՊՀՀ. - Երևան, 1995. -212 էջ
5. **Մկրտչյան Ս.Օ.** Нейроны и нейронные сети.-М.: Энергия, 1971. - 230 с.
6. А.с. № 1336224 СССР. Преобразователь логического уровня / **Մկրտչյան Ս.Օ., Мелконян С.А.,** 1987.
7. **Скарлет Дж.А.** ТТЛ схемы и их применение. -М.:ИЛ, 1974. - 360 с.
8. **Шагурий И.И.** ТТЛ схемы. -М.: Сов. радио, 1974. -540 с.
9. **Մկրտչյան Ս.Օ.** Ֆորմալ նեյրոնի SSS սխեման // ՀՀ ԳԱԱ և ՀՊՀՀ տեղեկագիր: Տեխ. գիտ. սերիա. - 1998. - Հ. 51, դ 3. - էջ 366-371.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 15.07.2000.

**Ս.Հ. ՄԿՐՏՉՅԱՆ, Ա.Ս. ՄԿՐՏՉՅԱՆ, Վ.Է. ՋԱՀԱՆԳԻՐՅԱՆ,
Ա.Ֆ. ԼԱԶԱՐՅԱՆ**

ԻՆՉՊԵՍ ԿԵՆՏՐԱՆԱՑՆԵԼ ԳՄԻՍ-Ը

Դիտարկվում է ինտեգրալ միկրոսխեմաների (ԻՄՍ) պաշտպանությունը գերբեռնվածությունից, երբ տեղի է ունենում ելքի “կարճ միացումը” (կ.մ) սնման լարերի հետ: Բերվում են նման պաշտպանության օրինակներ տրանզիստորատրանզիստորային սխեմաների (SSS) դեպքում, երբ այդպիսի գերբեռնվածության դեպքում սխեման օրինաբանական է և, այդպիսով, պաշտպանում իր ներքին կառուցվածքը ջերմային ծակումից:

**S.H. MKRTCHYAN, A.S. MKRTCHYAN, V.E. JAHANGIRYAN,
A.F. LAZARYAN
HOW TO MAKE THE VLSI CIRCUIT STABLE ?**

Integrated microcircuit (IMC) protection problems caused by overloading the output of short circuit type to the earth supply bus +58 are considered. The samples of TLL IMC logic circuits, that "selfblock" at overloading the abovementioned type, are given, thereby preventing the thermal breakdown of chip internal structure.

Б.М. МАМИКОНЯН, Х.Б. МАМИКОНЯН
ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ
НАПРЯЖЕНИЯ В ЧАСТОТУ ИМПУЛЬСОВ

Рассмотрены принципы построения электронных измерительных преобразователей напряжения в частоту (ПНЧ), изложены методика выбора и расчета их параметров, особенности улучшения метрологических характеристик, приведены краткие описания и характеристики интегральных микросхем ПНЧ.

Ключевые слова: напряжение, частота, импульс, интегратор, компаратор, ключ, порог.

Широкое распространение цифровых устройств и микропроцессорных средств в измерительных системах требует применения схем для преобразования аналоговых сигналов в соответствующий им цифровой эквивалент (АЦП). Особым видом высокоточных АЦП являются ПНЧ, генерирующие на своем выходе последовательность импульсов, частота которых пропорциональна напряжению (или току) входного аналогового сигнала. Частотно-импульсный сигнал на выходе ПНЧ используется микропроцессором по методу непосредственного считывания, что позволяет построить измерительные устройства, обладающие высокой точностью и быстродействием в условиях действия помех и дестабилизирующих факторов [1, 2]. Рассмотрим основные принципы построения и особенности выбора ПНЧ для микропроцессорных измерительных устройств.

Основными характеристиками ПНЧ, обуславливающими их выбор, являются: разрешающая способность, точность и быстродействие. Разрешающая способность определяется порогом чувствительности и максимальным диапазоном входного аналогового напряжения (полной шкалой), точность – абсолютной погрешностью полной шкалы и нелинейностью δ_n статической характеристики преобразования, а быстродействие характеризуется временем преобразования t_n , т.е. интервалом времени от момента заданного изменения сигнала на входе до появления на выходе установившейся частоты. При построении ПНЧ чаще всего находит применение принцип интегрирования входного напряжения с периодическим разрядом емкости интегратора или с переменной направления интегрирования [3, 4].

ПНЧ с периодическим разрядом емкости интегратора содержат пассивный или активный интегратор, к выходу которого присоединяется нуль-орган, и цепь разряда, управляемую нуль-органом. В схеме простейшего ПНЧ такого типа с пассивным интегратором [3] входное положительное напряжение $U_{вх}$ заряжает через резистор R_1 конденсатор C (рис. 1а). Процесс заряда продолжается до тех пор, пока напряжение на И-входе нуль-органа, выполненного на основе ОУ с

цепью ПОС, не достигнет уровня, задаваемого на Н-входе делителем R_3 , R_4 . После этого выходное напряжение ОУ переходит с положительного уровня ограничения на отрицательный, диод открывается, и конденсатор C разряжается током, проходящим через диод и резистор R_2 . Разряд конденсатора закончится тогда, когда снова сравняются напряжения на входах ОУ. Чем выше входное напряжение, тем быстрее заряжается конденсатор (благодаря увеличению зарядного тока) и тем выше частота. Резистор R_2 нужен только для ограничения выходного тока ОУ. Если время разряда конденсатора много меньше времени его заряда и $R_3 \ll R_4$, то частота выходных импульсов будет изменяться приблизительно пропорционально входному напряжению:

$$f \approx \frac{U_{вх}}{2U_{огр}} \frac{R_4}{R_3} \frac{1}{R_1 C},$$

где $U_{огр}$ – напряжение ограничения на выходе ОУ.

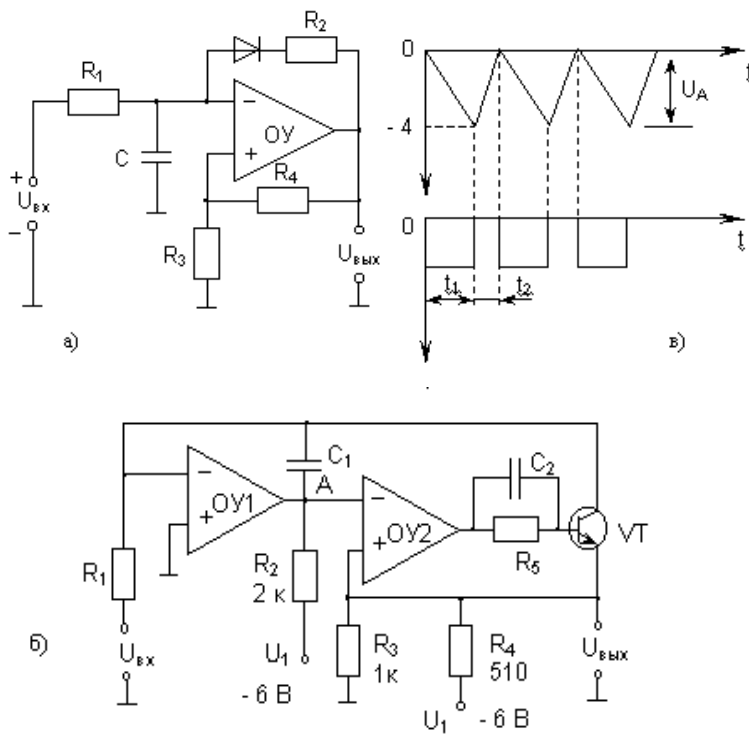


Рис.1. ПНЧ с периодическим разрядом конденсатора:
а – с пассивным интегратором, б – с активным интегратором,
в – графики напряжений

Применением активного интегратора строятся более точные (но и более сложные) ПНЧ с периодическим разрядом [3-5]. Схема (рис.1б) содержит интегратор, компаратор и ключ [5]. Выходное напряжение интегратора является линейно нарастающим отрицательным напряжением

(рис.1в). Скорость нарастания пропорциональна входному напряжению. Когда отрицательное напряжение превышает установленный отрицательный порог компаратора, последний с помощью ключа (VT) производит сброс напряжения интегратора до нуля. Затем цикл интегрирования повторяется. Усилитель ОУ2 выполняет функцию компаратора. Пороговое напряжение $-4 В$ подается на Н-вход с делителя R_3, R_4 . Когда выходное напряжение интегратора достигает $-4 В$, на выходе компаратора появляется напряжение $+5 В$, транзистор открывается; при этом потенциал на Н-входе компаратора удерживается на нулевом уровне. Когда выходное напряжение интегратора достигает нуля, на выходе компаратора появляется отрицательное напряжение, и транзистор закрывается. Затем цикл повторяется.

Время заряда конденсатора C_1 интегратора:

$$t_1 = R_1 C_1 U_{\text{вых}} / U_{\text{вх}},$$

где $U_{\text{вых}} = U_1 R_3 / (R_3 + R_4)$.

Время переброса интегратора:

$$t_2 = C_1 U_{\text{вых}} / I_k \approx C_1 R_4 U_{\text{вых}} / U_1.$$

Период одного цикла:

$$T = t_1 + t_2 = C_1 U_{\text{вых}} (R_1 / U_{\text{вх}} + R_4 / U_1).$$

С учетом того, что коллекторный ток I_k значительно больше входного тока $U_{\text{вх}} / R_1$, т. е. $R_4 / U_1 \ll R_1 / U_{\text{вх}}$, найдем частоту преобразования:

$$f \approx U_{\text{вх}} (R_3 + R_4) / C_1 R_1 R_3 U_1.$$

Как видно из полученных формул, частота рассмотренных ПНЧ зависит от 5-6 параметров схемы, поэтому в них трудно обеспечить стабильность чувствительности.

Ряд ведущих электронных фирм мира выпускает интегральные микросхемы ПНЧ, обладающие высокими метрологическими и эксплуатационными характеристиками. Часть этих ПНЧ также построена по принципу периодического разряда емкости интегратора. Наиболее распространена схема (рис. 2), состоящая из интегратора на ОУ1, двух компараторов А и В, триггера Т (образующих одновибратор ОС), двух переключаемых источников тока I_A и I_B и выходного транзистора с открытым коллектором. Положительное входное напряжение вызывает входной ток $I_1 = U_{\text{вх}} / R_1$, который заряжает конденсатор C_2 интегратора. Напряжение U_2 на выходе интегратора будет уменьшаться согласно формуле $dU_2/dt = U_{\text{вх}} / R_1 C_2$. При его достижении нуля компаратор А переключает триггер; последний замыкает ключи источников тока, а также изменяет $U_{\text{вых}}$ с логического 0 до логической 1. U_2 начинает возрастать (рис. 2б), а ток I_B начинает заряжать конденсатор C_1 одновибратора. В точке достижения напряжения $U_{C1} = -7,5 В$ компаратор В переключает триггер, и цикл повторяется.

За время $t_1 + t_2$ конденсатор C_2 заряжается и разряжается, поэтому изменение его заряда

$$\Delta Q = 0 = I_1 t_1 + (I_1 - I_A) t_2,$$

откуда получаем $f = 1 / (t_1 + t_2) = I_1 / I_A t_2 = U_{\text{вх}} / I_A R_1 t_2$.

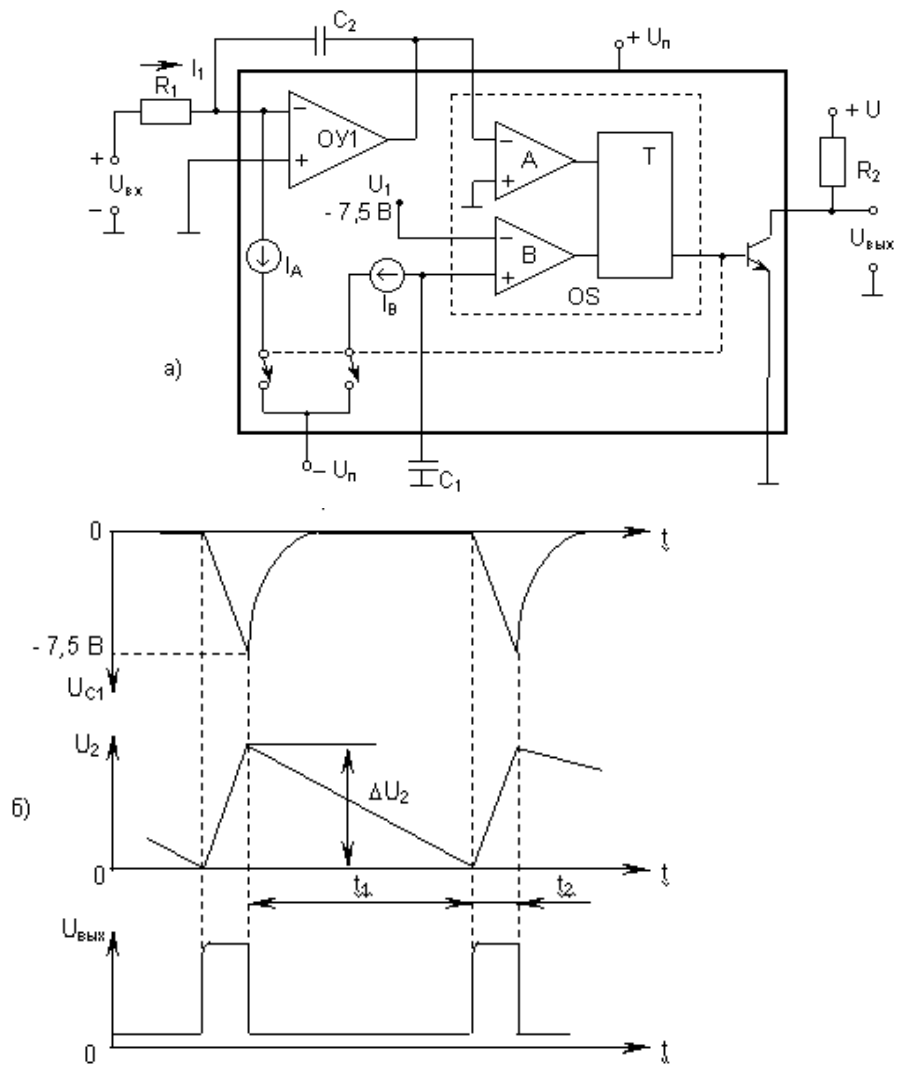


Рис. 2. Микросхема ППН: а) электрическая схема;

За время t_2 ток I_B заряжает конденсатор C_1 до $-7,5\text{ В}$, поэтому $t_2 = C_1 \cdot 7,5 / I_B$, следовательно, $f = \frac{U_{\text{вх}}}{7,5 R_1 C_1} \frac{I_B}{I_A}$.

Обычно в рассматриваемых микросхемах с высокой точностью обеспечивается равенство $I_A = I_B = 1\text{ мА}$, поэтому функция преобразования принимает вид $f = U_{\text{вх}} / 7,5 R_1 C_1$, не зависит от емкости конденсатора C_2 интегратора, поскольку C_2 влияет одновременно на восходящую

и нисходящую ветви напряжения U_2 , следовательно, требования к допуску и стабильности C_2 не строги. Выбор R_1 и C_1 , входящих в функцию преобразования, влияет на ее нелинейность. В целом более большие значения C_1 и более низкие входные токи (более высокие значения R_1) обеспечивают лучшую линейность; не рекомендуются значения входного тока более 0,5 мА. Относительная длительность $\gamma = t_2 / (t_1 + t_2)$ выходных импульсов является функцией входного напряжения, поскольку t_2 – фиксированная величина, а период $T = t_1 + t_2$ зависит от $U_{вх}$. Исследования показывают [6, 7], что лучшая линейность функции преобразования достигается при $\gamma \approx 0,25$. Следовательно, поскольку

$$\gamma_{\max} = \frac{C_1 \cdot 7,5}{I_B} \frac{U_{\text{вхшк}}}{7,5 R_1 C_1} = \frac{I_{\text{шк}}}{1 \text{ мА}},$$

то должно обеспечиваться значение $I_{\text{шк}} = 0,25 \text{ мА}$, что является исходным для выбора номинала резистора R_1 . При этом резистор R_1 снабжается небольшой подстроечной частью, служащей для внешней точной настройки коэффициента преобразования микросхемы.

Типичные значения коллекторного напряжения транзистора $U = 5 \dots 15 \text{ В}$, при этом номинал резистора R_2 выбирается так, чтобы ток коллектора транзистора не превышал 8 мА. Следует иметь в виду, что чем меньше номинал R_2 , тем короче фронт выходного импульсного сигнала. При скачке входного напряжения от 0 до 10 В при $f_{\max} = 10 \text{ кГц}$ время преобразования $t_n = 40 \text{ мкс}$; при этом ошибка установки максимальной частоты не более 10 Гц. Для повышения разрешающей способности ПНЧ при входном напряжении менее 10 мВ необходимо применять точную балансировку входного ОУ, имеющего напряжение смещения до 4 мВ. Номиналы резисторов цепи балансировки необходимо выбирать так, чтобы обеспечивался ток балансировки 8...12 нА. Входное сопротивление ОУ1 составляет более 20 кОм при входной емкости 10 пФ. В случае отрицательного входного напряжения источник $U_{вх}$ подключается между Н-входом ОУ1 и землей, а левый зажим резистора R_1 заземляется; в этом случае источник входного напряжения работает в режиме холостого хода.

По описанному выше принципу построены микросхемы ПНЧ типов VFC32, VFC100, VFC320 фирмы Burr-Brown (США), ADVFC32 фирмы Analog Devices (США), а также микросхема КР1108ПП1, основные метрологические и эксплуатационные характеристики которых представлены в табл. 1 [6-11]. Общим для них всех является:

- номинальное значение напряжения питания: (15 В;
- диапазон рабочих температур: $-65 \dots +150 \text{ }^\circ\text{C}$ ($-10 \dots +70 \text{ }^\circ\text{C}$ для КР1108ПП1).

Стремление улучшить динамические характеристики и повысить тем самым частоту привело к разработке микросхем ПНЧ с усовершенствованной схемой (рис.3). Схема содержит входной интегратор, источник тока с управляемым переключателем, компаратор А и одновибратор OS. В период интегрирования (t_1) источник тока подключен к выходу интегратора, а в период возврата в исходное положение (t_2) – к суммирующему узлу ОУ1 (рис. 3б,в). При этом для обоих состояний выходной ток ОУ1 один и тот же: этим доводятся до минимума переходные процессы. В остальном схема работает аналогично предыдущей.

Таблица 1

Характеристики микросхем ПНЧ

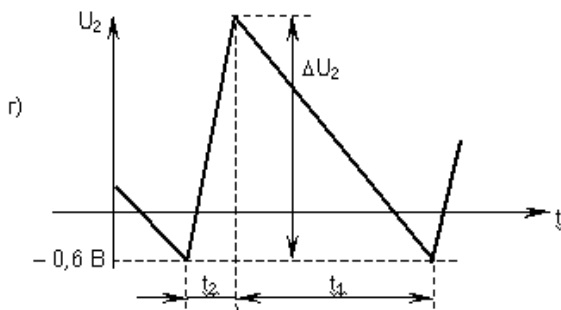
Тип Параметр	VFC32 ADVFC32	VFC100	VFC320	KP1108ПП1
Диапазон входного напряжения, $U_{вх}, В$	± 15	± 5	± 10	± 10
Диапазон входного тока, $I_1, мА$	0...0,25	0...0,25	0...0,25	0...0,25
Дифференциальное входное сопротивление, $Z_{вх}$	300 кОм// 10 пФ	20 кОм// 10 пФ	300 кОм// 5 пФ	20 кОм// 10 пФ
Диапазон выходной частоты, $f, кГц$	0...500	0...1000	0...1000	0...500
Погрешность нелинейности, $\delta_n, \%$	$\pm 0,01$ на 10 кГц $\pm 0,05$ на 100 кГц $\pm 0,2$ на 500 кГц	$\pm 0,02$ на 100 кГц $\pm 0,1$ на 1 МГц	$\pm 0,005$ на 10 кГц $\pm 0,03$ на 100 кГц $\pm 0,1$ на 1 МГц	$\pm 0,01$ на 10 кГц $\pm 0,05$ на 100 кГц $\pm 0,2$ на 500 кГц
Погрешность коэффициента преобразования, $\delta_k, \%$	$\pm 5,0$	$\pm 1,0$	$\pm 10,0$	$\pm 10,0$
Темпер. дрейф коэффициента преобразования, $\Delta\delta_k, \%/^{\circ}C$	$\pm 0,0075$	$\pm 0,005$ (на 100 кГц)	$\pm 0,005$	$\pm 0,005$
Напряжение смещения, $U_{см}, мВ$	$\pm 4,0$	$\pm 1,0$	$\pm 0,15$	$\pm 4,0$
Темп. дрейф напряжения смещения, $\Delta U_{см}, мкВ/^{\circ}C$	± 30	$\pm 5,0$	$\pm 5,0$	$\pm 5,0$
Напряжение питания, $U_n, В$	$\pm 9... \pm 18$	$\pm 7,5 ... \pm 28,5$	$\pm 13 ... \pm 20$	$\pm 14,2... \pm 15,75$
Ток потребления, $I_n, мА$	6,0	11,0	6,5	6,0

Функция преобразования получается следующим образом. Период возврата начинается, как только выходное напряжение U_2 интегратора пересекает порог компаратора и растет на величин (рис. 3г)

$$\Delta U_2 = t_2 \frac{dU}{dt} = \frac{t_2}{C_2} (I_A - I_1).$$

После окончания периода возврата начинается следующий период интегрирования, и напряжение U_2 начинает опять понижаться. Время, необходимое для достижения порога компаратора,

$$t_1 = \frac{\Delta U_2}{dU/dt} = \frac{(I_A - I_1)t_2/C_2}{I_1/C_2} = t_2 \left(\frac{I_A}{I_1} - 1 \right).$$



в – режим интегрирования, г – график напряжения на выходе интегратора

$$\text{Выходная частота } f = 1/(t_1 + t_2) = I_1/t_2 I_A .$$

Для расчета времени t_2 необходимо учесть, что задающий конденсатор C_1 одновибратора управляется внутренним источником тока $I_B = 0,5 \text{ мА}$, и при напряжении приблизительно $U_1 = -3,4 \text{ В}$ на этом конденсаторе одновибратор отключается. Поэтому

$$t_2 = U_1 C_1 / I_B ,$$

в результате чего получается

$$f = \frac{U_{\text{вх}}}{U_1 R_1 C_1} \frac{I_B}{I_A} = \frac{U_{\text{вх}}}{6,8 R_1 C_1} .$$

Здесь конденсатор C_2 интегратора также не влияет на функцию преобразования, а просто определяет амплитуду пилообразного сигнала на выходе интегратора. Значение C_2 почти во всех микросхемах ПНЧ вычисляется по формуле

$$C_2 = 10^{-4} / f_{\text{max}} (\Phi / \text{с}) ,$$

но не должно быть менее значения $C_{2\text{min}} = 1000 \text{ пФ}$.

По схеме рис. 3 построены [6, 7] микросхемы ПНЧ типов VFC110, VFC121 фирмы Burr-Brown и AD650, AD652 фирмы Analog Devices (табл. 2).

ПНЧ с изменением направления интегрирования содержат переключатель направления интегрирования, управляемый нуль-органом, сравнивающим напряжение на выходе интегратора с некоторыми опорными уровнями. В типовой схеме такого ПНЧ [12] ОУ1 работает как повторитель напряжения, когда ключи разомкнуты, и как инвертирующий усилитель с коэффициентом усиления, равным единице, когда ключи замкнуты (рис. 4). ОУ1 попеременно выдает $+U_{\text{вх}}$ и $-U_{\text{вх}}$ на вход интегратора, заставляя конденсатор C заряжаться отрицательным зарядом при $+U_{\text{вх}}$ и положительным при $+U_{\text{вх}}$. Компаратор ОУ3 включает ключи, когда выход интегратора достигает напряжения

$$U_B = -U_{\text{см}} R_4 / (R_4 + R_5) ,$$

и выключает ключи, когда

$$U_B = U_{\text{см}} R_4 / (R_4 + R_5) .$$

Для того чтобы схема хорошо работала на низкой частоте, вход ОУ2 должен быть на полевых транзисторах. Для получения высокой скорости переключения усилители ОУ1 и ОУ2 следует выбирать среди наиболее быстродействующих ОУ с полевыми транзисторами на входе. Необходимо также учесть, что $U_{\text{вх}}$ должно быть меньше $U_{\text{ст}}$. Если диапазон входного напряжения $U_{\text{вхmax}}$ и соответствующая ему выходная частота f_{max} известны, то выбор параметров ПНЧ производится с помощью основной формулы $C = It / \Delta U_B$, где I – зарядный ток; $t = T/2 = 1/2f_{\text{max}}$; ΔU_B – полное приращение напряжения на конденсаторе от пика до пика.

Таблица 2

Характеристики микросхем ПНЧ

Тип Параметр	VFC110	VFC121	AD650	AD652
$U_{вх}, В$	0...10	0 ... ($U_{п-2}$)	± 15	± 15
$I_1, мА$	0...0,25	—	0...0,6	0...0,5
$Z_{вх}$	25 $кОм$	10 $МОм$	2 $МОм$ // 10 $пф$	20 $кОм$
$f, кГц$	0...4000	0...1000	0...1000	0...2000
$\delta_{п}, \%$	$\pm 0,005$ на 100 $кГц$ $\pm 0,01$ на 1 $МГц$ $\pm 0,02$ на 2 $МГц$ $\pm 1,0$ на 4 $МГц$	$\pm 0,03$ на 100 $кГц$ $\pm 0,1$ на 1 $МГц$	$\pm 0,002$ на 10 $кГц$ $\pm 0,005$ на 100 $кГц$ $\pm 0,07$ на 1 $МГц$	$\pm 0,005$ на 1 $МГц$ $\pm 0,02$ на 2 $МГц$
$\delta_{к}, \%$	$\pm 5,0$ (на 1 $МГц$)	± 10 (на 100 $кГц$)	± 5 (на 100 $кГц$) ± 10 (на 1 $МГц$)	$\pm 1,0$
$\Delta\delta_{к}, \% / ^\circ C$	$\pm 0,005$ (на 1 $МГц$)	$\pm 0,008$ (на 100 $кГц$)	$\pm 0,0075$ (на 100 $кГц$) $\pm 0,015$ (на 1 $МГц$)	$\pm 0,005$ (на 100 $кГц$)
$U_{см}, мВ$	$\pm 3,0$	$\pm 0,8$	$\pm 4,0$	$\pm 3,0$
$\Delta U_{см}, мкВ/^\circ C$	± 35	± 10	± 30	± 10
$U_{п}, В$	$\pm 5... \pm 18$	$\pm 4,5... + 36$	$\pm 9... \pm 18$	$\pm 6... \pm 18$
$I_{п}, мА$	13,0	7,5	8,0	11

Зарядный ток $I = U_{вх\max} / R_1$ выбирается равным 1,0 мА (выбор меньших зарядных токов приводит к необходимости ставить конденсатор очень малой емкости), напряжение переключения ($U_{в}/2$ также выбирается произвольно в пределах 3...7 В. Поэтому, если, например, $U_{в\max} = 5 В$, $f_{\max} = 20 кГц$, ($U_{в}/2 = 5 В$, то получаются значения: $C = 2500 пФ$; $R_1 = 5 кОм$).

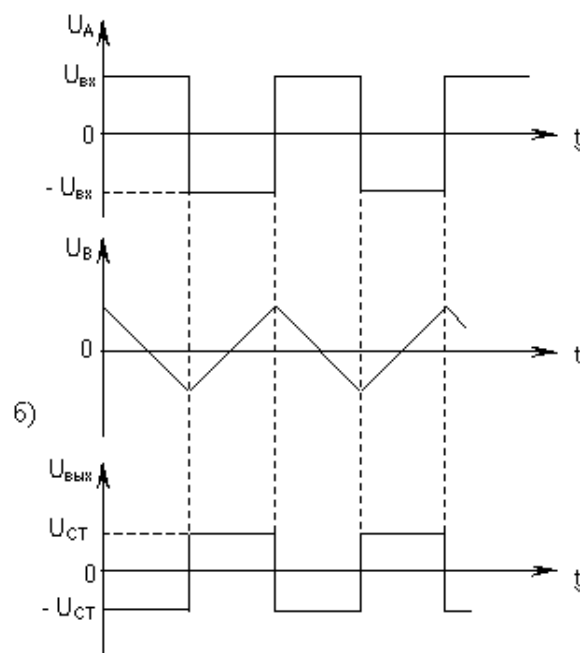
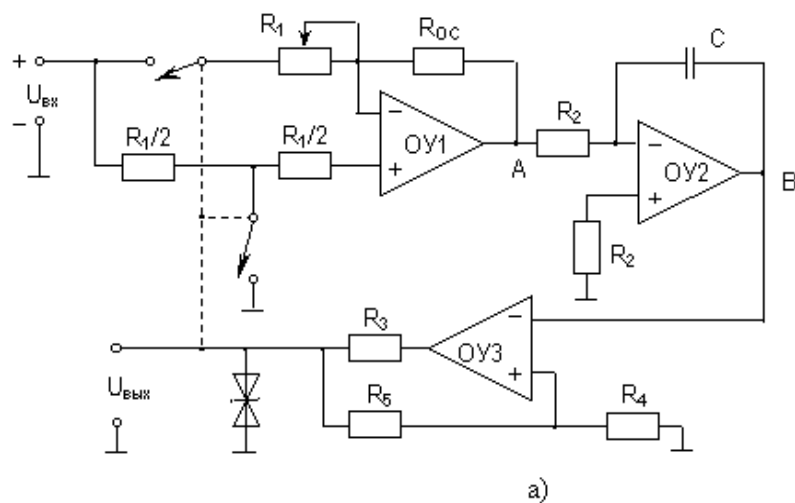


Рис. 4. ПНЧ с изменением направления интегрирования:
а – принципиальная схема, б – графики напряжений

Напряжение переключения $\Delta U_{в}/2$ устанавливается с помощью R_4 и R_5 , значение тока через которых выбираем $I_4 = I_5 = 0,1 \text{ мА}$, следовательно, номиналы этих резисторов получаются:

$$R_4 = R_5 = 5 \text{ В} / 0,1 \text{ мА} = 50 \text{ кОм}.$$

Общий ток, потребляемый с выхода ОУЗ,

$$I_3 = 2I_k + I_{\text{вых}} + I_{\text{см}} + I_4,$$

где I_k – ток управления ключами (в случае ключей на полевых транзисторах I_k (0,1 мА); $I_{\text{вых}}$ – требуемое значение выходного тока ПНЧ; $I_{\text{ст}}$ – ток стабилитрона.

Если, например, $I_k = 0,1$ мА, $I_{\text{вых}} = 5$ мА, $I_{\text{ст}} = 3$ мА, то получается $I_3 = 8,3$ мА, поэтому

$$R_3 = (U_3 - U_{\text{ст}}) / I_3 = (13,5 - 10) / 8,3 \cdot 10^{-3} = 422 \text{ Ом},$$

где $U_3 = 13,5$ В – выходное напряжение насыщения ОУЗ; $U_{\text{ст}} = 10$ В – напряжение стабилизации выбранного стабилитрона.

По данному принципу построены микросхемы ПНЧ типов AD537 и AD654 фирмы Analog Devices [7], характеристики которых представлены в табл. 3. В этих микросхемах имеется дополнительный входной каскад, состоящий из входного ОУ и транзистора, включенного на выходе этого ОУ по схеме эмиттерного повторителя, образующих вместе преобразователь напряжение – ток, что позволяет существенно увеличить входное сопротивление микросхемы без уменьшения значения зарядного тока.

Таблица 3

Характеристики микросхем ПНЧ

Тип Параметр	AD537	AD654
$U_{\text{вх}}, \text{В}$	± 15	0 ... 30
$I_1, \text{мА}$	–	–
$Z_{\text{вх}}$	250 МОм	250 МОм
$f, \text{кГц}$	0...100	0...500
$\delta_{\text{п}}, \%$	$\pm 0,15$ на 10 кГц $\pm 0,25$ на 100 кГц	$\pm 0,1$ на 250 кГц $\pm 0,4$ на 500 кГц
$\delta_{\text{к}}, \%$	± 10	± 10
$\Delta\delta_{\text{к}}, \%/^{\circ}\text{C}$	$\pm 0,015$	$\pm 0,005$
$U_{\text{см}}, \text{мВ}$	$\pm 5,0$	$\pm 1,0$
$\Delta U_{\text{см}}, \text{мкВ}/^{\circ}\text{C}$	$\pm 5,0$	$\pm 4,0$
$U_{\text{п}}, \text{В}$	$\pm 5 \dots \pm 18$	$\pm 5 \dots \pm 18$
$I_{\text{п}}, \text{мА}$	1,2	2,0

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гутников В. С. Тенденции развития электронных измерительных преобразователей для датчиков // Приборы и системы управления. – 1990. – 10. – С. 32-35.
2. Мамиконян Б. М., Мамиконян Х. Б. Микропроцессорное устройство для обработки и передачи измерительной информации // Тр. межд. конф. ВНИТ'99. – Ереван, 1999. – С. 524–526.
3. Гутников В. С. Интегральная электроника в измерительных устройствах. – Л.: Энергоатомиздат, 1988. – 304 с.
4. Алексенко А. Г., Коламбет Е. А., Стародуб Г. И. Применение прецизионных аналоговых микросхем. – М.: Радио и связь, 1985. – 255 с.

5. **Нестеренко Б. К.** Интегральные операционные усилители: Справочное пособие по применению. – М.: Энергоиздат, 1982. – 128 с.
6. Каталог фирмы Burr-Brown Corporation, 1998.
7. Каталог фирмы Analog Devices, 1997.
8. Цифровые и аналоговые интегральные микросхемы: Справочник; Под ред. **С. В. Якубовского**. – М.: Радио и связь, 1989. – 496 с.
9. **Дергачевский В. Б., Кобзарь С. И., Судьин С. Л.** Преобразователь напряжение-частота-напряжение КР1108ПП1 // Электронная промышленность. – 1984. – ¹ 6 (134). – С. 23.
10. **Блудов И. П., Новоченко И. В.** и др. Аналоговые интегральные схемы для бытовой радиоаппаратуры. – М.: Радио и связь, 1988. – 304 с.
11. **Вениаминов В. Н., Лебедев О. Н., Мирошниченко А. И.** Микросхемы и их применение: Справочное пособие. – М.: Радио и связь, 1989. – 240 с.
12. **Фолкенберри Л.** Применение операционных усилителей и линейных ИС: Пер. с англ. – М.: Мир, 1985. – 572 с.

ГОК ГИУА. Материал поступил в редакцию 25.02.2000.

Բ. Մ. ՄԱՍԻՎՈՆՅԱՆ, Խ. Բ. ՄԱՍԻՎՈՆՅԱՆ

**«ԼԱՐՈՒՄ-ԻՄՊՈՒԼՍՆԵՐԻ ՀԱՃԱԽՈՒԹՅՈՒՆ» ՉԱՓԻՉ ՁԵՎԱՓՈԽԻՉՆԵՐԻ
ԿԱՌՈՒՑՄԱՆ ՄԿՋՐՈՒՆՔՆԵՐԸ**

Դիտարկված են «լարում – իմպուլսների հաճախություն» էլեկտրոնային ձևափոխիչների կառուցման սկզբունքները, շարադրված են դրանց պարամետրերի ընտրության և հաշվարկի մեթոդիկան, չափագիտական բնութագրերի բարելավման առանձնահատկությունները, բերված են ամբողջական միկրոսխեմաների հակիրճ նկարագրություններն ու բնութագրերը:

B. M. MAMIKONYAN, KH. B. MAMIKONYAN

PRINCIPLES OF THE MEASURING VOLTAGE-TO-FREQUENCY CONVERTER CONSTRUCTION

The principles of electronic measuring voltage-to-frequency converters (VFC) construction are examined, the procedure of parameters choice and design, the peculiarities of metrology characteristics improvement are stated, the brief descriptions and characteristics of VFC integrated circuits are presented.

Г.В. БЕРБЕРЯН

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ СЕРОСТИ ИК - ИЗЛУЧЕНИЯ НА
РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕПЛОВОГО КОНТРОЛЯ СТАТОРОВ МОЩНЫХ
ГИДРОГЕНЕРАТОРОВ

Рассматривается влияние коэффициента серости инфракрасного (ИК) излучения на результаты теплового контроля статоров мощных гидрогенераторов. Эффективность преобразования измеряемых температур в соответствующие напряжения зависит от чувствительности указанной измерительной системы, которая определяется коэффициентом серости ИК-излучения поверхности статора исследуемого гидрогенератора, сканируемой с помощью пироприемников.

Ключевые слова: коэффициент серости, теплообмен, ИК-излучение, тепловой контроль.

Теоретические исследования по определению коэффициентов прямого преобразования входного оптического тракта системы теплового контроля статоров мощных гидрогенераторов на основе пироприемников, т.е. первичных преобразователей (ПП) ИК-излучения (рис.1), показали, что двойное извлечение квадратного корня из выходного сигнала ППИ можно связать с воздействующей на его входное окно абсолютной температурой T различных точек статора (например, точки A) выражением [1]

$$V'_s = K_{\text{пп}} T, \quad (1)$$

где V'_s — сигнал на выходе последнего из двух корнеизвлекателей, включенных последовательно на выходе ППИ, B ; $K_{\text{пп}}$ — коэффициент прямого преобразования входного оптического тракта системы теплового контроля абсолютной температуры T различных точек внутренней поверхности статора, B/K .

При этом значение $K_{\text{пп}}$ определяется выражением

$$K_{\text{пп}} = (1/K^2_{SQ}) [0,45\alpha\sigma A_S D_0 (NA) D\alpha_A \alpha_0 V_N / 2R^2 (\beta\Delta f)^{1/2}]^{1/4}, \quad (2)$$

где R — расстояние от излучающей точки на поверхности статора до линзы, установленной перед входным окном ППИ, m ; β — мгновенный угол зрения входного окна ППИ, $стер$; Δf — эквивалентная шумовая полоса частот, $Гц$; D — обнаружительная способность (среднее значение), определяемая по кривой от длины волны в области $\lambda_1 = 1...2 \text{ мкм}$ до $\lambda_2 = 8...12 \text{ мкм}$, $m \cdot Гц^{1/2} \cdot ВТ^{-1}$; $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$ — постоянная Стефана – Больцмана, $ВТ \cdot м^{-2} \cdot К^{-1}$; D_0 — диаметр входного окна ППИ (детектора), m ; A_S — площадь источника излучения, $м^2$; $NA = D_0/2F$ — числовая апертура линзы, установленной перед входным окном детектора (безразмерный коэффициент); F — эквивалентное фокусное расстояние оптики, m ; α_A — коэффициент пропускания ИК-излучения воздушного промежутка (атмосферы) между источником излучения и оптикой. Если значение α_A

неизвестно, то его принимают равным единице при импульсном излучении (безразмерный коэффициент); α_0 - коэффициент пропускания оптики, установленной до детектора, включая защитное стекло окна детектора и световод (безразмерный коэффициент); α - коэффициент серости излучающей поверхности статора, учитывающий отличие ее свойств от свойств абсолютно черного тела (безмерный коэффициент); V_s - максимальное напряжение непосредственно на выходе детектора (на входе первого корнеизвлекателя) при максимальном излучении, B ; V_N - среднеквадратичное напряжение шумов, т.е. выходное напряжение детектора при отсутствии входного облучения, B ; K_{SQ} - коэффициент передачи одного корнеизвлекателя (безразмерный коэффициент).

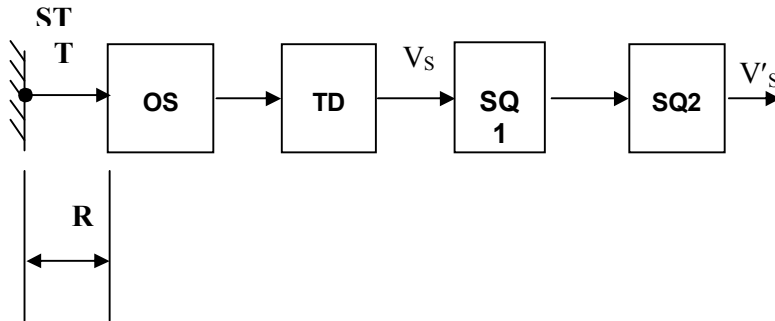


Рис.1

На рис.1 представлена структурная схема входного оптического тракта системы контроля абсолютной температуры статора мощного гидрогенератора со следующими обозначениями: ST - статор, T - абсолютная температура точечного источника излучения в какой-либо точке A внутренней поверхности статора, OS - оптическая система, установленная перед входным окном детектора ППИ, TD - пироприемник, SQ1 - первый корнеизвлекатель, SQ2 - второй корнеизвлекатель, V_s - выходной сигнал пироприемника, V'_s - выходной сигнал второго корнеизвлекателя и R - расстояние от точки A до оптики (линзы) OS.

Как следует из (2), значение $K_{\text{пп}}$ зависит от $\alpha \neq 0$. В случае изменения α в некоторых пределах $\alpha_{\min} \leq \alpha \leq \alpha_{\max}$ по определенному закону, при постоянстве остальных входящих в (2) параметров, КПП будет изменяться по такому же закону, оказывая существенное влияние на результаты измерения вследствие нарушения однозначной зависимости V'_s от T. В связи с этим возникает необходимость анализа такого влияния с целью адекватного толкования результатов измерения при изменении α .

Для определения влияния коэффициента серости α на $K_{\text{пп}}$ можно воспользоваться выводами, изложенными в [2], в соответствии с которыми внутренняя поверхность статора и внешняя поверхность обода ротора образуют две коаксиальные цилиндрические поверхности, радиусы которых R_1 и R_2 соответственно во много раз превышают длину R воздушного зазора между ними в радиальном направлении (рис.2).

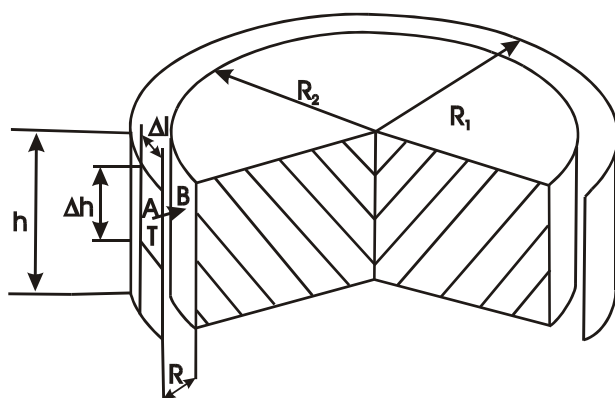


Рис. 2

При этом учет влияния ребристости статора, т.е. чередования пазов, закрытых диэлектрическими клиньями, и зубцов, на результаты измерения температуры в различных точках статора производится отдельно. Для определения зависимости указанных результатов измерения от значения α эти поверхности вначале принимаются за идеально гладкие. При выполнении условий $R_1 \gg R$ и $R_2 \gg R$ ($R_1 \approx 7,5 \text{ м}$, $R_2 \approx 8 \text{ м}$) вышеуказанные цилиндрические поверхности на небольшом элементе длины $\Delta l \approx 0,005 \text{ м}$ вдоль расточки статора и по всей его высоте h можно принять за две плоскопараллельные поверхности. Такое допущение справедливо и по той причине, что благодаря используемой специальной оптике источник излучения сканируемых элементов поверхности статора с той или иной температурой T при малых размерах окна детектора, размещенного в точке В, и достаточно больших размерах R , где $R = R_1 - R_2 \gg \Delta l$, можно считать точечным. При этом чем меньше размер l , тем точнее применимо понятие точечного источника излучения (например, точки А) и точнее измеренное значение T соответствует понятию температуры в этой точке, хотя, на самом деле, эта температура обусловлена излучением, исходящим не из точки, а из элемента поверхности с горизонтальной (l и вертикальной Δh протяженностью, т.е. этот элемент представляет собой круг диаметром $\Delta l = \Delta h$). Следует отметить, что при рассмотрении такой модели необходимо учесть тепловой обмен между статором и ротором, который будет носить различный характер в зависимости от соотношения между абсолютными температурами статора T_1 и ротора T_2 . При $T_1 = T_2$ теплообмен отсутствует, и значение α в выражении (1) равно α_1 для статора. При этом α_1 будет иметь различные значения не только для зубцов и клиньев пазов, но и для зубцов в зависимости от сорта стали пакетов статора. При $T = 293 \text{ К}$ и более имеем $\alpha_{13} = 0,055$ для холоднокатаной стали, $\alpha_{13} = 0,75$ для оксидированной стали, $\alpha_{1п} = 0,95$ для волокнистых материалов, в том числе и с лапокрытием, используемых для изготовления пазовых клиньев.

При $T_1 > T_2$ происходит теплообмен, и значение α равняется его приведенному значению α_{12} , определенному следующим выражением [2]:

$$\alpha_{12} = 1 / [(1 / \alpha_1) + (1 / \alpha_2) - 1],$$

где α_{12} - коэффициент серости материала обода ротора, на котором расположено входное окно детектора ППИ; для ковкого железа (листовая сталь) $\alpha_2 = 0,95$.

Отсюда следует, что α_{12} будет иметь следующие значения: $\alpha_{12з} = 0,05$ для зубцов из холоднокатаной стали, $\alpha_{12з} = 0,51$ для зубцов из оксидированной стали, $\alpha_{12п} = 0,86$ для пазовых клиньев.

Ввиду существенной разницы между значениями α_1 и α_{12} для зубцов и клиньев возникает заметная амплитудно-импульсная модуляция излучения зубцов и пазов с частотой $f = f_z z$, где z - число зубцов (или пазов), а f_z - частота вращения ротора (Гц). Если при этом $T_1 = T_2$, то на выходе ППИ возникают напряжения $V_{\max}$ для пазов (при равенстве температур зубцов $T_{1з}$ и пазов $T_{1п}$) и $V_{\min}$ для зубцов, характеризующие прямоугольную огибающую с некоторой начальной фазой φ_0 . При $T_{1з} > T_{1п}$ так, что $T_{1з}/T_{1п} = (\varepsilon_{12п}/\varepsilon_{12з})^{1/4}$, модуляция исчезает, а при $T_{1з}/T_{1п} > (\varepsilon_{12п}/\varepsilon_{12з})^{1/4}$ фаза огибающей изменяется на 180° .

При случайном распределении температур вдоль пути сканирования детектора ППИ поперек зубцов и пазов форма огибающей становится случайной (с флуктуациями), отдельные выбросы которых относительно $V_{\max}$ и $V_{\min}$ для пазов и зубцов в отношении друг друга будут иметь случайное соотношение. При использовании импульсной модуляции количество точек измерения поперек паза и зубца на определенном уровне по высоте статора ограничено, а результаты измерения в каждой отдельной точке оцениваются с помощью соотношения $f_z \cdot U$, $U \cdot f_z$, т.е. частотой прямоугольной огибающей, поэтому сохраняется возможность обнаружения принадлежности того или иного выброса зубцу или пазу. Каким бы ни было указанное распределение, если оно одинаково для любой пары зубец-паз, то его можно приписать нормальному состоянию диагностируемого объекта; если оно изменяется от одной пары к другой случайным образом, то это изменение может служить признаком аномального состояния для тех пар, распределение которых отлично от остального большинства.

Таким образом, указанные распределения могут служить в качестве дополнительного информативного признака при контроле распределения температур на внутренней поверхности статора мощных гидрогенераторов, что совместно с другими признаками позволяет производить более корректную идентификацию координат участков пазов и зубцов, оказавшихся в аномальном тепловом состоянии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Хадсон Р.** Инфракрасные системы. – М.:Мир, 1972.- 534 с.
2. **Сипайлов Г.А., Санников А.И., Жадан В.А.** Тепловые, гидравлические и аэродинамические расчеты в электрических машинах. – М.: Высшая школа, 1989. – 239 с.

ГИУА . Материал поступил в редакцию 10.10.1999.

Գ.Վ. ԲԵՐԲԵՐՅԱՆ

ՀԶՈՐ ՀԻՂՐՈԳԵՆԵՐԱՏՈՐՆԵՐԻ ՍՏԱՏՈՐՆԵՐԻ ՋԵՐՄԱՅԻՆ ՀՄԿՄԱՆ ԱՐԴՅՈՒՆՔՆԵՐՈՒՄ ԻՎ - ՃԱՌԱԳԱՅԹՄԱՆ ԳՈՐԾԱԿՑԻ ՇՆՈՐՀԻՎ ԱՌԱՋԱՑԱԾ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅԱՆ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆ

Քննարկվում է հզոր հիդրոգեներատորների ստատորների ջերմային հսկմանն առնչվող այն խնդիրը, որն առաջանում է ինֆրակարմիր (ԻԿ) ճառագայթման գործակցի ազդեցության շնորհիվ: Չափվող ջերմաստիճանների համապատասխան լարումների փոխակերպման արդյունավետությունը կախված է նշված համակարգի զգայունությունից, որը զգալիորեն փոփոխվում է փորձարկվող կետերի ԻԿ - ճառագայթման գործակիցների ազդեցության հետևանքով:

G.V. BERBERYAN

ANALYSIS OF IR-RADIATION EMISSIVITY ACTION IN THERMAL CONTROL RESULTS OF HYDROGENERATORS STATORS

IR-radiation emissivity effect on thermal control results of high-powerful hydrogenerator stator is considered. The effectiveness of measured temperature conversion into corresponding voltages depends on the sensitivity of the measuring system significantly determined by IR-radiation emissivity of hydrogenerator stator surface scanned by pyroreceivers.

Р.М. ХАЧАТРЯН

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОПТИМАЛЬНОГО ВАРИАНТА СООРУЖЕНИЙ СТРОИТЕЛЬНОГО ВОДОСБРОСА

Исходя из условия минимальной суммарной стоимости верховой перемычки и строительного водосброса, состоящего из безнапорного туннеля и примыкающих к нему подводящего и отводящего каналов практически любых форм поперечных сечений, получено критериальное уравнение для определения оптимального значения внутреннего радиуса r туннеля, которым обусловлены оптимальные геометрические и гидравлические параметры всех сооружений системы.

Ключевые слова: строительный водосброс, подводящий и отводящий каналы, безнапорный туннель, верховая перемычка, критериальное уравнение, оптимальное значение, внутренний радиус туннеля.

В период строительства сооружений водохранилищного гидроузла на горных и предгорных участках рек пропуск их расходов в нижний бьеф осуществляется строительными водосбросами различных типов и конструкций (туннели различных форм поперечного сечения с подводящим и отводящим каналами или без них, галереи, устраиваемые в открытых выемках на поверхности материкового грунта, под плотиной из местных строительных материалов, и др.).

Рассматривается случай, когда строительный водосброс проектируется в виде безнапорного туннеля практически любой формы поперечного сечения (круглой, корытообразной или подковообразной) с подводящим и отводящим каналами прямоугольного или трапецеидального поперечного сечения, а верховая перемычка проектируется вне тела плотины.

На плане участка реки показаны контуры плотины из местных строительных материалов, верховой и низовой перемычек, строительного туннеля и примыкающих к нему подводящего и отводящего каналов. Намечены также места входного и выходного порталов туннеля (рис. 1).

В [1, 2] показано, что условие минимума суммарной стоимости строительного водосброса и верховой перемычки должно лечь в основу выбора оптимального варианта сооружений системы строительный водосброс – верховая перемычка, независимо от того, проектируется ли верховая перемычка вне или в теле плотины.

Для решения поставленной задачи сначала напишем выражения для определения отметок дна концевое сечения отводящего канала ($\nabla_{\text{ДКОК}}$), выходного портала ($\nabla_{\text{ДНП}}$), входного портала ($\nabla_{\text{ДВП}}$), начального сечения подводящего канала ($\nabla_{\text{ДНПК}}$), отметок уровня воды верхнего бьефа при пропуске по строительному водосбросу расчетного строительного расхода ($\nabla_{\text{УВБ}}$) и гребня верховой перемычки ($\nabla_{\text{ГВП}}$).

Отметку дна концевой сечения строительного водосброса следует назначать из условия недопущения подпора со стороны нижнего бьефа и получения возможно наименьшей отметки уровня воды верхнего бьефа, следовательно, и возможно наименьшей отметки гребня верховой перемычки, при пропуске расчетного строительного расхода $Q_{стр}$ по зависимости

$$\nabla_{ДКОК} = \nabla_{УНБ} - \varepsilon h_{ок}, \quad (1)$$

где $\nabla_{УНБ}$ - отметка уровня воды нижнего бьефа в створе реки d-d при расчетном строительном расходе $Q_{стр}$; $h_{ок}$ - глубина воды в отводящем канале при пропуске расхода $Q_{стр}$; ε - числовой коэффициент, значение которого колеблется в пределах $0 \leq \varepsilon \leq 1$.

Имея в виду, что всегда имеет место условие $h_p \leq h_{ок}$, предлагается для определения ε пользоваться зависимостью

$$\varepsilon = (h_p - e) / h_{ок}, \quad (2)$$

где h_p - глубина воды в створе d-d реки при пропуске расхода $Q_{стр}$; e - разность отметок дна концевой сечения отводящего канала и дна русла реки в створе d-d,

$$e = \nabla_{ДКОК} - \nabla_{ДРР}. \quad (3)$$

Возможно низкая отметка гребня верховой перемычки, при прочих равных условиях, получится при $e=0$. Однако, исходя из удобства производства строительных работ, принимается $e = 0,5 \dots 1$ м.

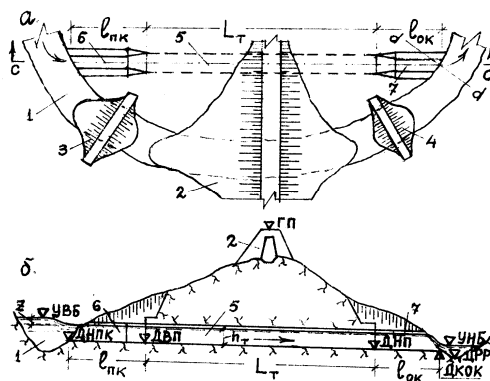


Рис. 1. Водохранилищный гидроузел со строительным водосбросом:
а - план гидроузла; б - продольный разрез по оси строительного водосброса;
1 - река; 2 - плотина; 3 и 4 - верховая и низовая перемычки; 5 - строительный туннель; 6 и 7 - подводящий и отводящий каналы

Отметка дна выходного портала туннеля определяется по зависимости

$$\nabla_{ДНП} = \nabla_{ДКОК} + i_{ок} l_{ок}. \quad (4)$$

Отметка дна входного портала будет

$$\nabla_{ДВП} = \nabla_{ДНП} + i_{т} L_{т}. \quad (5)$$

Отметка дна начального сечения подводящего канала:

$$\nabla_{\text{ДНПК}} = \nabla_{\text{ДВП}} + i_{\text{ПК}} l_{\text{ПК}} . \quad (6)$$

Отметка уровня воды верхнего бьефа при пропуске расчетного строительного расхода $Q_{\text{стр}}$:

$$\nabla_{\text{УВБ}} = \nabla_{\text{ДНПК}} + h_{\text{ПК}} + Z_{\text{ПК}}, \quad (7)$$

где $h_{\text{ПК}}$ - глубина равномерного движения воды в подводящем канале; $Z_{\text{ПК}}$ - перепад уровня воды у входа в подводящий канал.

Отметка гребня верховой перемычки:

$$\nabla_{\text{ГВП}} = \nabla_{\text{УВБ}} + a_2 , \quad (8)$$

где a_2 – строительный запас высоты гребня верховой перемычки.

Высота верховой перемычки:

$$H_{\text{ВП}} = \nabla_{\text{ГВП}} - \nabla_2 \text{ ДРР} , \quad (9)$$

где $\nabla_2 \text{ ДРР}$ – отметка дна русла реки в створе верховой перемычки.

Площадь живого сечения и гидравлический радиус живого сечения безнапорного туннеля практически любой формы поперечного сечения (круглой, корытообразной или подковообразной) в общем виде представим соответственно зависимостями

$$A_{\text{T}} = T r^2 \quad (10)$$

и

$$R_{\text{T}} = \Gamma r , \quad (11)$$

где r – внутренний радиус туннеля; T и Γ - числовые коэффициенты, значения которых зависят от формы поперечного сечения туннеля и глубины его наполнения.

Средняя скорость равномерного движения в туннеле:

$$V_{\text{д}} = Q_{\text{под}} / T r^2 . \quad (12)$$

Коэффициент Шези по Маннингу:

$$C_{\text{T}} = R_{\text{T}}^{1/6} / n_{\text{T}} = (\Gamma r)^{1/6} / n_{\text{T}} . \quad (13)$$

Уклон дна туннеля:

$$i_{\text{T}} = V_{\text{T}}^2 / C_{\text{T}}^2 R_{\text{T}} = Q_{\text{под}}^2 n_{\text{T}}^2 / E_{\text{T}} r^{16/3} , \quad (14)$$

где

$$E_{\text{T}} = T^2 \Gamma^{4/3} . \quad (15)$$

Полагая, что геометрические и гидравлические параметры подводящего и отводящего каналов одинаковы, а также принимая, что глубина воды и площадь живого сечения в канале и в туннеле при пропуске расхода $Q_{\text{стр}}$ соответственно равны, т.е.

$$h_{\text{ПК}} = h_{\text{ОК}} = h_{\text{К}} = h_{\text{T}} = h = 1,7r \quad (16)$$

и

$$A_{\text{ПК}} = A_{\text{ОК}} = A_{\text{К}} = A_{\text{T}} = A = T r^2 , \quad (17)$$

площадь живого сечения потока в канале трапецеидального поперечного сечения с учетом запишем в виде

$$(b_{\text{К}} + m_{\text{К}} h_{\text{К}}) h_{\text{К}} = T r^2 , \quad (18)$$

откуда с учетом (17) получим

$$b_{\text{К}} = (T/1,7 - 1,7 m_{\text{К}}) r . \quad (19)$$

Смоченный периметр трапецеидального канала:

$$\chi_{\text{К}} = b_{\text{К}} + 2 h_{\text{К}} \sqrt{1 + m_{\text{К}}^2} = r \left(T/1,7 - 1,7 m_{\text{К}} + 3,4 \sqrt{1 + m_{\text{К}}^2} \right) . \quad (20)$$

Гидравлический радиус живого сечения потока:

$$R_k = \frac{A_k}{\chi_k} = \frac{Tr}{T/1,7 - 1,7m_k + 3,4\sqrt{1+m_k^2}}. \quad (21)$$

Уклон дна каналов:

$$i_{ПК} = i_{ОК} = i_k = \frac{V_k^2}{C_k^2 R_k} = \frac{Q_{стр}^2 n_k^2}{E_k r^{16/3}}, \quad (22)$$

где

$$E_k = \frac{T^{10/3}}{\left(T/1,7 - 1,7m_k + 3,4\sqrt{1+m_k^2}\right)^{4/3}}. \quad (23)$$

Перепад уровня воды у входа в подводящий канал :

$$Z_{ПК} = \frac{V_{ПК}^2}{2g\varphi^2} - \frac{\alpha_0 V_0^2}{2g} = \frac{Q_{стр}^2}{Nr^4\varphi^2} - \frac{\alpha_0 V_0^2}{2g}, \quad (24)$$

где

$$N=2gT^2. \quad (25)$$

Имея в виду (10) - (24), зависимость для определения высоты верховой перемычки запишется в следующем виде:

$$H_{ВП} = M + 1,7r(1-\varepsilon) + \frac{Q_{стр}^2}{r^4} \left(\frac{B}{r^{4/3}} + \frac{1}{N\varphi^2} \right) - \frac{\alpha_0 V_0^2}{2g}, \quad (26)$$

где

$$M = \nabla УНБ - \nabla_2 ДРР + a_2, \quad (27)$$

$$B = B_K + B_T, \quad (28)$$

$$B_K = B_{ОК} + B_{ПК} = n_k^2(l_{ОК} + l_{ПК})/E_K = n_k^2 L_K / E_K, \quad (29)$$

$$B_T = n_T^2 L_T / E_T \quad (30)$$

а значения ε , E_T , E_K и N определяются соответственно по зависимостям (2), (15), (23) и (25).

Объем верховой перемычки (рис. 2) по М.В. Потапову [3] выражается следующей зависимостью:

$$W_{ВП} = l_{ср}(bH_{ВП} + m_{ср}kH_{ВП}^2), \quad (31)$$

где $l_{ср} = 0,5(l_n + L_n)$ – средняя длина верховой перемычки; l_n и L_n – соответственно длина перемычки понизу и поверху,

$$L_n = l_n + (m_1 + m_2)H_{ВП} = l_n + 2m'_{ср}H_{ВП} \quad (32)$$

и

$$l_{ср} = l_n + m'_{ср}H_{ВП}, \quad (33)$$

$m'_{ср} = 0,5(m_1 + m_2)$ – средний коэффициент заложения откосов русла в створе верховой перемычки; b – ширина гребня перемычки; $m_{ср} = 0,5(m_B + m_H)$ – средний коэффициент заложения откосов

верховой перемычки; k - коэффициент формы русла реки в створе верхней перемычки ($k=f(l_n/L_n)$), значения которого, согласно [3], приведены в табл. 1.

l_0 / L_0	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
k	0,67	0,73	0,78	0,82	0,86	0,89	0,92	0,94	0,96	0,98	1

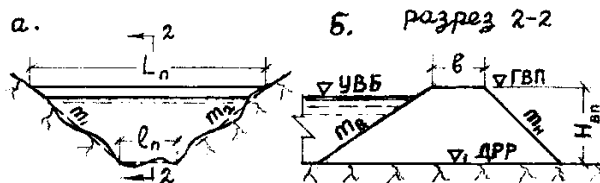


Рис. 2. Схематические поперечные сечения русла реки в створе верхней перемычки (а) и самой перемычки (б)

Подставляя выражение l_{cp} из (33) в (31), получим

$$W_{ВП} = l_n b H_{ВП} + (l_n m_{cp} k + b m'_{cp}) H_{ВП}^2 + m_{cp} m'_{cp} k H_{ВП}^3.$$

Объемы скальной выломки и бетонной облицовки туннеля практически любой формы поперечного сечения можно представить соответственно следующими зависимостями:

$$W_{TC} = \pi_T (r + \delta)^2 L_T \quad (35)$$

и

$$W_{T6} = \pi_T [(r + \delta)^2 - r^2] L_T = \pi_T (2r\delta + \delta^2) L_T,$$

где π_T - коэффициент площади любой формы поперечного сечения туннеля (значения π_T приведены в табл.2); δ - средняя толщина бетонной облицовки туннеля.

Выражения для определения стоимости верхней перемычки и туннеля, согласно (34), (35) и (36), соответственно будут

$$\begin{aligned} K_{ВП} &= C_{ВП} W_{ВП} = \\ &= C_{ВП} [l_n b H_{ВП} + (l_n m_{cp} k + b m'_{cp}) H_{ВП}^2 + m_{cp} m'_{cp} k H_{ВП}^3] \end{aligned} \quad (37)$$

и

$$K_T = C_{TC} W_{TC} + C_{T6} W_{T6} = \pi_T L_T [C_{TC} (r + \delta)^2 + C_{T6} (2r\delta + \delta^2)], \quad (38)$$

где $C_{ВП}$, C_{TC} и C_{T6} - средняя стоимость единицы объема соответственно верхней перемычки, скальной выломки и бетонной облицовки туннеля.

Для определения стоимостей подводящего и отводящего каналов исходим из того, что стоимость одного погонного метра готового канала в местах их примыкания к входному и выходному порталам туннеля равна стоимости одного погонного метра готового туннеля, а в начале

подводящего и в конце отводящего каналов она сравнительно меньше и составляет некоторую ее часть ($\alpha_{ПК} < 1$ и $\alpha_{ОК} < 1$).

Суммарная стоимость подводящего и отводящего каналов, когда стоимость одного погонного метра готового канала от начала подводящего и конца отводящего каналов до соответствующих порталов туннеля меняется равномерно вдоль пути, может быть выражена зависимостью

$$K_K = 0,5[(\alpha_{ПК} + 1)l_{ПК} + (1 + \alpha_{ОК})l_{ОК}]K_T / L_T. \quad (39)$$

Значения $\alpha_{ПК}$ и $\alpha_{ОК}$ в каждом конкретном случае следует определять в зависимости от топографических и геологических условий трассы каналов. В случае, когда $\alpha_{ПК} = \alpha_{ОК} = \alpha_K$, зависимость (39) примет вид

$$K_K = 0,5(1 + \alpha_K)K_T L_K / L_T.$$

Суммарная стоимость строительного водосброса определяется из выражения

$$K_{CB} = K_T + K_K = K_T [1 + 0,5(1 + \alpha_K)L_K / L_T]. \quad (41)$$

С учетом (38) зависимость (41) примет следующий вид:

$$K_{CB} = \pi_T [C_{TC}(r + \delta)^2 + C_{T6}(2r\delta + \delta^2)] [L_T + 0,5(1 + \alpha_K)L_K]. \quad (42)$$

Таким образом, суммарная стоимость верховой перемычки и строительного водосброса, согласно (37) и (42), будет

$$\begin{aligned} K &= K_{ВП} + K_{CB} = \\ &= C_{ВП} [l_n b H_{ВП} + (l_n m_{CP} k + b m'_{CP}) H_{ВП}^2 + m_{CP} m'_{CP} k H_{ВП}^3] + \\ &+ \pi_T [C_{TC}(r + \delta)^2 + C_{T6}(2r\delta + \delta^2)] [L_T + 0,5(1 + \alpha_K)L_K]. \end{aligned} \quad (43)$$

Выражение для определения оптимального значения внутреннего радиуса r поперечного сечения безнапорного туннеля, которому соответствует минимум функций $K=f(r)$, при выбранной возможно наименьшей длине строительного водосброса (отдавая предпочтение варианту, при котором, при прочих равных условиях, длина туннеля поменьше), находим из условия $dK/dr = 0$. Откуда с учетом зависимостей (26), (25), (28), (29) и (30) после простых преобразований получим критериальное уравнение для определения оптимального значения внутреннего радиуса r строительного туннеля:

$$\begin{aligned} &\frac{\pi_T}{2} \left[\frac{C_{TC}}{C_{ВП}} \left(1 + \frac{\delta}{r} \right) + \frac{C_{T6}}{C_{ВП}} \frac{\delta}{r} \right] \left[\frac{L_T + 0,5(1 + \alpha_K)L_K}{l_n} \right] = \\ &= \left\{ \frac{Q_{стр}^2}{r^6} \left[\frac{4}{3r^{4/3}} \left(\frac{n_K^2 L_K}{E_K} + \frac{n_T^2 L_T}{E_T} \right) + \frac{1}{2gT^2 \varphi^2} \right] - \frac{1,7(1 - \varepsilon)}{4r} \right\} \times \\ &\times \left\{ b + \left[2 \left(m_{CP} k + m'_{CP} \frac{b}{l_n} \right) + 3 \frac{m_{CP} m'_{CP} k}{l_n} H_{ВП} \right] H_{ВП} \right\}. \end{aligned} \quad (44)$$

Уравнение (44) представлено в безразмерных величинах, что обеспечивает результатам общность в широком диапазоне значений параметров.

Числовые значения коэффициентов T , Γ , E_T , N и π_T для безнапорного туннеля различных форм поперечного сечения, при глубине равномерного движения воды в нем $h_T=1,7r$, приведены в табл. 2.

Таблица 2

Поперечное сечение туннеля		T	Γ	E_T	N	π_T
Круглое		2,846	0,607	4,159	158,928	3,142
Корыто-образное	без плавного сопряжения	3,275	0,590	5,310	210,475	3,571
	с плавным сопряжением	3,249	0,609	5,445	207,045	3,544
Подковообразное	$\rho=2r$	без плавного сопряжения	3,022	0,611	4,737	179,156
		с плавным сопряжением	3,019	0,613	4,749	178,824
	$\rho=3r$	без плавного сопряжения	3,093	0,608	4,931	187,710
		с плавным сопряжением	3,086	0,613	4,962	186,898

Числовые значения коэффициента E_K для подводящего и отводящего каналов прямоугольного и трапецидального поперечного сечения, при совместной их работе с безнапорными туннелями различных форм поперечного сечения, подсчитанные по (23), приведены в табл.3. Значение m_K трапецидального канала, при котором R_K и E_K , при прочих равных условиях, приобретают максимальное, а B_K , B и $H_{вп}$ - минимальное значение, определено из зависимости (21) при условии $dR_K/dm_K = 0$. В результате получено $m_K \approx 0,577$, т.е. $\theta = \arccotg m_K = 60^\circ$. В табл. 3 приведены также оптимальные значения E_K , соответствующие $m_K \approx 0,577$.

Уравнение (44) решается графо-аналитическим способом в следующей последовательности: при выбранной трассе строительного водосброса, форме поперечного сечения туннеля, подводящего и отводящего каналов, а также заданных и выбранных значениях $Q_{стр}$, $V_{УНБ}$, $V_1ДРР$, $V_2ДРР$, $l_{ПК}$, $l_{ОК}$, L_T , e , π_K , π_T , δ , a_2 , b , l_n , m_1 , m_2 , m_B , m_H , φ , α_0 , v_0 , $C_{вп}$, $C_{ТС}$, $C_{тб}$ следует определить (k , m_{CP} , m'_{CP} , m_K , T , Γ , E_T , E_K , N , π_T , B , M и, задаваясь различными значениями внутреннего радиуса r поперечного сечения туннеля, вычислить h_T , ε , $H_{вп}$, L_n и $k=f(l_n/L_n)$.

Таблица 3

Поперечное сечение туннеля		Коэффициент E_k для каналов					
		прямо-угольн. сечения	трапецеидального сечения				
			при коэффициенте заложения откосов m_k				
		0	0,1	0,2	0,3	0,4	
Круглое		3,747	3,903	4,033	4,133	4,202	
Корытообразное	без плавн. сопряж.	5,608	5,831	6,015	6,157	6,254	
	с плавн. сопряж.	5,476	5,694	5,875	6,014	6,109	
Подковообразное	$\rho = 2r$	без плавн. сопряж.	4,454	4,636	4,787	4,904	4,983
		с плавн. сопряж.	4,433	4,614	4,765	4,881	4,960
	$\rho = 3r$	без плавн. сопряж.	4,775	4,969	5,129	5,253	5,337
		с плавн. сопряж.	4,735	4,927	5,087	5,209	5,293

Продолжение табл. 3

Поперечное сечение туннеля		прямо-угольн. сечения	Коэффициент E_k для каналов трапецеидального сечения						
			при коэффициенте заложения откосов m_k						
		0,5	0,577	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	
		Круглое		4,239	4,248	4,246	4,228	4,187	4,128
Корытообразное		без плавн. сопряж.	6,307	6,319	6,317	6,291	6,234	6,150	6,046
		с плавн. сопряж.	6,161	6,175	6,170	6,146	6,089	6,007	5,905
Подковообразное	$\rho = 2r$	без плавн. сопряж.	5,026	5,036	5,035	5,014	4,966	4,898	4,812
		с плавн. сопряж.	5,013	5,022	5,021	4,990	4,943	4,875	4,790
	$\rho = 3r$	без плавн. сопряж.	5,369	5,379	5,378	5,370	5,319	5,246	5,156
		с плавн. сопряж.	5,336	5,346	5,345	5,325	5,275	5,203	5,113

Определив значения левой $[f_1(r)]$ и правой $[f_2(r)]$ частей уравнения (44) при различных значениях r , необходимо построить кривые $y_1 = f_1(r)$ и $y_2 = f_2(r)$, абсцисса точки пересечения которых и будет искомым значением r (рис. 3).

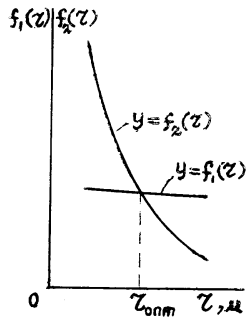


Рис. 3. Определение оптимального значения внутреннего радиуса туннеля

Найденное значение r следует округлить, после чего с помощью вышеприведенных зависимостей определить все необходимые гидравлические и геометрические параметры сооружений строительного водосброса и верховой перемычки.

С гидравлической точки зрения, наиболее оптимальная глубина жидкости в безнапорном туннеле практически любой формы поперечного сечения при равномерном движении воды с расчетным строительным расходом $Q_{стр}$, согласно нашим подсчетам, находится в пределах $h_T = (1,62...1,88)r$, т.е. между значениями, которым соответствуют наибольшая средняя скорость движения жидкости и наибольшая пропускная способность туннеля. Причем при выбранной глубине потока необходимо соблюдать условие, исключающее захлебывание туннеля:

$$2r - h_T \geq 0,4 \text{ м.} \quad (45)$$

В случае $r \geq 4/3 \text{ м}$ условие (45) соблюдается для туннелей практически любой формы поперечного сечения при глубине равномерного движения воды $h_T \geq 1,7r$.

Если в результате решения критериального уравнения (44) получается $r < r_{min}$, где r_{min} — минимальный внутренний радиус поперечного сечения туннеля, назначаемый согласно строительным нормам [4] (для облицованного туннеля $r_{min} = 1 \text{ м}$, а для необлицованного — $r_{min} = 1,25 \text{ м}$), то вопрос выбора оптимального варианта в вышеуказанной постановке теряет смысл. В подобных случаях, исходя из условия обеспечения минимальной возможности для производства работ по механизированной проходке туннеля, следует принимать $r = r_{min}$ и, с целью выбора рационального варианта, стремиться получить возможно низкую отметку гребня верховой перемычки. Очевидно, что при пропуске расчетного строительного расхода воды $Q_{стр}$ по туннелю с внутренним радиусом $r = r_{min}$ этого можно достичь в случае равномерного движения воды с максимальной глубиной h_T , исключающей захлебывание туннеля. Искомую глубину воды следует определять по уравнению

$$2r_{min} - h_T = 0,4 \text{ м.} \quad (46)$$

Следовательно, в таких случаях для определения гидравлических и геометрических параметров строительного туннеля, подводящего и

отводящего каналов и верховой перемычки следует пользоваться вышеприведенными зависимостями, подставляя в них $\gamma = \gamma_{\min}$.

В практике проектирования водохранилищных гидроузлов, в зависимости от топографических условий трассы строительного водосброса, могут встречаться частные случаи рассматриваемой задачи, когда отпадает необходимость либо подводящего, либо отводящего, либо обоих каналов. В указанных случаях следует в вышеприведенных зависимостях подставить соответственно $l_{\text{ПК}}=0$, $l_{\text{ОК}}=0$, $L_K = l_{\text{ПК}} + l_{\text{ОК}}=0$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Хачатрян Р.М.** К вопросу выбора оптимального варианта строительного водосброса // Сб. науч. тр. АрмСХИ.- Ереван, 1977.- Вып. XXIX. Мелиорация и орошаемое земледелие. - С.124 - 134.
2. **Хачатрян Р.М.** Об одном случае расчета параметров оптимального варианта строительного водосброса // Межвуз. сб. науч. тр. Сер. XII. Строительство и архитектура / ЕрПИ.- 1978.- Вып.5. - С. 209-218.
3. **Иванов А.Н., Неговская Т.А.** Гидрология и регулирование стока. - М.: Колос, 1970.- 287 с.
4. Руководство по проектированию гидротехнических туннелей. - М., 1982.- 298 с.

ЕрГУАС . Материал поступил в редакцию 02.08.2000 .

Ռ.Մ. ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ

ՇԻՆԱՐԱՐԱԿԱՆ ՋՐՀԵՌ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔՆԵՐԻ ԼԱՎԱԳՈՒՅՆ ՏԱՐԲԵՐԱԿԻ ՊԱՐԱՄԵՏՐԵՐԻ ՈՐՈՇՈՒՄԸ

Ելնելով վերին անջրպետի և գործնականորեն կամայական ձևի լայնական կտրվածքով անճնշումային թունելից և նրան հարող մոտեցնող ու հեռացնող ջրանցքներից բաղկացած շինարարական ջրհեռի գումարային արժեքի նվազագույնից, ստացված է թունելի ներքին r շառավղի օպտիմալ արժեքը որոշելու չափանշային հավասարում, որով պայմանավորված են համակարգի բոլոր կառուցվածքների երկրաչափական և հիդրավլիկական օպտիմալ պարամետրերը:

R.M. KHACHATRYAN

OPTIMAL VERSION PARAMETER DETERMINATION OF THE TEMPORARY DIVERSION SPILLWAY CONSTRUCTIONS

Based on the minimum total cost of upstream cofferdam and temporary diversion spillway consisting of non-pressure tunnel and adjoining headrace and tailrace channels with practically any forms of cross-sections, a criterial equation is developed for optimum value determination of inside radius r . All optimal geometrical and hydraulic parameters of the tunnel, headrace and tailrace channels, and upstream cofferdam are conditioned by inside radius value of r .

Р.М. МИРЗАХАНИЯН, А.А. ГОЛЬЗАДЯН, А.Х. ВАГАНЯН

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ФИЛЬТРОВАНИЯ ПРИ РАЗДЕЛЕНИИ СУСПЕНЗИИ КАОЛИНИТ-РАСТВОР СОЛЯНОЙ КИСЛОТЫ

Изучен процесс фильтрования суспензии, полученной после кислотной обработки гематит-каолининовой руды. Опытным путем определены параметры фильтрования, необходимые для расчета и проектирования промышленных фильтров различных конструкций.

Ключевые слова: фильтрование, гематит-каолининовая руда, суспензия, сопротивление, перепад давления.

При предложенном способе промышленной переработки [1, 3] гематит-каолининовой руды Урцского месторождения образуется суспензия, состоящая из ~23% твердых частиц и 77% жидкости. Основной составляющей твердой фазы является каолин (~ 85 %). Жидкая фаза представляет собой разбавленную соляную кислоту с некоторым содержанием хлоридов железа и алюминия. Разделение этой суспензии на твердую и жидкую фазу целесообразно проводить фильтрованием. Для расчета и проектирования промышленных фильтров необходимо экспериментально определить постоянные в уравнениях фильтрования, а именно, отношение объема осадка к объему фильтрата X_0 , удельное объемное сопротивление осадка r_0 , m^{-2} и сопротивление фильтровальной перегородки R_Φ , m^{-1} .

Основное дифференциальное уравнение фильтрования представляется в виде [2]

$$W = \frac{dV}{Sd\tau} = \frac{\Delta P}{\mu(r_0 X_0 (V/S) + R_\Phi)}, \quad (1)$$

или с учетом

$$X_0 = h_0 S / V \quad (2)$$

получим

$$W = \Delta P / \mu(r_0 h_0 + R_\Phi), \quad (3)$$

где W – скорость фильтрования, m/c ; V – объем фильтрата, m^3 ; S – поверхность фильтрования, m^2 ; τ – продолжительность фильтрования, c ; ΔP – разность давлений, $Па$; μ – вязкость жидкой фазы суспензии, $Па\cdot c$; h_0 – высота слоя осадка, m .

При постоянной разности давлений ΔP и неизменной температуре для данной суспензии и выбранной фильтровальной перегородки все величины, входящие в (1), кроме V и τ , постоянны. Интегрируя (1) в пределах от 0 до V и от 0 до τ и проведя некоторые преобразования, получим

$$V^2 + 2 \frac{R_\Phi S}{r_0 X_0} V = 2 \frac{\Delta P S^2}{\mu r_0 X_0} \tau. \quad (4)$$

Преобразуем это уравнение к виду

$$\tau / V = MV + N, \quad (5)$$

где

$$M = \mu r_0 X_0 / 2 \Delta P S^2, \quad (6)$$

$$N = \mu R_\Phi / \Delta P S. \quad (7)$$

В условиях постоянности величин, входящих в правые части равенств (6) и (7), значения M и N также постоянны, при этом (5) является уравнением прямой линии, наклоненной к горизонтальной оси под углом, тангенс которого равен M , и отсекающей на оси ординат отрезок N . Для построения указанной прямой в координатах V - τ/V необходимо найти ряд точек на основании измеренных в опытах значений V и τ/V (рис. 1), затем по графику определить величины M и N , после чего из (6) и (7) вычислить r_0 и R_Φ . Величина X_0 определяется в результате непосредственного измерения объемов осадка $V_0 = h_0 S$ и фильтрата по (2).

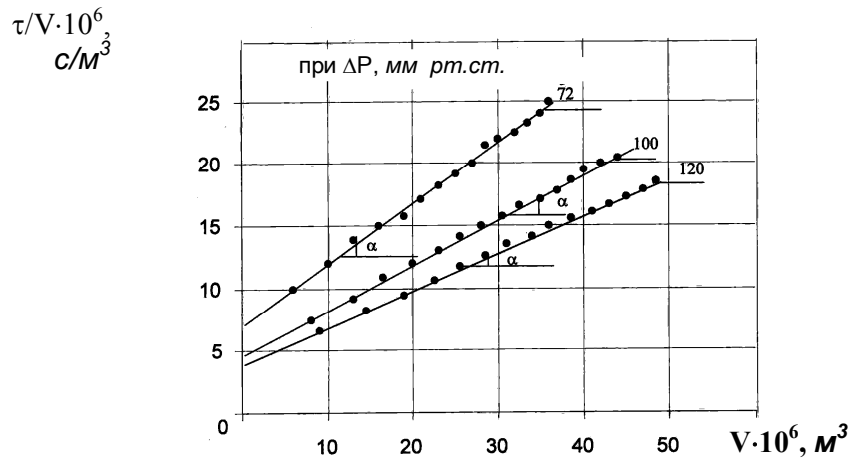


Рис. 1. К определению r_0 и R_Φ

Опыты проводились на лабораторной установке (рис.2). Суспензия помещается в цилиндрической части воронки Бюхнера 1 диаметром 10 см.

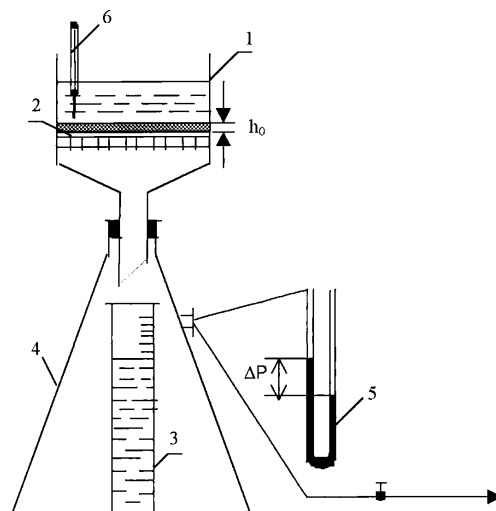


Рис. 2. Схема лабораторной установки

Фильтрат собирается в мензурке 3, находящейся в сосуде 4. Между сосудами 1 и 4 создается разность давлений при помощи водоструйного вакуум-насоса, которая измеряется манометром 5. В качестве фильтровальной перегородки применялась фильтровальная бумага. Температура суспензии измеряется термометром 6.

Проводились три серии опытов при постоянных значениях перепада давления $\Delta P = 72, 100$ и 120 мм рт.ст. При постоянном значении (P через определенные промежутки времени измеряется объем полученного фильтрата V . В конце данной серии опытов измеряется высота слоя осадка на фильтре: $h_0 = 5, 2, 6, 3$ и 7 мм соответственно при ($P = 72, 100$ и 120 мм рт.ст. (табл.). Температура суспензии $t = 60$ °C ($\mu = 1,82$ мПа·с).

На основании опытных данных построены зависимости τ/V от V при постоянных значениях перепада давления ΔP (рис.1). Как видно, значения N определяются для соответствующих ΔP : $6,7 \cdot 10^6$; $4,79 \cdot 10^6$; $4,00 \cdot 10^6$ с/м³.

Значения сопротивлений фильтровальной перегородки определяются на основании (7). При $\Delta P = 72$ мм рт.ст. имеем

$$R_{\Phi} = N \Delta P S / \mu = 2,7735 \cdot 10^{11} \text{ м}^{-1}.$$

При $\Delta P = 100$ мм рт.ст. - $R_{\Phi} = 2,7540 \cdot 10^{11} \text{ м}^{-1}$, при $\Delta P = 120$ мм рт.ст. - $R_{\Phi} = 2,7598 \cdot 10^{11} \text{ м}^{-1}$. Среднее значение равно $R_{\Phi} = 2,7624 \cdot 10^{11} \text{ м}^{-1}$. Описанным способом можно найти сопротивление перегородки из других материалов. Величины X_0 определяются по (2). При $\Delta P = 72$ мм рт.ст. - $X_0 = 0,134$, при $\Delta P = 100$ мм рт.ст. - $X_0 = 1,124$, при $\Delta P = 120$ мм рт.ст. - $X_0 = 1,133$. Среднее значение $X_0 = 1,130$, где V – объем полученного фильтра в конце каждой серии опытов (табл.)

Таблица
Результаты опытов фильтрования

№ опыта	τ, c	$\Delta P=72 \text{ мм рт.ст.}$		$\Delta P=100 \text{ м рт.ст.}$		$\Delta P=120 \text{ мм рт.ст.}$	
		$v \cdot 10^6, \text{ м}^3$	$\tau/\varpi \cdot 10^{-6}, \text{ с/м}^3$	$v \cdot 10^6, \text{ м}^3$	$\tau/\varpi \cdot 10^{-6}, \text{ с/м}^3$	$v \cdot 10^6, \text{ м}^3$	$\tau/\varpi \cdot 10^{-6}, \text{ с/м}^3$
1	60	6	10	8	7,5	9	6,67
2	120	10	12	13	9,23	14,5	8,28
3	180	13	13,85	16,5	10,91	19	9,47
4	240	16	15	20	12	22,5	10,67
5	300	19	15,79	23	13,04	25,5	11,76
6	360	21	17,14	25,5	14,12	28,5	12,63
7	420	23	18,26	28	15	31	13,55
8	480	25	19,2	30,5	15,73	34	14,12
9	540	27	20	32,5	16,61	36	15
10	600	28,5	21,05	35	17,16	38,5	15,58
11	660	30	22	37	17,84	41	16,1
12	720	32	22,5	38,5	18,70	43	16,74
13	780	33,5	23,28	40	19,5	45	17,33
14	840	35	24	42	20	47	17,87
15	900	36	25	44	20,45	48,5	18,56

По рис. 1 определяются значения $M=\operatorname{tg} \alpha$, а затем r_0 на основе (6).

При $\Delta P=72 \text{ мм рт.ст.}$, $M=0,5 \cdot 10^{12} \text{ с/м}^6$ имеем

$$r_0 = \frac{2M \cdot \Delta P S^2}{\mu X_0} = 0,2876 \cdot 10^{15} \text{ м}^2.$$

При $\Delta P=100 \text{ мм рт.ст.}$, $M=0,36 \cdot 10^{12} \text{ с/м}^6$ - $r_0 = 0,2877 \cdot 10^{15} \text{ м}^2$, при $\Delta P=120 \text{ мм рт.ст.}$, $M=0,3 \cdot 10^{12} \text{ с/м}^6$ - $r_0 = 0,2876 \cdot 10^{15} \text{ м}^2$. Среднее значение $r_0 = 0,2876 \cdot 10^{15} \text{ м}^2$.

Воспроизводимость опытных и расчетных данных указывает на точность теоретических соображений.

Проводилось промывание образующегося на фильтровальной перегородке слоя осадка водой с температурой 20°C ($\mu = 1 \text{ мПа} \cdot \text{с}$). Опыты показали, что при $\Delta P=100 \text{ мм рт.ст.}$ через слой осадка высотой $h_0 = 5,0 \text{ мм}$ и через фильтровальную перегородку проходит $1,05 \text{ мл/с}$ промывающей воды. Это означает, что скорость фильтрации составляет

$$W = 1,05 \cdot 10^{-6} / (0,785 \cdot 0,1^2) = 1,338 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{м} \cdot \text{с}.$$

Расчетное значение скорости фильтрации определяется по (3):

$$W = 1,333 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с}.$$

Совпадение опытных и расчетных данных показывает, что, имея значения R_0 и r_0 , можно по (1) точно определить скорость фильтрации при любых других значениях высоты осадка h_0 и перепада давления ΔP .

Найденные параметры фильтрования применяются при расчете и выборе барабанных вакуум-фильтров промышленного назначения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

11. **Гюльзадян А.А., Мирзаханян Р.М.** Оптимальные условия химической переработки гематит- каолининовой руды // Хим. ж. Армении НАН РА. - 1999. – Т.52, ¹ 4. – С. 69-73.
12. **Жужиков В.А.** Фильтрация. – М.: Химия, 1968. – 410 с.
13. **Мирзаханян Р.М., Гюльзадян А.А., Ваганян А.Х.** Кислотная обработка гематит-каолининовой руды в вертикальном аппарате переменного сечения // ЖПХ Армении. – 1999. - ¹ 1-2. – С. 18-23.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 20.04.2000.

Ռ.Մ. ՄԻՐԶԱԽԱՆՅԱՆ, Ա.Ա. ԳՅՈՒԼԶԱԴՅԱՆ, Ա.Խ. ՎԱԶՆՅԱՆ

ԿԱՈՒԼԻՏ-ԱՂԱԹՎԻ ԼՈՒՇՈՒՅԹ ԿԱԽՈՒՅԹԻ ՖԻԼՏՐՄԱՆ ՊԱՐԱՄԵՏՐԵՐԻ ՈՐՈՇՈՒՄԸ

Ուսումնասիրվել է հեմատիտ-կաոլինիտային հանքանյութի թթվային մշակումից հետո ստացված կախույթի ֆիլտրման գործընթացը: Փորձականորեն որոշվել են ֆիլտրման հաստատունները, որոնք անհրաժեշտ են տարբեր կառուցվածքների արտադրական ֆիլտրեր հաշվելու և նախագծելու համար:

R.M. MIRZAKHANYAN, A.A. GYULZADYAN, A.Kh. VAGANYAN

FILTRATION DETERMINATION IN SUSPENSION DISTRIBUTION OF KAOLINITE-HYDROCHLORIC ACID SOLUTION

The filtration process of suspension obtained after acid treatment of the hematite-kaolinite ores is investigated. The filtration parameters necessary for calculation and design of industrial filters with different construction types are experimentally defined.

ԿԱՐԱՊԵՏ ԾԵՐՈՒՆԻ ԹԱՀՄԱԶՅԱՆ

ԾՆՆԴՅԱՆ 70 - ԱՄՅԱԿԻ ԱՌԹԻՎ

Քիմիական գիտությունների դոկտոր, պրոֆեսոր Կարապետ Ծերունի Թահմազյանը ծնվել է 1931 թվականի հունիսի 22-ին, Սիրիայի Հալեպ քաղաքում:



Նախամիջնակարգ կրթությունը և միջնակարգ կրթության մի մասն ստացել է Հալեպի հայկական դպրոց-վարժարանում: 1946 թվականին Թահմազյանների ընտանիքը տեղափոխվում է Խորհրդային Հայաստան: Գերազանցությամբ ավարտելով Լենինականի թիվ 51 դպրոցը, նա 1950 թ. ընդունվում է Երևանի Պոլիտեխնիկական ինստիտուտի քիմիկա-տեխնոլոգիական ֆակուլտետը:

Օտար լեզուների տիրապետող և փայլուն ունակություններով օժտված երիտասարդը սկսեց ազահությամբ յուրացնել քիմիայի բարձունքները: Հերթական ուսումնական հաստատությունը ևս ավարտելով գերազանցությամբ, երիտասարդ մասնագետը մեկնում է աշխատելու Սումգայիթ:

60-ական թվականների սկզբից տեղափոխվելով Երևան, Կ.Թահմազյանն աշխատանքի է անցնում «Պոլիպլաստ» գործարանում, այնուհետև ընդունվում է Մոսկվայի Էլեմենտօրգանական քիմիայի ինստիտուտի ասպիրանտուրան: Սոցիալական դժվարությունները նրան ստիպում են վերադառնալ Երևան և ասպիրանտական կրթությունը շարունակել ՀՀ ԳԱԱ Օրգանական քիմիայի ինստիտուտում: Այստեղ նա իր գիտական ստեղծագործ կյանքը կապում է ակադեմիկոս Արաքսի Բաբայանի հետ՝ դառնալով վերջինիս ստեղծած՝ ամինների և ամինամիացությունների դպրոցի փայլուն ներկայացուցիչը: Տասներկուամյա գիտական լարված աշխատանքի արդյունքը դառնում է Կ. Թահմազյանի՝ քիմիական գիտությունների դոկտորի կոչումը:

Ակադեմիական ինստիտուտում աշխատելու տարիների ամենամեծ ձեռքբերումը դարձան Ա.Բաբայանի և Կ.Թահմազյանի հայտնաբերած «չորրորդային ամոնիումային աղերի ներմուկելույար ցիկլման-ճեղքման և ներմուկելույար թերմիկ դիենային սինթեզի ռեակցիաները»: Նախ հայտնաբերվեց կատալիտիկ հիմքի առկայությամբ ներմուկելույար դիենային սինթեզի հնարավորությունը, այնուհետև մեխանիզմը ճշտելու ճանապարհին՝

ներմուլեկույար ջերմային ցիկլման ռեակցիան: Աշխատանքները կատարվում էին ժամանակի ֆիզիկաքիմիական չափումների կատարյալ մակարդակով, հարստացվում կինետիկական ուսումնասիրություններով, քվանտա-քիմիական հաշվարկներով: Այն շատ շուտով ճանաչվեց աշխարհի քիմիկոսների կողմից՝ մտնելով զանազան գիտական և ուսումնական ձեռնարկներ:

1974-ից Կարապետ Ծերունի Թահմազյանը կրկին Երևանի Պոլիտեխնիկական ինստիտուտում է՝ ամբիոնի պրոֆեսորից դառնալով ֆակուլտետի դեկան, իսկ ներկայումս՝ ՀՊՀՀ քիմիական տեխնոլոգիաների և բնապահպանական ճարտարագիտության դեպարտամենտի վարիչ: Ուսումնական համակարգի այդ դժվարին, բայց պատվավոր պաշտոնում նա աշխատում է արդեն 12 տարի՝ զուգակցելով օրգանական սինթեզի և տեխնոլոգիայի ամբիոնի (ներկայումս՝ քիմիական տեխնոլոգիայի և բնապահպանական ճարտարագիտության սեկտոր) վարիչի պարտականությունների հետ:

ՀՊՀՀ-ում աշխատելու տարիներին նա համարձակորեն փոխեց գիտահետազոտական աշխատանքների ուղղությունը՝ այն հարմարեցնելով արդի պահանջներին: Այդ շրջանում նրա ղեկավարած խումբը հաջողությամբ կատարում էր թթվային կոռոզիայի ինհիբիտորների սինթեզի, դրանք գործնականում կիրառելու աշխատանքներ: Նույն տարիներին (շուրջ 11 տարի) Թահմազյանը հաջողությամբ ղեկավարել է ՀՀ Մինիստրների խորհրդին կից ստեղծված հակակոռոզիոն խորհրդի աշխատանքները: Թահմազյանի խմբի կողմից ստեղծված ինհիբիտորները լայնորեն կիրառվել են խորհրդային Միության երկրի նավթա- և գազարտահանման հորատահանքերում, «Սոյուզգազի» ձեռնարկություններում:

Անկախության տարիներին Թահմազյանը լծվեց բնապահպանական ճարտարագիտության խնդիրների լուծմանը: Այդ շրջանում զարգացվեցին հոսքաջրերից նավթանյութերի, ներկանյութերի, ծանր մետաղների կատիոնների կորզման և մաքրման աշխատանքները: Այն դարձել է դեպարտամենտի գիտահետազոտական աշխատանքների հիմնական ուղղությունը:

Աշխատանքային գործունեության ընթացքում Կ. Թահմազյանն ստեղծել է իր գիտական դպրոցը՝ այն համալրելով մեկ տասնյակից ավելի գիտության թեկնածուներով: Այսօր էլ նա երիտասարդական ներշնչանքով շարունակում է ղեկավարել դեպարտամենտը: Ավելին՝ Թահմազյանի անմիջական մասնակցությամբ ստեղծվել է ՀՀ ԲՈՀ-ի քիմիական և բնագիտական ճարտարագիտությունների գծով գիտական կոչումներ շնորհող հանձնաժողով (որի նախագահի տեղակալն է): Այստեղ պաշտպանած երեք թեզերից երկուսի գիտական ղեկավարը Կ. Թահմազյանն է:

Կ. Թահմազյանը հեղինակ է 200-ից ավելի գիտական աշխատանքների, մոտ 5 տասնյակ հեղինակային իրավունքների: Նրա ղեկավարությամբ պաշտպանվել են դոկտորական, թեկնածուական և մագիստրական բազմաթիվ թեզեր: Թահմազյանը գիտամանկավարժական գործուղումների է մեկնել ԱՄՆ, Մեծ Բրիտանիա, Կուբա, Հունաստան և մի շարք այլ երկրներ:

«Տեղեկագրի» խմբագրական խորհուրդը, ՀՊՀՀ ղեկավարությունը, Կ.Թահմազյանի բազմաթիվ աշակերտներն ու ընկերները շնորհավորում են նրան ծննդյան 70-ամյակի առթիվ, մաղթում քաջառողջություն, կենսական և ստեղծագործական վերելքի նոր տարիներ:



INTAS

*Calls 2001 for proposals for
joint research projects and
networks*

**Total budget: up to
18.5 MEuro**

INTAS launches its Open Call 2001 and 2 new Thematic Calls

Geographic scope

INTAS Members: Austria, Belgium, Bulgaria, Republic of Cyprus, Czech Republic, Denmark, Estonia, Finland, France, Germany, Greece, Hungary, Iceland, Ireland, Israel, Italy, Latvia, Lithuania, Luxembourg, The Netherlands, Norway, Portugal, Romania, Slovak Republic, Slovenia, Spain, Sweden, Switzerland, the United Kingdom and the European Community.

If Poland joins INTAS before the close of the calls for proposals, organisations from these countries will also be eligible. In such case, a separate announcement will be made by INTAS.

NIS partner countries: Armenia, Azerbaijan, Belarus, Georgia, Kazakhstan, Kyrgyzstan, Moldova, Russia, Tajikistan, Turkmenistan, Ukraine and Uzbekistan.

Scientific scope

INTAS Open Call 2001 – indicative budget: 15 MEuro

Joint research projects and networks related to condensed matter, plasma, radio and material physics, optics and quantum electronics, life sciences (general & molecular biology, microbiology and cytology, physiology, biochemistry & biotechnology, biophysics, genetics & medicine) and earth sciences (geology, geochemistry, geophysics, hydrology, atmospheric physics, environment and energy).

INTAS Thematic Call 2001 on Polluted Environment – indicative budget 1.75 MEuro

Joint research projects covering different aspects of research and development in new approaches to clean the environment and prevent pollution.

INTAS Thematic Call 2001 on Nano-scale Materials and Structure– indicative budget 1.75 MEuro

Joint research projects dedicated to nano-scale materials & structures, nano-biology, nano-physics/biology interface, and technology assessment, socio-economic & ethical implications of nano-technology.

Eligibility criteria

Special conditions apply for each call but the basic criteria are:

- ☞ Meet the minimum partnership:
 - For joint research proposals: at least 2 teams from different INTAS members and 2 from different NIS organisations
 - For network research proposals: at least 3 teams from different INTAS members and 3 from different NIS organisations
- ☞ Have a duration of between 24 and 36 months
- ☞ Be within the scope of the relevant call and have a significant novel research content
- ☞ Meet the deadline
- ☞ respect the submission procedure and the maximum grants

Deadline for receipt

28 September 2001 at 12H00 CET (Central European Time)

Information packages

Available on <http://www.intas.be> or upon written request from:
INTAS, Avenue des Arts 58/8, B-1000 Brussels, Belgium: Fax: +32 2 549 0156;
Email: infopack2000@intas.be

Call for evaluators

As proposals are selected by peer review on the basis of scientific merit, INTAS continuously needs qualified experts to evaluate the proposals. Interested scientists should contact INTAS by:

e-mail: experts@intas.be
or fax: +32 2 549 0156

INTAS, International Association for the promotion of co-operation with scientists
from the New Independent States of the former Soviet Union
A non-profit international association - Registration no 21247/93

ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

ՍՏԱԿՅԱՆ Մ. Գ., ԴԵՄԻՐԽԱՆՅԱՆ Ա. Ռ., ՍՈՂՈՄՈՆՅԱՆ Ա.Հ.

ՄԵԽԱՆԻԿԱԿԱՆ ՓՈՐՁԱՐԿՈՒՄՆԵՐԻ ԱՐԴՅՈՒՆՔՆԵՐԻ
ՆՈՐՄԱԼ ԲԱՇԽՄԱՆ "ԶՐՈՅԱԿԱՆ" ՎԱՐԿԱԾԻ 161
ԼԱՎԱՐԿՈՒՄԸ

ԳԱՄՊԱՐՅԱՆ Ս.Հ., ՍԼԿՈՒՆԻ Հ.Լ.

ԼԱՐՈՒՄՆԵՐԻ ԲԱՇԽՄԱՆ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒՄԸ
ԵՐԹԱՎՈՐ ՄԻԱՅՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐՈՒՄ 173
ԼՈՒՍԱԱՌԱՋԳԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՄԵԹՈԴՈՎ

ՄԱՆՈՒԿՅԱՆ Ն.Վ., ՆՈՒԲԱՐԻ Մ.Մ.

ԿՈՆՍՏՐՈՒԿՑԻՈՆ ՓՈՇԵՆՅՈՒԹԵՐԻ ՍՏԱՅՄԱՆ
ԳՈՐԾՐԵԹԱՅՆԵՐԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ
2. ՊՂԻԶ ՊԱՐՈՒՆԱԿՈՂ ՓՈՇԵՊՈՂՊԱՏՆԵՐԻ 179
ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔԻ ԵՎ ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ
ԶԵՎԱՎՈՐՈՒՄԸ

ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ Հ. Ս.

ԱՍՐԱՆԱՎՈՐՎԱԾ ԿՈՄՊՈԶԻՑԻՈՆ ՆՅՈՒԹԵՐԻ
ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔԻ ԵՎ ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ 189
ԶԵՎԱՎՈՐՈՒՄ

ԿԱՐԱՊԵՏՅԱՆ Հ.Ա.

ՍԱԿԱՎԱԼԵԳԻՐՎԱԾ ՊՂՆԶԻ ՀԱՄԱԶՈՒԼՎԱԾՔՆԵՐԻ
ՇԻԿԱԲԵԿՈՒՆՈՒԹՅՈՒՆԸ 195
.....

ՄԱԼԽԱՍՅԱՆ Ա.Ա., ՀԱՄԲԱՐՁՈՒՄՅԱՆ Է.Գ.

ԵՌԱԿԱԼՎԱԾ ՀԱԿԱՇՓԱԿԱՆ ՆՅՈՒԹԵՐԻ
ՄԱՇԱԿԱՅՈՒՆՈՒԹՅԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ ՖԻԶԻԿԱԿԱՆ 199
ՄՈԴԵԼՆԵՐԻ ՎՐԱ

ԹՈՒՄՍՅԱՆ Շ.Գ., ՂԱԶԱՐՅԱՆ Ա.Ն., ԿԱՍՅԱՆ Վ.Լ.

ՄԱՄԼՄԱՄԲ - ԵՌԱԿԱԼՄԱՄԲ ԵՎ ԱՐՏԱՄՂՄԱՄԲ
ՍՏԱՅՎՈՂ ՓՈՇԵՊՈՂՊԱՏՆԵՐԻ ՀԱՄԵՄՏԱԿԱՆ 205
ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆԸ

ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ Վ. Ս., ԲԱԴԱԼՅԱՆ Ն.Պ., ԹԱՄՐԱԶՅԱՆ Մ.Գ., ՂՈՒԼՅԱՆ Ա.Գ.

ԷԼԵԿՏՐԱԷՆԵՐԳԵՏԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ
ԿԱՅՈՒՆԱՅՎԱԾ ՌԵԺԻՄԻ ՀԻԲՐԻԴԱՅԻՆ ՈՉ ԳԾԱՅԻՆ
ՀԱՆՐԱՀԱՇՎԱՀԱԿԱՆ ՀԱՎԱՍԱՐՈՒՄՆԵՐԻ
ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐԻ ԼՈՒԾՈՒՄԸ ԽԱՌԸ ՏԵՍՔԻ ԿԱՅԱՆԱՅԻՆ 210
ՀԱՆԳՈՒՅՑՆԵՐԻ ԴԵՊՔՈՒՄ
.....

ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ Վ.Գ., ՄԱՐԿՈՍՅԱՆ Գ.Ռ., ՇԱՀՎԵՐԴՅԱՆ Ս.Վ.

ԱԹՀՀՀ (հԿհհկ) ԱԽՏՈՐՈՇԻՉ ՀԱՄԱԿԱՐԳՈՒՄ
ԷՆԵՐԳԻԱՅԻ ԱՂԲՅՈՒՐԻ ՏԵՂԱՅՆԱՑՄԱՆ ՄԵԹՈԴՆԵՐ 218

.....
ԱՍՍՏՐՅԱՆ Թ.Պ., ԵՂԻԱԶԱՐՅԱՆ Լ.Վ., ՄԱՀԱԿՈՎ Վ.Ի.

ՄԻՆՉԵՎ 1000 կՎԱ ՀԶՈՐՈՒԹՅԱՆ ՈՒԺԱՅԻՆ
ՏՐԱՆՍՖՈՐՄԱՏՈՐՆԵՐԻ ՊԱՐԱՊ ԸՆԹԱՑՔԻ 223
ԿՈՐՈՒՍՏՆԵՐԻ ՉԱՓԱԳՐՄԱՆ ՄԵԹՈԴ

**ՂԱԶԱՐՅԱՆ ՅՈՒ.Հ., ԲԵԶԱՆՅԱՆ Գ.Դ., ՄԱՆՈՒԿՅԱՆ Կ.Պ.,
ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՈՎ Ս.Ռ.**

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՀԱՆՐԱՊԵՏՈՒԹՅԱՆ
ՎԱՌԵԼԻՔԱԷՆԵՐԳԵՏԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼԻՐԻ
ԳՈՐԾՈՒՆԵՈՒԹՅԱՆ ԱՐԴՅՈՒՆԱՎԵՏՈՒԹՅՈՒՆԸ 228
ԲԱՐՁՐԱՅՆԵԼՈՒ ՀԱՐՅԻ ՎԵՐԱԲԵՐՅԱԼ
.....

ՄԱՅԱՐՅԱՆ Վ.Ս.

ՏՐԱՆՍՊՈՐՏԱՅԻՆ ԽՆԴՐԻ ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ ՄՈԴԵԼԸ 235
.....

ԵՂՈՅԱՆ Ռ.Կ.

ԱՐԵԳԱԿՆԱՅԻՆ ԶՐԱՏԱՔԱՅՈՒՑԻՉ ՁԵՎԱՓՈԽԻՉՆԵՐԻ
ԶԵՐՄԱԷՆԵՐԳԵՏԻԿ ԱՐԴՅՈՒՆԱՎԵՏՈՒԹՅԱՆ
ՄՈԴԵԼԱՎՈՐՄԱՆ ՓՈՐՁՆԱԿԱՆ ՍԱՐՔ 240
.....

ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ Ս.Ս., ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ Հ.Ս.

ՈՒՂՂՄԱՆ ՀԱՄԱԿՑՎԱԾ ՍԽԵՄԱՅՈՎ
ԷԼԵԿՏՐԱՏՐԱՆՍՊՈՐՏԻ ԱԳՐԵԳԱՏԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ
ՀՈՍԱՆՔԱՍԱՀՄԱՆԱՓԱԿԻՉ 244
ՌԵԱԿՏՈՐԻ ԵՎ ՊԱՐՊԻՉ ՇՂԹԱՅԻ ԱՌԿԱՅՈՒԹՅԱՆ
ԴԵՊՔՈՒՄ

ԱՐԵՇՅԱՆ Գ.Լ.

ՈՒՆԻՎԵՐՍԱԼ ԻՆՎԵՐՍԻԱՅԻ ՄԵԹՈԴՈՎ ԿՈՆՖՈՐՄ
ԱՐՏԱՊԱՏԿԵՐՈՒՄ 250

ՄԻՄՈՆՅԱՆ Հ.Ս.

ՊԱՐԵՏՈ - ՕՊՏԻՄԱԼ ԿԱՌԱՎԱՐՄԱՆ ԴԻՆԱՄԻԿԱԿԱՆ
ՄԱԿՐՈՏՆԵՍԱԿԱՆ ՄՈԴԵԼՆԵՐ 257
.....

ԱԼԵՔՍԱՆԴՐՅԱՆ Կ.Վ., ՅԱՎՐՈՒՅԱՆ Վ.Ն., ԳԱԼՍՏՅԱՆ Ս.Ռ.	
ՃԱՆԱԶՈՂ ՕՊՏԻԿԱԿԱՆ ՄԱՆԻՊՈՒԼՅԱՏՈՐ ԾԽԱԽՈՏԻ ՏԵՐԵՎՆԵՐԻ ԿՈՂՄՆՈՐՈՇՄԱՆ ԵՎ ՏԵՐԵՎԱՇԱՐ ՄԵՔԵՆԱՅԻՆ ՄԱՏՈՒՑՄԱՆ ՀԱՄԱՐ	263
ԲՈԼԻԲԵԿՅԱՆ Լ.Ռ.	
ՆՊԱՏԱԿՆԵՐԻ ՀԻԵՐԱՐԽԻԱՅԻ ԱՆԱԼԻՏԻԿԱԿԱՆ ՈՐՈՇՄԱՆ ՄԵԹՈԴ ՍՈՂԻՖԻԿԱՅԻԱ (AHP-ՄԵԹՈԴ)	270
ՄԿՐՏՉՅԱՆ Ս.Հ., ՄԿՐՏՉՅԱՆ Ա.Ս., ԶԱՀԱՆԳԻՐՅԱՆ Վ.Է., ԼԱԶԱՐՅԱՆ Ա.Ֆ.	
ԻՆՉՊԵՍ ԿԵՆԴԱՆԱՑՆԵԼ ԳՄԻՍ-Ը	277
ՄՍՄԻԿՈՆՅԱՆ Բ. Ս., ՄՍՄԻԿՈՆՅԱՆ Խ. Բ.	
«ԼԱՐՈՒՄ-ԻՄՊՈՒԼՍՆԵՐԻ ՀԱՃԱԽՈՒԹՅՈՒՆ» ՉԱՓԻՉ ՁԵՎԱՓՈԽՉՆԵՐԻ ԿԱՌՈՒՑՄԱՆ ՄԿԶԲՈՒՆՔՆԵՐԸ	282
ԲԵՐԲԵՐՅԱՆ Գ.Վ.	
ՀԶՈՐ ՀԻԴՐՈԳԵՆԵՐԱՏՈՐՆԵՐԻ ՍՏԱՏՈՐՆԵՐԻ ՋԵՐՄԱՅԻՆ ՀՍԿՄԱՆ ԱՐԴՅՈՒՆՔՆԵՐՈՒՄ ԻԿ - ՃԱՌԱԳԱՅԹՄԱՆ ԳՈՐԾԱԿՅԻ ՇՆՈՐՀԻՎ ԱՌԱՋԱՅԱԾ ԱԶԴԵՅՈՒԹՅԱՆ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆ	294
ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ Ռ.Ս.	
ՇԻՆԱՐԱՐԱԿԱՆ ՋՐՀԵՌ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔՆԵՐԻ ԼԱՎԱԳՈՒՅՆ ՏԱՐԲԵՐԱԿԻ ՊԱՐԱՄԵՏՐԵՐԻ ՈՐՈՇՈՒՄԸ	299
ՄԻՐԶԱԽԱՆՅԱՆ Ռ.Ս., ԳՅՈՒԼԶԱՂՅԱՆ Ա.Ա., ՎԱՀԱՆՅԱՆ Ա.Խ.	
ԿԱՈԼԻՆԻՏ-ԱՂԱԹԹՎԻ ԼՈՒԾՈՒՅԹ ԿԱԽՈՒՅԹԻ ՖԻԼՏՐՄԱՆ ՊԱՐԱՄԵՏՐԵՐԻ ՈՐՈՇՈՒՄԸ	309
ԿԱՐԱՊԵՏ ԹԱՀՄԱԶՅԱՆ	
ԾՆՆԴՅԱՆ 70 - ԱՄՅԱԿԻ ԱՌԹԻՎ	314

СОДЕРЖАНИЕ

СТАКЯН М.Г., ДЕМИРХАНЫ А.Р., СОГОМОНЯН А.А.

ОПТИМИЗАЦИЯ “НУЛЕВОЙ” ГИПОТЕЗЫ О НОРМАЛЬНОМ
РАСПРЕДЕЛЕНИИ РЕЗУЛЬТАТОВ МЕХАНИЧЕСКИХ
ИСПЫТАНИЙ 161

ГАСПАРЯН С.А., СЛКУНИ Г.Л.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ
ШПОНОЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПОЛЯРИЗАЦИОННО –
ОПТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ 173

МАНУКЯН Н.В., НУБАРИ М.М.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПОЛУЧЕНИЯ
КОНСТРУКЦИОННЫХ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ
..... 179

ПЕТРОСЯН А.С.

ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ
АРМИРОВАННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ
..... 189

КАРАПЕТЯН Г.А.

ГОРЯЧЕЛОМКОСТЬ МАЛОЛЕГИРОВАННЫХ МЕДНЫХ
СПЛАВОВ 195

МАЛХАСЯН С.А., АМБАРЦУМЯН Э.Г.

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ СПЕЧЕННЫХ
АНТИФРИКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ФИЗИЧЕСКИХ
МОДЕЛЯХ 199

ТУМАСЯН Ш. Г., КАЗАРЯН А. Н., КАСЬЯН В. Л.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОРОШКОВЫХ СТАЛЕЙ,
ПОЛУЧЕННЫХ ПРЕССОВАНИЕМ – СПЕКАНИЕМ И
ЭКСТРУЗИЕЙ 205

**ХАЧАТРИАН В.С., БАДАЛЯН Н.П., ТАМРАЗЯН М.Г., ГУЛЯН
А.Г.**

РЕШЕНИЕ СИСТЕМ ГИБРИДНЫХ НЕЛИНЕЙНЫХ
АЛГЕБРАИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ УСТАНОВИВШЕГОСЯ
РЕЖИМА ЭЭС ПРИ СМЕШАННОМ ТИПЕ СТАНЦИОННЫХ
УЗЛОВ 210

ПЕТРОСЯН В.Г., МАРКОСЯН Г.Р., ШАХВЕРДЯН С.В. МЕТОДЫ ЛОКАЛИЗАЦИИ ИСТОЧНИКА ЭНЕРГИИ В СОСП	218
АСАТРЯН Т.П., ЕГИАЗАРЯН Л.В., СААКОВ В.И. МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ПОТЕРЬ ХОЛОСТОГО ХОДА СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ МОЩНОСТЬЮ ДО 1000 кВА	223
КАЗАРЯН Ю.А., БЕДЖАНИЯН Г.Д., МАНУКЯН К.П., АРУТЮНОВ М.Р. К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТОПЛИВНО - ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА РЕСПУБЛИКИ АРМЕНИЯ	228
САФАРЯН В.С. ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТРАНСПОРТНОЙ ЗАДАЧИ	235
ЕГОЯН Р.К. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СОЛНЕЧНЫХ ВОДОНАГРЕВАТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ	240
АРУТЮНЯН С.С., АРУТЮНЯН А.С. ИССЛЕДОВАНИЕ АГРЕГАТА ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА ПО КОМБИНИРОВАННОЙ СХЕМЕ ВЫПРЯМЛЕНИЯ С ТОКООГРАНИЧИВАЮЩИМ РЕАКТОРОМ И РАЗРЯДНОЙ ЦЕПЬЮ	244
АРЕШЯН Г.Л. КОНФОРМНЫЕ ОТОБРАЖЕНИЯ МЕТОДОМ УНИВЕРСАЛЬНОЙ ИНВЕРСИИ	250
СИМОНЯН О.С. ДИНАМИЧЕСКИЕ МАКРОЭКОНОМИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПАРЕТО– ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ	257
АЛЕКСАНДРЯН К.В., ЯВРУЯН В.Н., ГАЛСТЯН С.Р. ОПТИЧЕСКИЙ РАСПОЗНАВАТЕЛЬНЫЙ МАНИПУЛЯТОР ДЛЯ ОРИЕНТАЦИИ И ПОДАЧИ ТАБАЧНЫХ ЛИСТЬЕВ К ПРИШИВАЛЬНОЙ МАШИНЕ	263
БОЛИБЕКЯН Л.Р. АНАЛИЗ И МОДИФИКАЦИЯ АНАЛИТИЧЕСКОГО МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИЕРАРХИИ ЦЕЛЕЙ (АНР-МЕТОД)	270

.....	
МКРТЧЯН С.О., МКРТЧЯН А.С., ДЖАНГИРЯН В.Э., ЛАЗАРЯН А.Ф.	
КАК ОЖИВИТЬ СБИС ?	277
.....	
МАМИКОНЯН Б.М., МАМИКОНЯН Х.Б.	
ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЯ В ЧАСТОТУ ИМПУЛЬСОВ	282
БЕРБЕРЯН Г.В.	
АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ СЕРОСТИ ИК - ИЗЛУЧЕНИЯ НА РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕПЛОВОГО КОНТРОЛЯ СТАТОРОВ МОЩНЫХ ГИДРОГЕНЕРАТОРОВ	294
.....	
ХАЧАТРЯН Р.М.	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОПТИМАЛЬНОГО ВАРИАНТА СООРУЖЕНИЙ СТРОИТЕЛЬНОГО ВОДОСБРОСА	299
МИРЗАХАНИЯН Р.М., ГЮЛЬЗАДЯН А.А., ВАГАНЯН А.Х.	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ФИЛЬТРОВАНИЯ ПРИ РАЗДЕЛЕНИИ СУСПЕНЗИИ КАОЛИНИТ-РАСТВОР СОЛЯНОЙ КИСЛОТЫ	309
КАРАПЕТ ТАГМАЗЯН	
К 70-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ	314
.....	

CONTENTS

<i>STAKYAN M.G., DEMIRKHANYAN A.R., SOGHOMONYAN A.H.</i>	
NORMAL "ZERO" HYPOTHESIS OPTIMIZATION DISTRIBUTION FOR MECHANICAL TEST RESULTS	161
<i>GASPARYAN S.H., SLKOUNI G.L.</i>	
INVESTIGATION OF STRESS DISTRIBUTION IN KEYED JOINTS BY PHOTOELASTISITY METHOD	173
<i>MANOUKYAN N.V., NUBARI M.M.</i>	
PROCESS INVESTIGATION FOR OBTAINING STRUCTURAL POWDER MATERIALS 2. THE FORMATION OF THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF <Fe - Cu> POWDER STEELS	179
<i>PETROSSYAN H.S.</i>	
STRUCTURE AND PROPERTY FORMATION OF REINFORCED COMPOSITE	189
<i>KARAPETYAN H.A.</i>	
HEAT-BENDING PROPERTY OF THE DOPED COPPER ALLOYS	195
<i>MALKHASYAN S.A., HAMBARTSUMYAN E.G.</i>	
SINTERED ANTIFRICTION MATERIAL WEAR RESISTANCE INVESTIGATION ON PHYSICAL MODELS	199
<i>TUMASYAN SH.G., GHAZARYAN A.N., KASSYAN V.L.</i>	
COMPARATIVE ANALYSIS OF POWDER STEELS BY PRESSING, SINTERING AND EXTRUSION	205
<i>KHACHATRYAN V.S., BADALYAN N.P., TAMRAZYAN M.G., GULYAN A.G.</i>	
HYBRID NONLINEAR ALGEBRAIC SIMULTANEOUS SYSTEM SOLUTION OF EPS STEADY-STATE CONDITIONS WITH MIXED TYPES OF STANDARD UNITS	210
<i>PETROSSYAN V.G., MARKOSSYAN G.R., SHAHVERDYAN S.V.</i>	
METHODS OF ENERGY SOURCE LOCALIZATION IN THE "FSFODS" DIAGNOSTIC SYSTEM	218
<i>ASATRYAN T.P., YEGHIAZARYAN L.V., SAHAKOV V.I.</i>	
A NEW METHOD FOR MEASURING IDLE STROKE LOSSES FOR TRANSFORMERS WITH CAPACITY UP TO 1000 kW	

.....	223
GHAZARIAN YU.H., BEJANIAN G.D., MANUKIAN K.P., HARUTYUNOV M.R.	
METHODICAL APPROACH TO OPERATION EFFICIENCY INCREASE OF POWER COMPLEX IN REPUBLIC OF ARMENIA	228
SAFARYAN V. S.	
ELECTRICAL MODEL OF TRANSPORT TASK	235
YEGHOYAN R.K.	
TEST INSTALLATION FOR SOLAR WATER HEATING TRANSFORMER THERMAL-ENERGY EFFICIENCY MODELING	240
HARUTYUNYAN S.S., HARUTYUNYAN H.S.	
RESEARCH OF ELECTRIC TRANSPORT UNIT BY THE COMBINED RECTIFIER SCHEME IN THE PRESENCE OF CURRENT-LIMITING REACTOR AND DISCHARGE CIRCUIT	244
.....	
ARESHYAN G.L.	
CONFORMAL REPRESENTATION BY UNIVERSAL INVERSION METHOD	250
.....	
SIMONYAN H.S.	
DYNAMIC MACROECONOMIC MODELS OF PARETHO-OPTI- MAL CONTROL	257
ALEXANDRIAN K. V., YAVRUYAN V.N., GALSTYAN S.P.	
OPTICAL IDENTIFYING MANIPULATOR FOR ORIENTATION AND FEEDING TOBACCO LEAVES TO THE SEWING MACHINE	263
BOLIBEKYAN L.R.	
MODIFICATION OF ANALYTIC HIERARCHY PROCESS METHOD (AHP-METHOD)	270
MKRTCHYAN S.H., MKRTCHYAN A.S., JAHANGIRYAN V.E., LAZARYAN A.F.	
HOW TO MAKE THE VLSI CIRCUIT STABLE ?	277
.....	
MAMIKONYAN B. M., MAMIKONYAN KH. B.	
PRINCIPLES OF THE MEASURING VOLTAGE-TO-FREQUENCY CONVERTER CONSTRUCTION	282
.....	
BERBERYAN G. V.	
ANALYSIS OF IR-RADIATION EMISSIVITY ACTION IN THERMAL CONTROL RESULTS OF	

HYDROGENERATOR STATORS	294
<i>KHACHATRYAN R.M.</i>	
OPTIMAL VERSION PARAMETER DETERMINATION OF THE TEMPORARY DIVERSION SPILLWAY CONSTRUCTIONS.....	299
<i>MIRZAKHANYAN R.M., GYULZADYAN A.A., VAGANYAN A.Kh.</i>	
FILTRATION DETERMINATION IN SUSPENSION DISTRIBUTION OF KAOLINITE-HYDROCHLORIC ACID SOLUTION	309
<i>KARAPET TAHMAZIAN</i>	
ON THE 70-th ANNIVERSARY OF BIRTH	314