

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, Մ. Ստակյան (գլխ. խմբ. տեղակալ), Զ. Ստեփանյան (պատասխանատու քարտուղար), Վ. Խաչատրյան, Ն. Զոչինյան:

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. Martirossyan (Editor-in-Chief), R.V. Atoyan (Vice-Editor-in-Chief), S.M. Ghazaryan, V.S. Khachatryan, H.J. Kochinyan, N.V. Manoukyan, V.Z. Marukhyan, 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).

**ՀԱՆՐԵՍԸ ՀՐԱՏԱՐԱԿՎԱԾ Է ԱՄԵՐԻԿԱՅԻ ՀԱՅ ԿՐԹԱԿԱՆ
ՀԻՄՆԱԴՐՈՒԹՅԱՆ 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). 2000

Г.Л. ПЕТРОСЯН, М.Б. САФАРЯН, А.Ф. АМБАРЦУМЯН, В.Г. ПЕТРОСЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ТРУБ НА ОСНОВАНИИ ДАННЫХ ИХ ИСПЫТАНИЯ РАЗДАЧЕЙ

Освещен характер изменения толщины стенки по длине трубок после различных степеней их деформирования. Проведено приближенное исследование напряженно-деформированного состояния заготовок, подвергнутых малым (местным) пластическим деформациям, а также экспериментально исследованы механические свойства материала трубок до осуществления операции раздачи. Сопоставление упрочняющих характеристик плоских образцов с данными местной пластической деформации цельных трубок показывает сходимость результатов экспериментов в приемлемых диапазонах, следовательно, обосновывает использованный метод исследования местной пластической деформации.

Ключевые слова: пластическая деформация, раздача труб, оправка, диаграмма деформирования, механические свойства материала.

Экспериментальному исследованию процесса пластического деформирования тонкостенных латунных трубок различных размеров при их раздаче на конических оправках с применением разных значений коэффициента контактного трения f и пуансонов с разными углами конусности (посвящена работа [1]). Однако в ней не приведен полный анализ полученных результатов и закономерностей процесса.

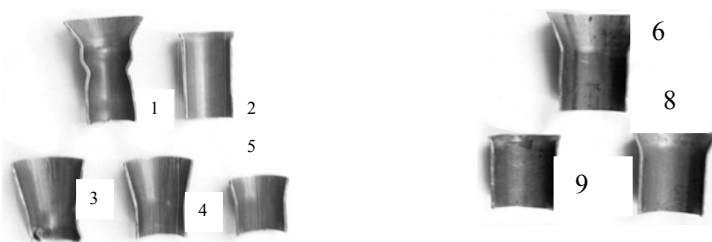


Рис. 1

Целью настоящей работы является освещение характера изменения толщины стенки по длине трубок после различных степеней их деформирования и приближенное исследование напряженно-деформированного состояния заготовок, подвергнутых малым (местным) пластическим деформациям, а также экспериментальное исследование механических свойств материала трубок до осуществления операции раздачи.

Для получения картины изменения толщины стенки (по длине трубок заранее деформированные образцы были разрезаны по диаметальному сечению на две части (рис. 1). В разных точках образцов (табл. 1 и 2) были произведены соответствующие замеры толщины стенки и диаметра трубок, на основании которых подсчитаны значения

относительной толщины стенки трубок $\bar{\delta} = \delta / \delta_0$ и текущего коэффициента раздачи $K_T = D / D_0$. Данные образцов с $D_0 = 25 \text{ мм}$ и $\delta_0 = 1,55 \text{ мм}$ приведены в табл. 1, а образцов с $D_0 = 37,7 \text{ мм}$ и $\delta_0 = 1,72 \text{ мм}$ - в табл. 2, где D_0 , δ_0 и D , δ – соответственно начальные и текущие значения диаметра и толщины стенки трубок. При этом раздача образцов 1 и 2 была осуществлена с применением пуансона с углом конусности $\gamma = 31^\circ$ и коэффициентом трения $f = 0,20$, образцов 3 – 5 - $\gamma = 12^\circ 30'$ и $f = 0,07$, а образцов 6 – 9 - $\gamma = 18^\circ$ и $f = 0,07$, причем образец 7т был испытан при температуре 200°C [1].

Таблица 1

δ , мм	$\bar{\delta}$	K_T	D , мм
1,25	0,81	1,56	39,0
1,6	1,03	1,32	33,0
1,8	1,16	1,04	26,0
1,75	1,13	1,02	25,5
N°1			
δ , мм	$\bar{\delta}$	K_T	D , мм
1,26	0,81	1,44	36,0
1,40	0,90	1,36	34,0
1,50	0,97	1,28	32,0
1,60	1,03	1,20	30,0
1,65	1,06	1,12	28,0
1,70	1,10	1,04	26,0
1,75	1,13	1,02	25,5
N° 3			
δ , мм	$\bar{\delta}$	K_T	D , мм
1,53	0,99	1,1	28,5
1,55	1,0	1,0	25,0
N° 2			
δ , мм	$\bar{\delta}$	K_T	D , мм
1,50	0,97	1,18	29,45
1,55	1,0	1,08	27,0
1,60	1,03	1,01	25,3
N° 5			
δ , мм	$\bar{\delta}$	K_T	D , мм
1,33	0,86	1,37	34,15
1,43	0,92	1,26	31,5
1,53	0,9	1,18	29,5
1,60	1,03	1,10	27,5
1,65	1,06	1,02	25,5
N° 4			

Данные экспериментов табл. 1 и 2 свидетельствуют об уменьшении конечной толщины стенки трубок при их раздаче. Причем характер изменения толщины стенки трубок по их длине не однозначен и зависит от степени их деформирования.

На рис. 2 приведены зависимости изменения относительной толщины стенки трубок $\bar{\delta}$ от текущего коэффициента раздачи K_T .

При осуществлении операции раздачи с применением относительно больших степеней деформации на цилиндрической и начальных сечениях конической частей деформированных трубок наблюдается утолщение их стенки, а в сечениях, близких к выходному, - постепенное утонение (рис. 2).

Таблица 2

δ , мм	$\bar{\delta}$	K_T	D , мм
1,3	0,7	1,4	54,0
1,55	0,87	1,3	51,0
1,65	0,9	1,2	47,0
1,70	0,9	1,1	44,0
1,80	1,0	1,0	40,0
1,80	1,0	1,0	38,5
N° 6			
δ , мм	$\bar{\delta}$	K_T	D , мм
1,4	0,82	1,3	50,5
1,4	0,8	1,2	46,7
1,6	0,9	1,1	43,0
1,70	0,99	1,0	40,0
1,72	1,0	1,0	38,5
N° 7			
δ , мм	$\bar{\delta}$	K_T	D , мм
1,4	0,86	1,25	47,0
1,6	0,93	1,14	43,0
1,70	0,9	1,06	40,0
1,75	1,02	1,00	38,0
N° 8			
δ , мм	$\bar{\delta}$	K_T	D , мм
1,6	0,9	1,1	41,7
1,7	0,9	1,05	39,7
1,7	1,0	1,00	38,0
N° 9			
δ , мм	$\bar{\delta}$	K	D , мм
1,4	0,8	1,3	49,0
1,5	0,88	1,2	45,5
1,63	0,9	1,1	42,5
1,7	0,99	1,03	39,0
1,72	1,0	1,0	38,0
N° 7 _T			

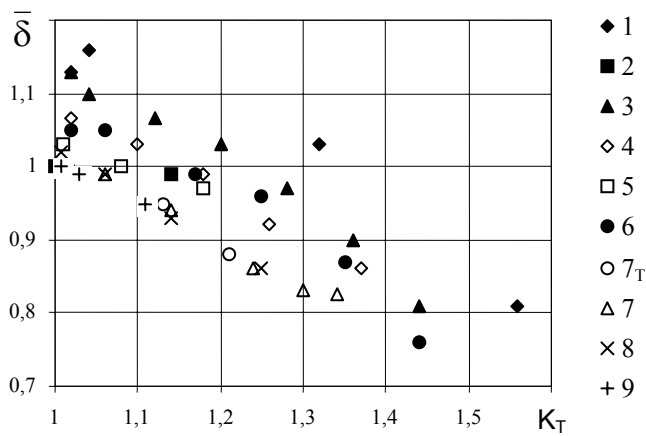


Рис. 2

Анализ напряженно-деформированного состояния материала тонкостенных труб при их раздате показал закономерность утолщения стенок труб при больших степенях деформации и последующего их утонения, причиной чего является соответственное изменение компонентов напряженно-деформированного состояния, описанного в [2]. При этом найден тот диапазон значений меридиональных

напряжений, при котором у входа конической оправки толщина стенки труб увеличивается. При раздаче трубок с относительно малыми предельными коэффициентами раздачи (образцы 2, 5 и 9) явления утолщения стенки трубок в основном не наблюдается, а пластические деформации носят местный характер. Сделав предположение, что зона пластической деформации образовавшегося конического кольца известна и участок свободного изгиба сравнительно мал [4], представляется возможным приближенно определить компоненты напряженно-деформированного состояния кольца в этой зоне. При этом после испытаний образцов устанавливаются высота конического кольца c , толщина ее стенки (δ) и средний диаметр D_{CP} (рис. 3 а).

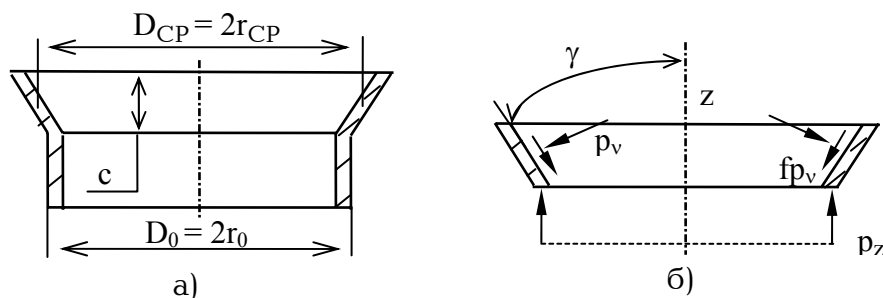


Рис. 3

На рис. 3б показан элемент пластически деформированной части трубки, нагруженный осевым давлением p_z и возникающим от него давлением оправки на трубку p_v , а также контактным касательным напряжением fp_v . Изгибающими моментами, возникающими при деформации трубы, пренебрегаем, т. е. задачу решаем на основании безмоментной теории оболочек вращения [3].

Рассмотрим уравнение равновесия элемента на рис. 3б. Проектируя все силы на ось z , имеем

$$p_v = \frac{p_z \delta r_{0c}}{c(f + \operatorname{tg} \gamma)r}. \quad (1)$$

Кроме напряжений, показанных на рис. 3 б, на элемент действуют также окружные напряжения σ_θ , для определения которых воспользуемся уравнением Лапласа [3]:

$$\frac{\sigma_m}{\rho_m} + \frac{\sigma_\theta}{\rho_\theta} = \frac{p_v}{\delta}, \quad (2)$$

где σ_m - меридиональное напряжение; ρ_m и ρ_θ - соответственно радиусы кривизны меридионального сечения и нормального сечения оболочки, перпендикулярного к дуге меридиана.

Для конической оболочки справедливо

$$\rho_m = \infty, \quad \rho_\theta = r / \cos \gamma. \quad (3)$$

С учетом (3) перепишем формулу (2) в виде

$$\sigma_\theta = p_v r / \delta \cos \gamma. \quad (4)$$

Подставив значение p из (1) в (4), получим следующий вид функциональной зависимости между окружным и осевым напряжением:

$$\sigma_{\theta} = \frac{p_z r_{0cp}}{c(f + \operatorname{tg} \gamma) \cos \gamma}. \quad (5)$$

Из (4) и (5) следует, что при $r \gg \delta$ и $r \gg c$ имеет место $\sigma_{\theta} \gg p_v$ и $\sigma_{\theta} \gg p_z$. Следовательно, можно предположить, что элемент трубки находится в одноосном напряженном состоянии с основным действующим напряжением σ_{θ} (5). При значениях c , близких к r , вторым по величине большим напряжением является p_z , которое по высоте c быстро убывает. На элементе конической части трубы вместо p_z действует меридиональное напряжение σ_m , которое связано с осевым давлением p_z и определяется следующей зависимостью: $\sigma_m = p_z / \cos \gamma$. Величина σ_m по высоте конического элемента также уменьшается, достигая значения нуля на выходном сечении трубки. Естественно, что для проведения числовых расчетов необходимо рассмотреть напряженно-деформированное состояние средней части деформированного элемента. Поэтому в расчетах использована величина среднего меридионального напряжения $\sigma_m = p_z / 2 \cos \gamma$.

Таким образом, под действием осевого напряжения p_z возникает контактное давление p_v (1), которое и является причиной большого окружного напряжения σ_{θ} (4) и (5). Что касается деформированного состояния конической части трубки, то основной деформацией также является положительная окружная деформация расширения ε_{θ} , которая в процентном соотношении определяется по формуле

$$\varepsilon_{\theta} = \frac{r - r_0}{r_0} \cdot 100 \%. \quad (6)$$

Другие деформации - осевая ε_z и радиальная ε_v - являются отрицательными. Причем

$$\varepsilon_v = \frac{\delta - \delta_0}{\delta_0} \cdot 100 \%, \quad (7)$$

а по условию несжимаемости

$$\varepsilon_z = -\varepsilon_{\theta} - \varepsilon_v. \quad (8)$$

Так как образцы 2, 5 и 9 подвергались малым пластическим деформациям, то для них по (1), (5) - (8) можно определить как компоненты напряженно - деформированного состояния, так и соответствующие величины интенсивностей напряжений σ_i и деформаций ε_i , используя следующие формулы [3]:

$$\sigma_i = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_{\theta} - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_v)^2 + (\sigma_v - \sigma_{\theta})^2}, \quad (9)$$

$$\varepsilon_i = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(\varepsilon_{\theta} - \varepsilon_z)^2 + (\varepsilon_z - \varepsilon_v)^2 + (\varepsilon_v - \varepsilon_{\theta})^2}. \quad (10)$$

Результаты расчетов (табл. 3) получены на основе данных о величинах p_z [1] с учетом следующей дополнительной информации об образцах 2, 5 и 9: образец 2 - $F_{\max} = 21,5 \text{ кН}$, $r_0 = 12,5 \text{ мм}$, $\delta_0 = 1,55 \text{ мм}$, $\gamma =$

$= 31^\circ$, $f = 0,2$, $c_2 = 4,7$ мм, $r_{CP} = 13,4$ мм, $\delta_{CP} = 1,54$ мм, $r_k = 14,25$ мм, $\delta_k = 1,53$ мм; образец 5 - $F_{max} = 23$ кН, $r_0 = 12,5$ мм, $\delta_0 = 1,55$ мм, $\gamma = 12^\circ 30'$, $f = 0,07$, $c_5 = 13,6$ мм, $r_{CP} = 13,5$ мм, $\delta_{CP} = 1,55$ мм, $\delta_k = 1,50$ мм, $r_k = 14,7$ мм; образец 9 - $F_{max} = 18,5$ кН, $r_0 = 18,85$ мм, $\delta_0 = 1,72$ мм, $\gamma = 18^\circ$, $f = 0,07$, $c_9 = 7$ мм, $r_{CP} = 19,85$ мм, $\delta_{CP} = 1,7$ мм, $\delta_k = 1,63$ мм, $r_k = 20,85$ мм.

Таблица 3

N ^о	p_z , МПа	$\sigma_{\mu CP}$, МПа	$\sigma_{\theta CP}$, МПа	$p_{V CP}$, МПа	$\sigma_{1 CP}$, МПа	$\varepsilon_{\theta CP}$	$\varepsilon_{\theta max}$	$\varepsilon_{1 CP}$
2	176,61	103,02	353,03	36,97	395,97	0,072	0,151	0,083
5	188,93	96,76	285,98	34,01	355,55	0,080	0,192	0,092
9	90,81	47,74	314,35	26,75	352,07	0,053	0,106	0,061

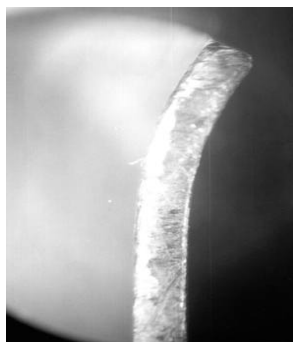


Рис. 4

Так как на приведенные данные большое влияние оказывает точное определение величины c , то измерения проводились с использованием микроскопа. На рис. 4 показана зона местного пластического деформирования образца 2, увеличенная в 10,784 раза. Исследования деформированной зоны показали, что при малых пластических деформациях радиальные деформации значительно меньше деформаций ε_θ и ε_z .

Что касается исследования механических свойств материала трубок до операции раздачи, то эксперименты были проведены по растяжению трех образцов, полученных из полос разрезанных недеформированных трубок диаметром $D_0 = 25$ мм. Образцы размерами $b_1 = 6,2$ мм, $b_2 = 6,1$ мм, $b_3 = 6,1$ мм, $l_1 = 34,6$ мм, $l_2 = l_3 = 35,15$ мм и $\delta_1 = \delta_2 = \delta_3 = 1,55$ мм растягивались на разрывной испытательной машине "ИР 5046 - 5". Данные экспериментов для плоских образцов 1п, 2п и 3п приведены в виде диаграмм 1, 2 и 3 соответственно (рис. 5). Точками 4 и 5 также показаны расчетные данные $\sigma_i - \varepsilon_i$

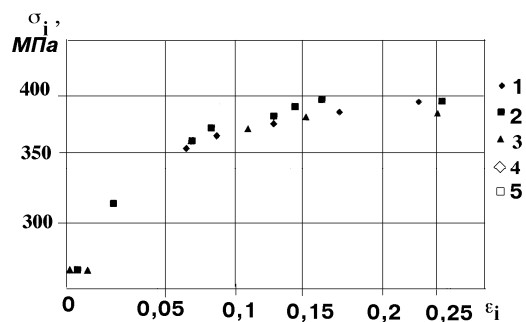


Рис. 5

малодеформированных образцов 2 и 5.

Данные образца 9 на рис. 5 не показаны, так как диаграмма деформирования материала этого образца не исследована.

Из приведенных выше технологических параметров местного пластического деформирования образцов 2 и 5 соответственно имеем: $\gamma_2 = 31^\circ$, $f_2 = 0,2$, $c_2/r_{CP2} = 0,35$, $\gamma_5 = 12^\circ 30'$, $f_5 = 0,07$, $c_5/r_{CP5} \approx 1$; согласно данным [4], для образца 2 при больших (γ и f фактор изгиба больше. Поэтому точка 4 (образец 2) лежит выше диаграммы деформи-

рования

материала. Что касается расположения точки 5 (образец 5) ниже диаграммы деформирования, то это, вероятно, можно объяснить большим значением контактирующей длины c_5 , в результате чего осреднение данных по длине контакта c_5 является грубым.

Таким образом, приведенный полный анализ экспериментальных данных процесса раздачи выявляет характер изменения толщины стенки по длине трубок при их пластическом деформировании, а результаты сопоставления упрочняющихся характеристик плоских образцов с данными местной пластической деформации цельных трубок объясняются анализом технологических параметров последних.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Петросян Г.Л., Сафарян М.Б., Амбарцумян А.Ф., Петросян В.Г.** Экспериментальное исследование процесса раздачи тонкостенных труб // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. – 2000. – Т. 53, ¹ 1. – С. 3 – 7.
 2. **Петросян Г.Л., Амбарцумян А.Ф.** Особенности исследования процесса раздачи тонкостенных труб на конических оправках // Сб. докл. годичн. науч. конф. ГИУА. – 1998. – С. 27 – 34.
 3. **Малинин Н.Н.** Прикладная теория пластичности и ползучести – М.: Машиностроение, 1975. – 339 с.
 4. **Попов Е.А.** Основы теории листовой штамповки. – М.: Машиностроение, 1977. – 278 с.
- Работа выполнена в рамках финансируемой госбюджетной научной темы РА N 98 – 847.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 18.06.1999.

**Գ. Լ. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ, Մ.Բ. ՍԱՖԱՐՅԱՆ, Ա.Ֆ. ՀԱՄԲԱՐԶՈՒՄՅԱՆ,
Վ.Գ. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ**

**ԽՈՂՈՎԱԿՆԵՐԻ ԴԵՖՈՐՄԱՑԻԱՆ ԻՐԱՎԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՑՆԵՐԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒԹՅՈՒՆԸ ՆՐԱՆՑ
ԸՆԴԱՐՁԱՎԱՍՏԲ ՓՈՐՁԱՐՎԱՍՆ ՏՎՅԱԼՆԵՐԻ ՀԻՄԱՆ ՎՐԱ**

Լուսաբանված է խողովակների դեֆորմացիան տարբեր աստիճաններից հետո նրանց երկարությամբ պատի հաստության փոփոխման բնույթը, կատարված է փոքր (տեղային) պլաստիկ դեֆորմացիաների ենթարկված նախապատրաստվածքների լարվածա - դեֆորմացիոն վիճակի մոտավոր հետազոտություն, ինչպես նաև փորձնականապես ուսումնասիրված են խողովակների նյութի մեխանիկական հատկությունները ընդարձակման գործընթացի իրականացումից առաջ:

**G.L. PETROSSYAN, M.B. SAFARYAN, A.F. HAMBARDZUMYAN,
V.G. PETROSSYAN
INVESTIGATION OF REAL TUBE DEFORMATION PROCESSES
ON THE BASIS OF THEIR TESTING DATA BY EXPANSION**

The tube wall thickness alteration character by their length after various degrees of their deformation is elucidated. An approximation research on stress-strain state of specimens subjected to small (local) plastic deformations is carried out. Mechanical properties of tube material before their expansion process realizing are investigated. The comparison of flat specimen strengthening characteristics with local plastic deformation data of integral tubes shows the convergence of experimental results in acceptable ranges, thus grounding the local plastic deformation investigation method used.

Г.Г. ШЕКЯН, А.П. ХАЛАТЯН, Э.П. ХАЛАТЯН, Р.П. ХАЛАТЯН

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ВИБРОАКТИВНОСТЬ РОТОРНЫХ МАШИН

Показана зависимость расчетного уровня колебаний от выбора адекватных динамических моделей и точности математического описания колебательных процессов. Приведены результаты теоретических исследований для двигателей на сплошном упругом основании, где учтена нелинейная жесткость шарикоподшипника.

Ключевые слова: колебательный процесс, резонансные характеристики, динамическая модель, виброактивность.

Колебательные процессы во многих машинах, зачастую, имеют резонансный характер, особенно, когда есть тенденция неуклонного уменьшения весогабаритных показателей. Поэтому при исследовании этих процессов обычно рассматривают не только параметры возмущающих сил, но и динамические свойства машины в целом, которые проявляются в нелинейно упругих характеристиках подшипников и упругих характеристиках щитов. Как и в любых задачах динамики, исходным для проведения исследований и выявления резонансных частот является составление динамической модели системы, отражающей качественные характеристики отдельных элементов машины.

Расчетно-динамическая модель роторной машины для исследования собственных частот представляется в виде упруго-массовой системы с сосредоточенными параметрами. При этом предполагается, что в местах крепления станины она не деформируется. Корпус машины в этих задачах моделируется в виде балки постоянного или переменного сечения. Условия опирания балки определяются креплением корпуса на объекте. В случае, если корпус по длине практически постоянного сечения, расчет собственных частот необходимо произвести по формуле

$$\omega_i = \frac{r_i}{l^2} \sqrt{EJ/\gamma}, \quad (1)$$

где l - длина балки; J - момент инерции сечения; E - модуль упругости материала; r_i - коэффициент, учитывающий форму колебаний.

Частоты корпусов переменного сечения определяются по дискретной модели. При изучении радиальных колебаний правомерны схемы тонкого кольца или цилиндрической оболочки [1]. Иногда подшипниковые щиты моделируются, исходя из конструктивных признаков, т.е. могут быть представлены в виде плоских или трубчатых элементов [2,3]. В случае исследования колебательных процессов в аксиальном направлении подшипниковый щит моделируется в виде пластины постоянной толщины. При этом расчет круговых частот поперечных колебаний производится по формуле [4]

$$\omega = \lambda \sqrt{Eh^2 / \gamma R^4}, \quad (2)$$

где γ - плотность материала; h - толщина пластины; R - радиус пластины; λ - корень частотного уравнения.

В зависимости от граничных условий задачи λ принимает различные значения [5].

Для определения собственных частот роторов применяется также модель шарнирно опертой по концам балки. Практические расчеты производятся, исходя из следующих соображений: балка постоянного сечения с распределенными параметрами или балка невесомая с распределенными параметрами. Первая схема позволяет определить любые формы колебаний по (1). Вторая схема предполагает приведение распределенной массы вала к точечной и позволяет определить только собственные частоты, обусловленные количеством сосредоточенных масс.

При малом числе точечных масс принимаются формулы, полученные классическим методом [6]. Результирующие значения частот определяются по формуле Донкерли

$$\frac{1}{\omega^2} = \frac{1}{\omega_0^2} + \sum_{j=1}^n \frac{1}{\omega_j^2}, \quad (3)$$

где ω_0 - частота вала постоянного сечения без точечных сосредоточенных масс; ω_j - частота изгибных колебаний невесомого упругого вала с данной j -й массой.

Формулы определения собственных частот отдельных элементов обобщаются в зависимости от влияния различных факторов: упругой податливости опор, магнитных сил, гироскопического момента, продольной силы на ротор и других конструктивных особенностей [7]. Однако значения парциальных собственных частот отдельных элементов и узлов машины пока еще не дают возможность установить их взаимосвязь в собранной машине при различных возбуждениях. Эти частоты могут быть определяющими, если связь между элементами весьма "слабая", или имеется возможность мысленного расчленения машины на свободные от взаимосвязи элементы, но с введением соответствующих поправок.

Рассмотрение динамической модели в виде упруго-массовой системы с сосредоточенными элементами приводит к неучету влияния распределенных элементов на высшие формы колебаний. Наиболее пригодной для расчетов является формула (2), которая косвенно применяется во многих работах при определении собственных частот, хотя определение конкретных значений корней частотного уравнения не всегда представляется возможным. Кроме того, если в исследуемой задаче граничные условия имеют нестандартный характер, то применение данного метода вообще исключается.

Частотное уравнение машин в радиальном направлении имеет вид

$$\lambda^8 + a_1\lambda^7 + a_2\lambda^6 + a_3\lambda^5 + a_4\lambda^4 + a_5\lambda^3 + a_6\lambda^2 + a_7\lambda + a_8 = 0, \quad (4)$$

где коэффициенты $a_1, a_2, \dots, a_8$ обусловлены упруго-массовыми характеристиками машины в радиальном направлении. В выражении (4) не учтены реальные распределенные параметры системы. Кроме того, в качестве жесткости опор фигурирует некоторая приведенная линейная жесткость. Такая модель несостоятельна для проведения серьезных исследований динамических процессов и устойчивых зон колебания, т.к. заведомо не учитывается ряд важнейших факторов. Поэтому решение задач исследования колебательных процессов аналогичными методами для объектов, где имеются нелинейные элементы или элементы с распределенными параметрами, привело бы к большим ошибкам.

Исследования, проведенные для роторных машин на сплошном упругом основании с учетом нелинейного характера жесткости шарикоподшипников, позволили выявить такие свойства системы, как раздвоение частоты радиальных колебаний, сдвиг частот и появление свободных от резонансов интервалов. Для удобства качественного анализа частотное уравнение представлено в виде отношения полиномов

$$\Omega_p^2 = \lambda^2 L(\lambda^2, \Omega^2) / L(\lambda^2, \omega^2),$$

$$L(\lambda^2, \Omega^2) = [(\lambda^2 - \omega^2)(\lambda^2 - s^2) - \chi^2 \omega^2 s^2] \times$$

$$\times \{(\lambda^2 - \omega_0^2)(\lambda^2 - \omega^2)(\lambda^2 - s^2) - \omega^2 s^2 [\chi^2 (\lambda^2 - \omega_0^2) + \varepsilon^2 (\lambda^2 - \omega_k^2)]\}, \quad (5)$$

где Ω_p, Ω - частоты нутационных и угловых колебаний системы; $\omega, \omega_0, \omega_k$ - соответственно частоты радиальных, осевых и угловых колебаний корпуса при неподвижном роторе; ε, χ - параметры, учитывающие влияние массы ротора и корпуса,

$$\Omega_p = J_0 \omega_\beta / J_\Omega, \quad \omega^2 = C / M, \quad \omega_0^2 = C_0 / M, \quad \omega_k^2 = C \ell^2 / J_k,$$

$$\Omega = (J_\Omega + J_k) C \ell^2 / J_\Omega J_k, \quad \varepsilon = M_p g \cos \theta \tan \beta / 3N, \quad (6)$$

$$\chi = M_p g \sin \theta / 6N, \quad M = M_p M_k / (M_p + M_k).$$

Здесь C, C_0 - приведенные жесткости подшипников в радиальном и аксиальном направлениях соответственно; M_p, M_k - массы ротора и корпуса; θ - угол наклона ротора относительно горизонтальной плоскости; β - угол контакта; N - осевой натяг; J_Ω, J_0 - эквивалентный и осевой моменты инерции ротора; J_k - момент инерции корпуса; ω_β - частота вращения ротора; ℓ - длина корпуса.

Результаты этих исследований могут быть использованы для расчета собственных частот машин при условии выполнения принятых допущений.

Упругая податливость подшипниковых щитов в осевом направлении может быть учтена приведением ее к податливости опор по

схеме последовательного соединения жесткостей. Однако в этом случае будет возможно учитывать только первую форму колебаний подшипниковых щитов.

Анализ исследований показывает, что нелинейные характеристики подшипника допускают определение собственных частот системы амплитудно зависимыми. Теоретическое исследование моделей роторных машин (в том числе и электрических) всегда несколько идеализировано. Эти модели отражают лишь небольшое число принципиальных особенностей реальных машин и не учитывают значительных факторов, имеющих на практике. При разработке методик расчета реальных машин и определении путей понижения виброактивности и повышения надежности основная трудность заключается в выборе достаточно адекватных неидеальных моделей, в наибольшей степени учитывающих именно те факторы, которые присущи конкретному типу машин и играют наиболее значимую роль.

Для решения подобных задач особое внимание должно быть сконцентрировано на выделении главных элементов и процессов, которые обуславливают динамическое состояние машины. При этом необходимо уделить внимание также упругим свойствам шарикоподшипников и подшипниковых щитов. На основе жесткостной модели элементов машины должна строиться обобщенная жесткостная матрица машины, которая играет решающую роль в формировании основных гармоник вибраций машины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Маслов Г.С.** Расчет колебаний валов: Справочник. - М.: Машиностроение, 1980.- 151 с.
2. **Пановко Я.Г.** Введение в теорию механических колебаний. - М.: Наука, 1970.- 270 с.
3. **Хронин Д.В.** Теория и расчет колебаний в двигателях летательных аппаратов. - М.: Машиностроение, 1970.- 412 с.
4. **Филиппов А.П.** Колебания деформируемых систем. - М.: Машиностроение, 1980.- 760 с.
5. **Фогель С.** Собственные частоты однородных кольцевых пластин при поперечных колебаниях // Тр. американского общества инженеров-электротехников. Прикладная механика. - 1965.- ¹ 4.- С.198-204.
6. **Тандал А.** Динамика роторов турбогенераторов. - Л.: Энергия, 1971.- 387 с.
7. **Дименко Ф.М., Загородная Г.А.** Прочность и колебания электрических машин. - Л.: Энергия, 1969.- 440 с.

Институт механики НАН РА, ГИУА. Материал поступил в редакцию 27.11.1998.

Հ.Գ. ՇԵԿՅԱՆ, Հ.Պ. ԽԱԼԱԹՅԱՆ, Է.Պ. ԽԱԼԱԹՅԱՆ, Ռ.Պ. ԽԱԼԱԹՅԱՆ

ՌՈՏՈՐԱՑԻՆ ՄԵՔԵՆԱՆԵՐԻ ՎԻԲՐՈԱԿՏԻՎՈՒԹՅԱՆ ՎՐԱ ԱԶԴՈՂ ԳՈՐԾՈՆՆԵՐԸ

Ցույց է տրված տատանումների հաշվարկային մակարդակի կախվածությունը մեքենայի համարժեք մոդելի ընտրությունից և տատանողական գործընթացների մաթեմատիկական նկարագրման ճշտությունից: Բերված են ուսումնասիրությունների արդյունքները հոծ առաձգական հիմքի վրա դրված շարժիչների համար, որտեղ հաշվի է առնված գնդառանցքակալների կոշտությունների ոչ գծայնությունը:

H.G. SHEKYAN, H.P. KHALATYAN, E.P. KHALATYAN, R.P. KHALATYAN

**FACTORS AFFECTING THE VIBROACTIVITY OF
ROTOR MACHINES**

The calculated level dependence of vibrations on the selection of adequate dynamic models and the accuracy of the mathematical description of the vibrational processes are shown. The theoretical investigation results are described for the engines on the continuous elastic base where the nonlinear rigidity of the ball bearing is taken into account.

М.А. ГРИГОРЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ РАБОТЫ АЛМАЗНОГО ЗЕРНА ПРИ ПРАВКЕ

Установлены три вида соударения выступов: поперечное, продольное и косое. На основании теории трещинообразования определены величины разрушающих сил выступов. Выявлено, что при разрушении выступов алмазных зерен критическая сила разрушения больше, чем эльборовых и электрокорундовых; при продольном соударении требуются большие динамические нагрузки, чем при поперечном и косом соударении; процесс разрушения можно регулировать с помощью ориентации выступов в инструментах.

Ключевые слова: разрушение хрупкого материала, соударение, алмазное зерно, трещинообразование.

Правка шлифовальных кругов (ШК) с помощью алмазного ролика (АР) характеризуется контактированием двух дискретных, шероховатых, неоднородных твердых тел, на поверхностях которых случайно расположены режущие выступы, перемещающиеся с большими скоростями и подвергающиеся соударению, в результате чего происходит их разрушение. Учитывая беспорядочную ориентацию режущих выступов АР и ШК, возможны три вида их соударения: поперечное, продольное и косое (рис.1), изучение которых может стать основанием для управления ударного взаимодействия и эффективного проведения процесса правки.

Исследования с помощью микроскопа УММ показали, что отходы правки включают в себя частицы абразивных и алмазных зерен. Размеры частиц составляют для электрокорундового круга 0,6(0,7; для эльборового круга 0,7(0,8; для алмазного ролика 0,5(0,6 от среднего размера зерна в инструменте. В шламе существуют почти целые зерна, имеющие идентичные размеры в инструменте. Это дает возможность установить, что в реальных условиях процесса правки зерна обоих контактирующих инструментов в основном механически разрушаются и выпадают из связки. Механизм разрушения хрупкого материала представляется в виде процесса зарождения трещин, которые возникают в случае, когда радиальные напряжения превышают прочность материала. По теории Гриффитса [1], длина трещин увеличивается, когда подводимая и потребляемая энергии равны.

Рассмотрим условия разрушения при поперечном центральном соударении контактирующих выступов (рис.1а). В результате соударения выступов один из них или оба разрушаются. При равных условиях в первую очередь разрушается выступ абразивного зерна, так как прочность электрокорунда (эльбора) меньше, чем алмаза. Но по причине действия циклически повторяющихся механических и тепловых ударов увеличиваются существующие в выступе длины трещин, и при критическом коэффициенте интенсивности напряжений разрушается выступ алмазного зерна. Каждый контактирующий выступ можно рассмотреть как

консольную балку переменного сечения, заделанную одним концом в теле зерна, а зерно – прикрепленным к связке, на свободном конце которого влияет ударная сила P_z (рис.1а). Нормальные растягивающие напряжения в любом его сечении будут [2]: $\sigma = Mz / I$ (где z – расстояние от оси выступа до данной точки сечения), $M = -P_z y$, $I = \pi ab^3 / 4$ (y – расстояние данного сечения от вершин выступа; a , b – полуоси сечения выступа).

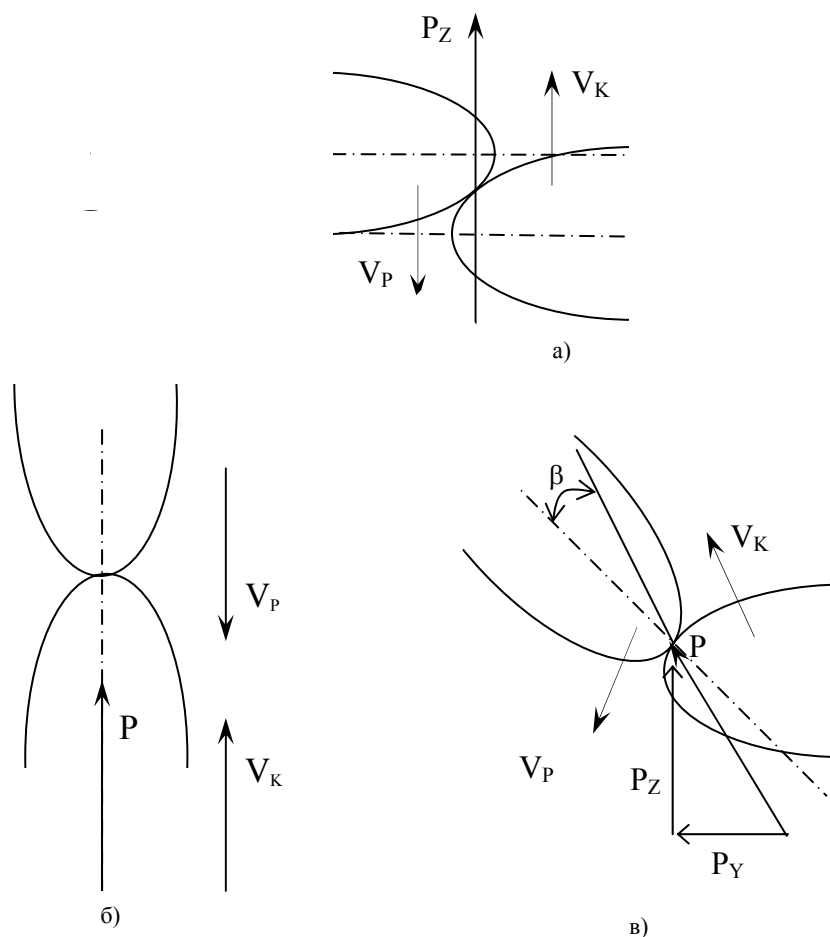


Рис.1. Виды соударения выступов: а – поперечное, б – продольное, в – косое

Если на выступе существуют трещины, то напряжение у конца трещины, находящейся на расстоянии L от вершины, определяется в виде [1]: $\sigma_T = K_{IC} / \sqrt{2\pi L}$, где K_{IC} – критическое значение коэффициента интенсивности напряжения.

При наличии на поверхности выступа трещин часть нагрузки перераспределяется на соседние участки, вследствие чего происходит увеличение силы у вершин трещин на некотором участке длиной L_1 .

Приравнявая усилия в пределах зоны L_1 при наличии трещин с усилиями в пределах L и L_1 сплошного выступа, а также напряжение в некоторой точке с трещиной с напряжением этой точки без трещины выступа, после интегрирования и преобразований определяем расстояние L_1 и критическую силу удара $P_{зк}$, при которой выступ разрушается $L_1 = L/3$, $P_{зк} = 1,36ab^3K_{IC}/b_{max}yK_d\sqrt{2\pi L}$, где K_d - коэффициент, учитывающий динамичность процесса, $K_d=1,35$.

При продольном соударении выступов (рис.1б) с момента контактирования ударная сила между ними постепенно возрастает, одновременно увеличивается и контактная площадь. На краю площади контакта действуют растягивающие напряжения, приводящие к обламыванию вблизи контура контакта и уменьшению площади контакта. Вследствие этого растягивающие напряжения увеличиваются, и на оси выступа под контактной площадкой появляется трещина. На основании [2] критическая сила удара, разрушающая выступ, при продольном соударении будет $P_k = K_{IC}a_1^2\left(\frac{c_1}{\sqrt{L}} - \frac{c_2}{\sqrt{a_1}}\right)$, где a_1 - радиус площади контакта; c_1, c_2 - численные постоянные.

Если ударная сила P влияет на выступ наклонной (рис.1в), составляющие импульсы, полученные выступом, будут $P_z = P \sin \beta$, $P_y = P \cos \beta$. Нормальные растягивающие напряжения в некотором сечении выступа равны $\sigma = M/W - P_y/F$, где $M = -P_z y$, $W = I/F$, F - площадь рассматриваемого сечения выступа; y - расстояние от вершин выступа до рассматриваемого сечения.

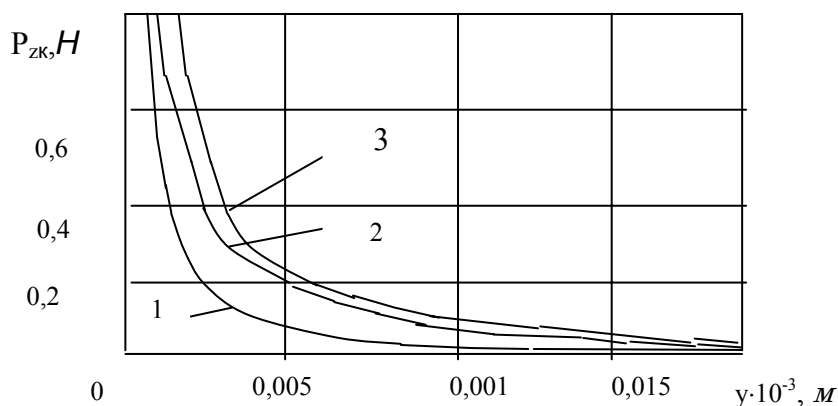


Рис.2. Зависимость критической силы $P_{зк}$ разрушения выступа от расстояния y при поперечном соударении выступов: 1 – зерно 24 A16, 2 – зерно Л016;
3 – зерно алмазное 200/160 ($L=0,001$ (10^{-3} м))

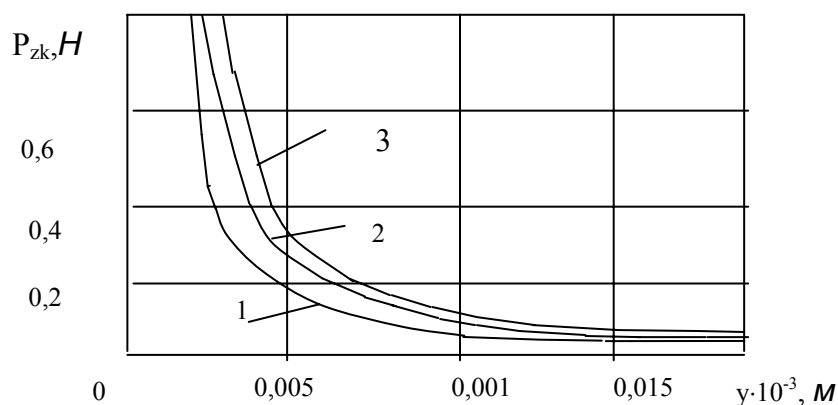


Рис.3. Зависимость критической силы P_k разрушения выступа от расстояния y при косом соударении выступов: 1 – зерно 24 A16, 2 – зерно Л016; 3 – зерно алмазное 200/160 ($L=0,001 (10^{-3} \text{ м})$)

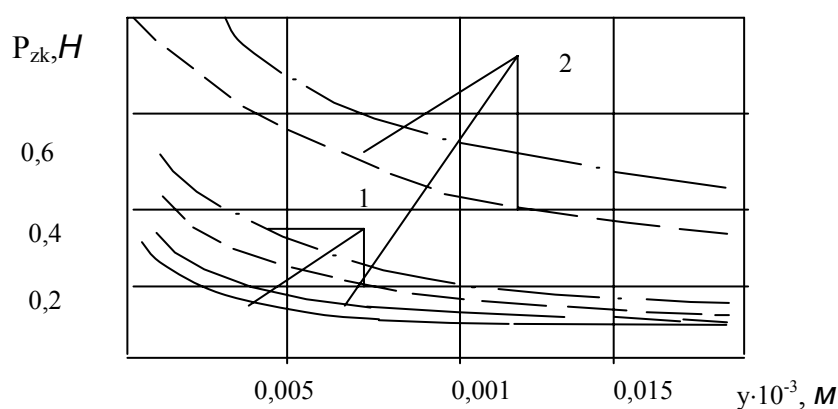


Рис.4. Зависимость критической силы P_k разрушения зерна от длины L трещины при косом соударении выступов: сплошная линия – зерно 24A16, штриховая линия – зерно Л016, штрихпунктирная линия – зерно алмазное 200/160
(1 – $y=0,135(10^{-3} \text{ м})$, 2 – $y=0,09(10^{-3} \text{ м})$)

Составляя условия равновесия усилий и напряжений в некоторой точке, получим длину трещины и критическую силу удара, разрушающую выступ при косом соударении: $L_1 = L$, $P_k = \pi K_{IC} ab / \sqrt{2\pi L} K_d \times \times (4yb_{\max} / b^2 - P_y / P_z)$. В качестве примера рассмотрим правку червячных зубошлифовальных кругов 24A16СМ17К5 ($K_{IC} = 7,4 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^{3/2}$, $V_k = 25 \text{ м/с}$, радиальная подача ролика $S_p = 0,03 \cdot 10^{-3} \text{ м/ход}$, $P_y / P_z = 2$ [4]) и Л016СМ1К5 ($K_{IC} = 31,9 \cdot 10^5$, $V_k = 25$, $S_p = 0,01 \cdot 10^{-3}$) алмазным роликом из природного алмаза 315/250, на твердосплавной основе ($K_{IC} = 37,9 \cdot 10^5$, $V_p = 7 \text{ м/с}$) при попутном вращении его с применением СОЖ.

Результаты расчета (рис.2-4) показали, что для разрушения алмазных и эльборовых зерен требуется большее ударное усилие, чем для электрокорундовых; с увеличением расстояния трещин от вершин выступа необходимая разрушающая нагрузка увеличивается; для разрушения выступа при продольном соударении требуются большие нагрузки, чем при поперечном соударении. Полученные результаты хорошо согласуются с известными данными [3-5].

На основании вышеизложенного можно сделать вывод о том, что в реальных условиях правки виды ударов контактирующих выступов зависят от их взаимоположения в момент соударения, что приводит к разным результатам явлений удара и эффекта разрушения. Процесс разрушения можно регулировать путем ориентации выступов на контактирующих поверхностях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Броек Д.** Основы механики разрушения. – М.: Высшая школа, 1980. – 368 с.
2. **Тимошенко С.П.** Теория упругости. – М.: Наука, 1979. – 560 с.
3. **Королев А.В.** Исследование процессов образования поверхностей инструмента и детали при абразивной обработке. – Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1975. – 179 с.
4. **Григорян М.А.** Исследование и разработка алмазных роликов для профилирования червячных зубошлифовальных кругов: Дис. ... канд. техн. наук. – Тбилиси, 1982. – 113 с.
5. **Чеповецкий И.Х.** Основы финишной алмазной обработки. – Киев: Наукова думка, 1980. – 467 с.

НПО "Нейтрон" РА. Материал поступил в редакцию 23.01.1999.

Մ.Ա. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ

ԱԼՄԱՍՏԵ ՀԱՏԻԿԻ ԴԻՆԱՄԻԿ ԱՇԽԱՏԱՆՔԻ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆԸ ՈՒՂՂՄԱՆ ԺԱՄԱՆԱԿ

Հիմնավորվել են ելունների հարվածների երեք տեսակներ՝ լայնակի, երկայնակի և շեղ: Ճաքագոյացման տեսությամբ որոշվել են ելունների քայքայման ուժերի մեծությունները: Բացահայտվել է, որ ավաստե հատիկների ելունների քայքայման սահմանային ուժն ավելի մեծ է, քան էլեկտրականորոնդե և էլբորե հատիկներինը: Երկայնակի հարվածի ժամանակ ելունների քայքայման համար պահանջվում են ավելի մեծ դինամիկ բեռներ, քան լայնակի և շեղ հարվածների ժամանակ:

M.A. GRIGORYAN

DYNAMIC OPERATION STUDIES OF DIAMOND GRAINS DURING DRESSING

Three kinds of projection collisions are established: traversal, longitudinal and diagonal. Destructive projection force size based on the cracking theory is defined. It is established that for diamond grain projection destruction the critical destruction force is greater than for elbor and electrical corundum ones, during longitudinal collision greater dynamic loads are required than during a transversal and diagonal stroke. The destruction process can be regulated by means of projection orientations in tools.

Ռ.Վ. ԿՆՅԱՉՅԱՆ, Վ.Հ. ՂՈՒԿԱՍՅԱՆ

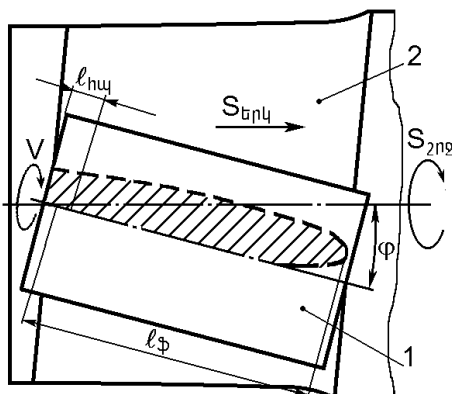
ԳԼԱՆԱՅԻՆ ՖՐԵՉՈՎ ԳԼԱՆԱՅԻՆ ՄԱԿԵՐԵՎՈՒՅԹՆԵՐԻ ՄՇԱԿՄԱՆ
ԳՈՐԾՆԹԱՅԻ ՌԵԺԻՄԱՅԻՆ ՊԱՐԱՄԵՏՐԵՐԸ

Նկարագրվում է գլանային մակերևույթները գլանային ֆրեզներով մշակելու սկզբունքներն նոր եղանակ, որի դեպքում դետալը և ֆրեզը տեղադրվում են խաչվող առանցքներով, նրանց հաղորդվում է պտտական շարժում, իսկ ֆրեզին նաև երկայնական մատուցում՝ մշակվող մակերևույթի առանցքի ուղղությամբ: Տրված են մշակման գործընթացի ռեժիմային պարամետրերը որոշող արտահայտությունները: Միևնույնի առանձնահատկությունը ֆրեզի անհամաչափ դիրքն է դետալի նկատմամբ:

Առանցքային բառեր. մետաղների մշակում, գլանային ֆրեզ, գլանային մակերևույթ, արտադրողականություն:

Արտաքին գլանային մակերևույթների մշակումը, որը սովորաբար իրականացվում է շրջատաշմամբ, առաջարկվում է իրագործել ֆրեզերային մշակման միջոցով: Ֆրեզներով գլանային մակերևույթների մշակումը՝ շրջանային ֆրեզում, համեմատած կտրիչով շրջատաշման հետ, մեծ եզրաչափեր ունեցող գլանային մակերևույթների մշակման ավելի արդյունավետ գործընթաց է՝ պայմանավորված ֆրեզի կտրող եզրերի մեծությամբ, որոնք պարբերաբար են մասնակցում կտրման գործընթացին: Դա հնարավորություն է ստեղծում մեծացնելու գործիքի կայունությունը և մշակման արտադրողականությունը: Ֆրեզման ժամանակ թույլեական մատուցումը երեք անգամ մեծ է շրջատաշման դեպքում թույլեական մատուցումից, ֆրեզի կայունությունը երկու անգամ մեծ է կտրիչի կայունությունից [1]: Մշակման ռեժիմի պարամետրերի ինտենսիվացումը, որը որոշում է գործընթացի արտադրողականությունը, ավելի է կարևորվում մեծ եզրաչափեր ունեցող մեքենամասերի մշակման ժամանակ:

Գլանային մակերևույթների ֆրեզերային մշակմամբ ստանում ենք մեխանիկական մշակման նոր՝ ավելի արտադրողական եղանակ՝ ավանդական շրջատաշման եղանակի



Նկար 1

համեմատ: Ի տարբերություն գրականությունից հայտնի շրջանային ֆրեզման սխեմաների, որտեղ, որպես կանոն, օգտագործվում են հատուկ գործիքներ՝ գլանային ֆրեզների հավաքածու, երբ մշակումն ընթանում է առանց երկայնական մատուցման, կամ գործիքն ունենում է անկյունային կտրող եզր, երբ մշակումն ընթանում է երկայնական մատուցմամբ [2], հետևաբար, այդ մշակման սխեմաներում գործիքի ծնիչը պետք է զուգահեռ լինի նախապատրաստվածքի առանցքին, իսկ առանցքները կա՛մ զուգահեռ են, կա՛մ հասվող (ստանդարտ գլանային

ֆրեզներով երկայնական մատուցման կիրառմամբ շրջանային ֆրեզումն իրականացնելու համար կիրառելի սխեմաներում ֆրեզի և նախապատրաստվածքի առանցքները խաչվող են):

Առաջարկվող մշակման եղանակի դեպքում դետալը և ֆրեզը տեղադրվում են խաչվող առանցքների վրա (նկ. 1): Ի տարբերություն [3]-ում առաջարկված սխեմայի՝ այս սխեմայում ֆրեզն իր և նախապատրաստվածքի առանցքների պրոյեկցիաների հատման կետի նկատմամբ տեղադրված է անհամաչափորեն, ինչի շնորհիվ ֆրեզի կտրող եզրերը մաշվում են հավասարաչափ: Ինչպես և ֆրեզերային մշակման ժամանակ, գլխավոր շարժումը՝ V -ն հաղորդում են 1 ֆրեզին, իսկ մատուցման շարժումները՝ համապատասխանաբար, $S_{շրջ}$ -ը՝ 2 նախապատրաստվածքին, իսկ $S_{երկ}$ -ը՝ ֆրեզին: Սովորազգծված մասը ցույց է տալիս կտրման մակերևույթի սահմանները:

Մշակման ռեժիմի հիմնական պարամետրերը առաջարկվող մեթոդի դեպքում: Կտրման արագությունը, ինչպես և սովորական ֆրեզման դեպքում, [4] որոշվում է հետևյալ արտահայտությամբ՝

$$V = \frac{\pi d_{\Phi} n_{\Phi}}{1000} [m/min], \quad (1)$$

ո րտեղ d_{Φ} -ը և n_{Φ} -ը համապատասխանաբար ֆրեզի տրամագիծն ու պտուտաթվերն են:

Առաջարկվող մշակման եղանակով գլանային մակերևույթներ ստանալու համար անհրաժեշտ է, որ դետալի մեկ պտույտի ընթացքում ֆրեզը շրջանային մատուցման ուղղությամբ տեղաշարժվի դետալի շրջագծի երկարության չափով՝ $\pi d_{\text{նախ}}$, իսկ երկայնական մատուցման ուղղությամբ՝ դետալի և ֆրեզի հպման այն $\ell_{\text{հպ}}$ երկարությամբ, որի դեպքում ապահովվում է դետալի պահանջվող տրամագիծը: Այսինքն՝

$$S_{\text{րոպ}_{շրջ}} = \pi d_{\text{նախ}} n_{\eta}, \quad S_{\text{րոպ}_{շրջ}} = S_{z_{շրջ}} z n_{\Phi}, \quad (2)$$

$$S_{\text{րոպ}_{երկ}} = \ell_{\text{հպ}} n_{\eta}, \quad S_{\text{րոպ}_{երկ}} = S_{z_{երկ}} z n_{\Phi}, \quad (3)$$

որտեղ $S_{\text{րոպ}_{շրջ}}$ -ը և $S_{\text{րոպ}_{երկ}}$ -ը համապատասխանաբար ընդհանուր մատուցման շրջանային և երկայնական բաղադրիչներն են, $S_{z_{շրջ}}$ -ը և $S_{z_{երկ}}$ -ը ֆրեզի մեկ ատամին ընկնող մատուցման շրջանային և երկայնական բաղադրիչներն են, n_{η} -ն դետալի պտուտաթիվն է, z -ը՝ ֆրեզի ատամների թիվը: (2) և (3) արտահայտություններից դժվար չէ որոշել ֆրեզի մեկ ատամին ընկնող մատուցումները՝

$$S_{z_{շրջ}} = \frac{\pi d_{\text{նախ}}}{z} \frac{n_{\eta}}{n_{\Phi}}, \quad (4)$$

$$S_{z_{երկ}} = \frac{\ell_{\text{հպ}}}{z} \frac{n_{\eta}}{n_{\Phi}}: \quad (5)$$

Գումարային S_z մատուցումը ֆրեզի ատամի՝ դետալի մակերևույթի վրայով անցած պարուրակային գծի երկարությունն է, որը բնութագրվում է մեկ ատամին ընկնող շրջանային և երկայնական մատուցումներով:

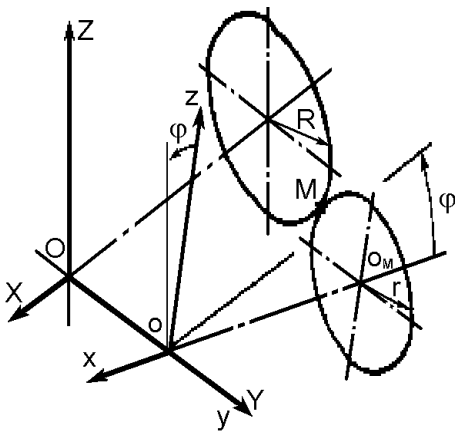
$$S_z = \sqrt{S_{z_{\text{ըզ}}}^2 + S_{z_{\text{ըկ}}}^2} : \quad (6)$$

Տեղադրելով $S_{z_{\text{ըզ}}}$ և $S_{z_{\text{ըկ}}}$ -ի արժեքները, (4 և 5)-ից կստանանք ֆրեզի մեկ ատամին համապատասխանող, մեկ պտույտին համապատասխանող և բոլորական մատուցումները՝

$$S_z = \frac{n_\eta}{zn_\Phi} \sqrt{(\pi d_{\text{նախ}})^2 + \ell_{\text{հպ}}^2} [\text{մմ}], \quad (7)$$

$$S_{\text{պտ}} = \frac{n_\eta}{n_\Phi} \sqrt{(\pi d_{\text{նախ}})^2 + \ell_{\text{հպ}}^2} [\text{մմ/պտ}], \quad (8)$$

$$S_{\text{րոպ}} = n_\eta \sqrt{(\pi d_{\text{նախ}})^2 + \ell_{\text{հպ}}^2} [\text{մմ/րոպ}]: \quad (9)$$



Նկար 2

Եթե նախապատրաստվածքը ներկայացնենք ինչ-որ անշարժ OXYZ կոորդինատային համակարգում գտնվող գլանային մակերևույթի տեսքով, իսկ ֆրեզը շարժական $oxyz$ կոորդինատային համակարգում (նկար 2), ապա նախապատրաստվածքին և ֆրեզին պատկանող M կետի կոորդինատները կարտահայտվեն հավասարումների հետևյալ համակարգով.

$$\begin{cases} X_M = x_M \cos \varphi + Z_M \sin \varphi, \\ Y_M = R + r - t + y_M, \\ Z_M = -x_M \sin \varphi + Z_M \cos \varphi, \end{cases} \quad (10)$$

որտեղ X_M -ը, Y_M -ը, Z_M -ը և x_M -ը, y_M -ը, z_M -ը M կետի կոորդինատներն են համապատասխանաբար անշարժ և շարժական կոորդինատային համակարգերում,

$$R = d_{\text{նախ}}/2, r = d_\Phi/2:$$

Ինչպես արդեն ասվել է, $\ell_{\text{հպ}}/2$ -ը ֆրեզի այն մասի երկարությունն է, որը մշակման ժամանակ ապահովում է դետալի պահանջվող չափի ստացումը Δ ճշտությամբ: Պետք է որոշել ֆրեզի այն կետի x կոորդինատը, որին համապատասխանող շրջանագիծն անցնում է նախապատրաստվածքի $R-t+\Delta$ շառավղով շրջանագծի $S_{z_{\text{ըզ}}}/2$ - ին համապատասխանող կետով:

(10)-ից ստանում ենք այդ կետի կոորդինատները.

$$\begin{cases} Y_M = (R - t + \Delta) \cos \frac{\xi}{2}, \\ Z_M = (R - t + \Delta) \sin \frac{\xi}{2}, \end{cases} \begin{cases} Y_M = R + r - t - y, \\ Z_M = \frac{\ell_{\text{հայ}}}{2} \sin \varphi + \sqrt{r^2 - y^2} \cos \varphi, \end{cases} \quad (11)$$

որտեղ $\xi = 2S_z/d_{\text{նախ}}$, (4)- ից տեղադրելով S_z -ի արժեքը, կստանանք .

$$\xi = \frac{2S_z}{d_{\text{նախ}}} = \frac{2\pi n_\eta}{z n_\Phi} :$$

Համապատասխան ձևափոխություններից հետո ստանում ենք .

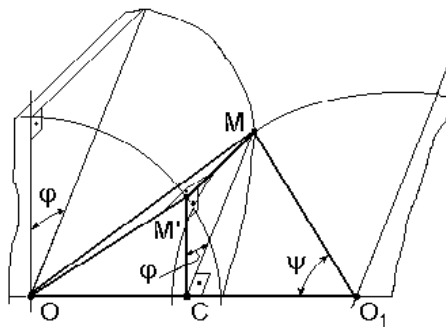
$$\ell_{\text{հայ}} = \frac{(R - t + \Delta) \sin \xi/2 - \sqrt{r^2 - (R + r - t - (R - t + \Delta) \cos \xi/2)^2} \cos \varphi}{\sin \varphi} : \quad (12)$$

Ակնհայտ է, որ կտրման խորության փաստացի արժեքը հավասար է դետալի մինչև մշակումը՝ $d_{\text{նախ}}$, և մշակումից հետո ստացված՝ d_η , տրամագծերի տարբերության կեսին՝

$$t_{\Phi_{\text{աստ}}} = \frac{d_{\text{նախ}} - d_\eta}{2} [\text{մմ}] : \quad (13)$$

Իրական կտրման խորությունը տարբերվում է փաստացի կտրման խորությունից, քանի որ առաջարկվող սխեմայով մշակման ժամանակ հեռացվող մետաղի շերտը հանվում է աստիճանաբար: Իրական կտրման խորությունը՝ $t_{\text{իր}}$, կարելի է որոշել, ընդունելով, որ այն հավասար է նախապատրաստվածքի $X=\ell_{\text{հայ}}$ -ին համապատասխանող հարթությունում դետալի և նախապատրաստվածքի մեկ լրիվ պտույտից հետո ստացված մակերևույթի շառավիղների տարբերությանը: (10) հավասարումների համակարգում ընդունելով $y=-r$, $z=0$ և կատարելով որոշակի ձևափոխություններ, ստանում ենք.

$$t_{\text{իր}} = \sqrt{\left(\frac{d_{\text{նախ}}}{2} - t_{\Phi_{\text{աստ}}}\right)^2 + S_{z_{\text{երկ}}}^2 z^2 \frac{n_\Phi^2}{n_\eta^2} \text{tg}^2 \varphi} - \frac{d_\eta}{2} [\text{մմ}] : \quad (14)$$



Նկար 3

Կոնտակտի ψ անկյան արժեքը կարելի է որոշել $\triangle OO_1M$ - ից՝ (նկար 3):
 $OM^2 = OO_1^2 + O_1M^2 - 2 OO_1 O_1M \cos \psi$:
 $O_1M = r = d_\Phi/2$,
 $OO_1 = d_{\text{նախ}}/2 + r - t_{\Phi_{\text{աստ}}}$,
 $R = d_{\text{նախ}}/2 - t_{\Phi_{\text{աստ}}} + t_{\text{իր}}$:
 OM -ը որոշվում է $\triangle OM'M$, $\triangle MM'C$ և $\triangle O_1CM$ եռանկյուններից:

$$\cos \psi = \frac{(R + r - t_{\Phi_{\text{աստ}}})^2 + r^2 - R^2 - r^2 \sin^2 \psi \sin^2 \varphi}{2r(R + r - t_{\Phi_{\text{աստ}}})} : \quad (15)$$

Ստացված տրանսցենդենտ հավասարումից կարելի է որոշել ψ անկյան արժեքը: Արդյունքների համակարգչային վերլուծության մեթոդով ստացվել է փորձարարական արտահայտություն, որը ցույց է տալիս ψ անկյան կախվածությունը ֆրեզի շրջման φ անկյունից, կտրման իրական խորությունից՝ $t_{\text{իր}}$, ֆրեզի և նախապատրաստվածքի տրամագծերից.

$$\psi = \frac{e^{4.386} \varphi^{0.0517} t^{0.6791} d_{\text{նախ}}^{0.139}}{d_{\text{ֆ}}^{0.688}} : \quad (16)$$

Ֆրեզման B լայնությունը՝ ֆրեզի կտրող եզրերի ակտիվ աշխատող մասի երկարությունն է՝ $B = l_{\text{ֆ}} + l_{\text{հայ}}/2$: $l_{\text{ֆ}}$ -ը կարելի է որոշել (10) արտահայտությունից.

$$(R + r - t + y_M)^2 + (z_M \cos \varphi - \ell_{\text{ֆ}} \sin \varphi)^2 = R^2 : \quad (17)$$

(17) արտահայտության հիման վրա կատարվել են հաշվողական փորձեր և ստացվել է $l_{\text{ֆ}}$ -ը: Այսպիսով, ֆրեզման լայնությունը՝

$$B = \frac{e^{4.513} t^{0.649} d_{\text{ֆ}}^{0.329} d_{\text{նախ}}^{0.225}}{\varphi^{1.246}} + \frac{\ell_{\text{հայ}}}{2} [\text{մմ}] : \quad (18)$$

Առաջարկվող մշակման մեթոդի առավելությունը ավանդական մշակման մեթոդների համեմատ երկու ուղղություններով մատուցման առկայությունն է, որն ապահովում է արտաքին գլանային մակերևույթների մշակումը ֆրեզմամբ և շրջատաշման հետ համեմատած բարձրացնում է գործընթացի արտադրողականությունը:

Միևնույն կտրման արագության (V) և խորության (t) դեպքում առաջարկվող մշակման եղանակը (շրջատաշման հետ համեմատած) ավելի արդյունավետ գործընթաց է, ինչն ակնհայտ է համապատասխան թույլեական մատուցման մեծությունների հարաբերությունից.

$$\frac{S_{\text{րոպ}_{\text{ֆ}}}}{S_{\text{րոպ}_{2\text{րջ}}}} = \frac{d_{\text{նախ}} z}{d_{\text{ֆ}}} \frac{S_z}{S_{\text{պտ}_{2\text{րջ}}}} , \quad (19)$$

որտեղ $S_{\text{պտ}_{2\text{րջ}}}$ -ը և $S_{\text{րոպ}_{2\text{րջ}}}$ -ը համապատասխանաբար շրջատաշման ժամանակ դետալի մեկ պտույտի մատուցման և թույլեական մատուցման արժեքներն են: Այս արտահայտությունից հետևում է նաև, որ առաջարկվող մշակման եղանակի արդյունավետությունը մեծանում է մշակվող նախապատրաստվածքի տրամագիծը մեծացնելիս:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Аршинов В.А., Алексеев Г.А.** Резание металлов и режущий инструмент. - М.: Машиностроение, 1976. - 440 с.
2. **Мархасин Э.Л., Петросянц А.А.** Фрезерование тел вращения. - М.: -Машгиз, 1960. - 112 с.
3. **А.с. ¹874274 СССР, А1 В23С 3/04.** Способ обработки поверхностей вращения / **А.И. Сумин, Ю.П. Холмогорцев, В.И. Купринов** (СССР).- ¹ 3958133/25-08; Заявлено 22.07.85; Оpubл. 30.11.87, Бюл. ¹ 44. -2 с.
4. **Грановский Г.И., Грановский В.Г.** Резание металов. - М.: - Высшая школа, 1985. - 303 с.

ՀՊՃՀ. Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 17.09.1998:

Р.В. КНЯЗЯН, В.Г. ГУКАСЯН

РЕЖИМНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ВРАЩЕНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ФРЕЗОЙ

Описывается принципиально новый метод обработки поверхностей вращения цилиндрической фрезой, при котором деталь и фрезу устанавливают на скрещивающихся осях и сообщают им вращение, а фрезе еще и продольное перемещение вдоль оси обрабатываемой поверхности. Приведены формулы, определяющие режимные параметры процесса. Особенностью схемы является асимметричное расположение фрезы относительно детали.

R.V. KNYAZYAN, V.G. GHUKASSYAN

OPERATING CONDITIONS OF ROTATION SURFACE PROCESSING BY A CYLINDRICAL MILLING CUTTER

A new method of rotation surface processing by a cylindrical milling cutter is described. The part and the cutter are installed on crossed axes and the rotation is transferred to them. The longitudinal displacement along the machined surface is also transferred to the cutter. The formulas determining the operating conditions of the process are given. The characteristic property of the circuit is the asymmetric arrangement of the cutter relative to the part.

Н.Н. САРКИСЯН

РАЗРАБОТКА И АНАЛИЗ МЕТОДА ЭКВИВАЛЕНТНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ СЛУЧАЙНОЙ НАГРУЖЕННОСТИ

Предложен метод эквивалентного программирования случайной нагруженности машиностроительных конструкций, пригодный как для "жесткого", так и для "мягкого" способов схематизации реального процесса. Дается анализ предложенного метода, который может существенно сократить время испытаний, поскольку в программе реализуются только амплитуды напряжений, вызывающие усталостное повреждение.

Ключевые слова: долговечность, коэффициент широкополосности, метод схематизации, программное нагружение.

В процессе обработки машиностроительных конструкций большое внимание уделяется стендовым вибрационным испытаниям, имитирующим условия их реальной эксплуатации. Как правило, программы стендовых испытаний составляют на основе имеющейся статистики по распределению нагрузок и числа циклов их, полученных для существующих конструкций аналогичного класса [1, 2 и др]. Следовательно, наиболее точная информация о долговечности конструкции может быть получена, если в процессе испытаний воспроизводится реальный спектр нагрузок, характерный для проектируемой машины. Тогда условие эквивалентности нагружения для стендовых испытаний может быть записано как

$$S_{\sigma}^p(\omega) = S_{\sigma}^c(\omega), \quad (1)$$

где $S_{\sigma}^p(\omega)$, $S_{\sigma}^c(\omega)$ - энергетические спектры реального и стендового нагружения.

Обеспечение равенства (1) требует проведения стендовых испытаний при случайном нагружении, что не всегда возможно. Определенные результаты по долговечности, близкие к долговечности при случайном нагружении, могут быть получены, если случайное распределение нагрузок заменить программным. При программных испытаниях нагрузки реализуются с помощью гармонического процесса, амплитуда которого изменяется согласно функции распределения амплитуд напряжений $f(\sigma_a)$ реального процесса. Кроме того, процесс нагружения с переменной частотой заменяется процессом с постоянной частотой в предположении, что в рассматриваемом частотном диапазоне этот фактор не оказывает влияния на долговечность. Тогда условие (1) можно переписать как

$$f^p(\sigma_a) = f^c(\sigma_a) \mid_{\omega=\text{const}}, \quad (2)$$

$$N^p = N^c, \quad (3)$$

где $f^p(\sigma_a)$ и $f^c(\sigma_a)$ - функции распределения эксплуатационных и стендовых амплитуд напряжений; N^p и N^c - число циклов амплитуд напряжений σ_a в реальных условиях и на стенде.

Таким образом, главной задачей при использовании программного нагружения является нахождение функции распределения амплитуд напряжений и статистических характеристик процесса нагружения либо аналитическими методами по расчетным статистическим характеристикам нагружения объектов [2-4], либо в результате обработки осциллографических записей случайного процесса одним из существующих методов схематизации [5-6 и др.].

Известно, что самым “жестким” методом схематизации (оказывающим наибольшее повреждающее действие) является метод максимумов, при котором за амплитуду процесса принимается его максимальное значение. Наименее “жестким” методом схематизации является метод размахов, при котором в качестве амплитуды принимается половина приращения процесса между двумя соседними экстремумами. Существует и множество других методов. Используя какой-либо метод схематизации случайного процесса, можно получить соответствующее распределение амплитуд.

В настоящей работе рассматриваются два метода схематизации: максимумов и размахов, для которых существуют аналитические выражения для функций распределения амплитуд. Эти функции распределения $f_{\max}(\sigma_a)$ и $f_{\text{разм}}(\sigma_a)$, а также условия (1) и (2), являются основной информацией при построении эквивалентных программ усталостных испытаний. Отметим также, что распределение амплитуд есть функция параметра широкополосности, коэффициент β которого равен отношению среднего числа экстремумов рассматриваемого процесса к среднему числу пересечений нулевого уровня.

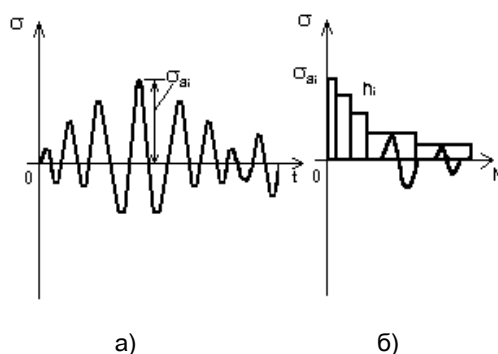


Рис.1. Пример составления программы (б) для узкополосного случайного процесса (а)

Как непрерывная реализация напряжений по числу циклов согласно функции $f(\sigma_a)$, так и дискретное ее представление предполагают гармоническую реализацию нагрузок. В этом случае наибольшего совпадения результатов усталостных испытаний при случайном и программном нагружениях следует ожидать для процессов с $\beta=1$, когда случайный процесс имеет характер биений, т.е. является узкополосным (рис.1а), и может быть приближенно представлен зависимостью

$$\sigma(t) = a(t) \sin \omega_0 t, \quad (4)$$

где ω_0 - средняя частота процесса; $a(t)$ - амплитуда (случайная функция времени).
 Для рассматриваемого процесса число максимумов и положительных пересечений нулевого уровня одинаково, и различие между программным и случайным нагружением заключается в упорядоченном чередовании дискретных амплитуд (рис.1б) согласно $f(\sigma_a)$, т.е. $f(\sigma_a)=f_{\max}(\sigma_a)$. При $\beta>1$ в случайном процессе появляются промежуточные экстремумы. Если два соседних максимума и минимума принять за размах, то его среднее значение σ_m , характеризующее смещение цикла, будет отлично от нуля (рис.2а).

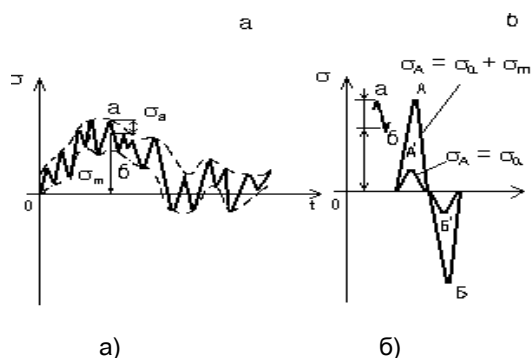


Рис.2. Пример составления программы (б) для широкополосного случайного процесса (а) по методу максимумов и размахов

Положим, что для составления программы используется функция плотности распределения максимумов $f_{\max}(\sigma_a)$. Тогда цикл аб (рис.2а), имеющий амплитуду σ_a и смещение цикла (m), заменяется в программе циклом АБ (рис.2б) с амплитудой

$$\sigma_A = \sigma_a + \sigma_m. \quad (5)$$

В соответствии со спрямленной диаграммой предельных состояний и кривой усталости (рис.3) можно оценить ошибку по долговечности, которая допускается заменой (5) реального случайного процесса нагружения. Эквивалентное по долговечности напряжение цикла с нулевым смещением запишется в виде

$$\sigma_a^{\circ} = \sigma_b \sigma_m / (\sigma_b - \sigma_m), \quad (6)$$

где σ_b - предел прочности материала.

Равенство $\sigma_a^{\circ}=\sigma_a$ справедливо в том случае, если $\theta=45^\circ$, что невозможно, так как тогда $\sigma_a=\sigma_b$. Поэтому $\sigma_a^{\circ}<\sigma_A$, и программное нагружение оказывается всегда более “жестким” по сравнению с исходным случайным процессом. Следовательно, замена случайного широкополосного процесса эквивалентным случайным нагружением дает заниженную долговечность, и ошибка $\Delta \lg N$ (рис.3) идет в запас прочности. Отметим, что чем больше β отличается от единицы, тем выше ошибка $\Delta \lg N$.

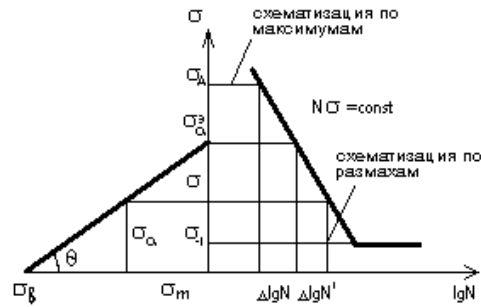


Рис.3. Сравнение долговечностей при использовании различных методов схематизации

Если для составления программы используется функция распределения плотности размахов $f_{\text{разм}}(\sigma_a)$, то в этом случае цикл ab (рис. 2а) заменяется в программе циклом $A'B'$ (рис.2б) без учета смещения цикла σ_m с амплитудой

$$\sigma'_A = \sigma_a. \quad (7)$$

В соответствии с диаграммой предельных состояний и кривой усталости (рис.3) можно оценить ошибку по долговечности, которая допускается заменой (7) реального случайного процесса нагружения. Эквивалентное по долговечности напряжение цикла с нулевым смещением запишется в виде (7). Равенство $\sigma_a^3 = \sigma'_A$ справедливо, если $\sigma_m=0$, т.е. $\beta=1$, и распределение размахов и максимумов совпадает. Для других случаев

$$\sigma'_A = \sigma_a^3, \quad (8)$$

и программное нагружение по сравнению с исходным случайным процессом оказывается более “мягким”. Следовательно, замена случайного широкополосного процесса эквивалентным программным нагружением дает завышенную долговечность, и ошибка $\Delta \lg N'$ (рис.3) идет в опасную сторону. Асимметрию процесса учитывают по диаграмме предельных состояний, где каждому сочетанию $\sqrt{\langle \sigma^2 \rangle_i}$ и β_k будет соответствовать точка в плоскости с координатами $\lg N, \sqrt{\langle \sigma^2 \rangle}$ (рис.4).

Используя известную линейную гипотезу суммирования усталостных повреждений в виде $\sum n_i / N_i = a$ (здесь n_i и N_i - соответственно число циклов действия и разрушающее число циклов для напряжения i -й амплитуды; a - некоторое положительное число), можно оценить гипотезу суммирования усталостных повреждений при замене случайного процесса программным. Так как доля общего числа циклов каждого уровня напряжений σ_{ai} в программе составляет n_i , а каждого уровня амплитуды σ_a случайного процесса и соответствующих ему смещений цикла σ_{mi} с учетом (6) и (8) - n_j , то ошибка в накоплении повреждений запишется в виде

$$\varepsilon = \sum n_i / N_i - \sum n_j / N_j. \quad (9)$$

Из анализа выражения (9) можно отметить, что при составлении программ испытаний, согласно схематизации по максимумам и размахам, ошибка ε меняет знак, т.е. $\varepsilon > 0$ при схематизации по максимумам и

$\varepsilon < 0$ - при схематизации по размахам. Следует ожидать, что $\varepsilon \rightarrow 0$ при $\beta \rightarrow 1$. Использование выражения (9) затруднено тем, что каждый цикл нагрузки в случайном процессе необходимо приводить к эквивалентному, что практически невозможно, если отсутствует запись реального процесса. Тем не менее, выражение (9) удобно при исследовании замены случайного процесса программным при использовании различных методов схематизации.

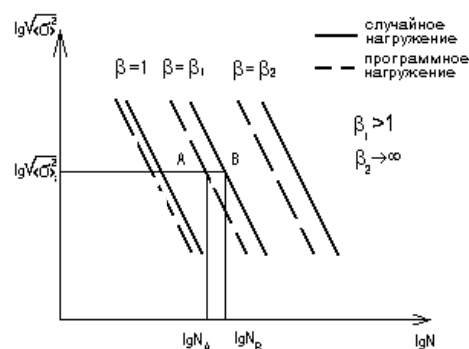


Рис.4. Сравнение долговечностей при случайном и программном нагружениях для процессов с различной структурой

Таким образом, решая задачу эквивалентной замены случайного процесса нагружения программным, можно утверждать, что ни один из методов схематизации не дает повреждения, адекватного повреждению при случайных нагрузках. Однако преимущество программных испытаний заключается в их относительно простой реализации на виброоборудовании. Долговечности, полученные методом схематизации по максимумам при программном нагружении, являются наименьшими, и составление программ можно проводить по расчетным статистическим характеристикам случайной нагруженности объекта и функции распределения максимумов напряжений. Кроме того, испытания по программам являются форсированными. Сокращение времени испытаний достигается за счет того, что в программе реализуются не все амплитуды напряжений, а только те, которые вызывают усталостное повреждение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гасснер Е. Программные (эксплуатационные) усталостные испытания применительно к самолетным конструкциям // Усталость самолетных конструкций. - М.: Оборонгиз, 1961. - С. 20-45.
2. Яценко Н.Н. Колебания, прочность и форсированные испытания грузовых автомобилей. - М.: Машиностроение, 1972. - 152 с.
3. Гусев А.С. О распределении амплитуд в широкополосных случайных процессах при схематизации их по методу полных циклов // Статистические методы расчетов. - М.: Машиноведение. - 1974. - 1.1. - С.25-32.
4. Райс С. Теория флуктуационных шумов // Теория передачи электрических сигналов при наличии помех. - М.: ИЛ, 1953. - С. 50-59.

5. Гольд Б.В. Прочность и долговечность автомобиля. - М.: Машиностроение, 1974. - 90 с.
6. Дмитриченко С.С., Благовещенский Ю.Н., Нерсисян Р.В. Использование эмпирических распределений амплитуд напряжений для накопленного повреждения // Вестник машиностроения. - М. - 1969. - ¹ 5. - С.30-38.

ԵրАСИ. Материал поступил в редакцию 15.02.1998.

Ն.Ն. ՍԱՐԳՍՅԱՆ

ՊԱՏԱՀԱՎԱՆ ԲԵՌՆՎԱԾՈՒԹՅԱՆԸ ՀԱՄԱՐԺԵՔ ԾՐԱԳՐԱՎՈՐՄԱՆ ՄԵԹՈԴԻ ՄՇԱԿՈՒՄ ԵՎ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆ

Առաջարկված է մեքենաշինական կառուցվածքների պատահական բեռնվածությանը համարժեք ծրագրավորման մեթոդ, որը կիրառելի է իրական գործընթացի սխեմայացման ինչպես օկոշտ, այնպես էլ փափուկ եղանակների համար: Առաջարկված մեթոդը կարող է էապես կրճատել փորձարկման ժամանակը, քանի որ ծրագրում իրացվում են լարման միայն այն լայնությունները, որոնք առաջացնում են հոգնածային վնասվածք: Տրվում է մեթոդի վերլուծությունը:

N.N. SARGSYAN

ANALYSIS AND ELABORATION OF EQUIVALENT PROGRAMMING METHOD OF RANDOM LOADING

A method of equivalent programming for random loading is suggested for machine-building constructions. This method is suitable for real process schemed both for "hard" and "soft" methods. The analysis of the suggested method can really decrease the experimental time, since the strain amplitudes causing the fatigue damage are realized in this program.

А.А. АЛАЯН, А.Ю. СУЛЕЙМАН

МЕДНОАЛЮМИНИЕВЫЕ СПЛАВЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ МЕТОДОМ ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

Исследованы структуры и свойства беспористых алюминиевых бронз, полученных методом порошковой металлургии. Сделан сравнительный анализ с аналогичными бронзами, полученными пирометаллургией.

Ключевые слова: цветные металлы, порошковая металлургия, бронзы, антифрикционные свойства, механические свойства.

Развитие современной техники непосредственно связано с созданием новых материалов, способных работать при высоких и низких температурах, больших нагрузках и скоростях, в агрессивных средах, а также в условиях граничного и сухого трения. Традиционные материалы, получаемые на основе черных и цветных металлов, в большинстве случаев не отвечают этим требованиям. Что же касается сплавов меди и алюминия, то уровень их антифрикционных свойств на сегодня практически исчерпан. Известный принцип Шарпи реализован только на заливочных сплавах Sn–Pb–Sb (баббиты) и оказался непригодным для создания перспективных триботехнических материалов. Отсутствие единых концептуальных положений по разработке материалов, обладающих повышенной износостойкостью и малым коэффициентом трения, серьезно сдерживает развитие исследований в этом направлении (1,2).

Попытки применения пористых материалов в узлах трения при чрезмерно легких (менее 0,1 МПа и 0,1 м/с) и тяжелых (более 10 МПа и 4...10 м/с) режимах работы не увенчались успехом [3,4]. Основной причиной выхода из строя пористых деталей машин является схватывание, возникающее при достижении внешней нагрузки или скорости скольжения критических величин. Это объясняется тем, что пленка смазочного материала либо разрушается, либо выгорает (коксуется). Кроме того, наблюдается фильтрация смазки через поры, что существенно снижает гидродинамическое давление в зоне трения и тем самым несущую способность материала (3). В местах контакта возникают также температурные зоны, которые вызывают локальное разупрочнение и разрушение (5). К этому следует добавить, что структурная пористость резко снижает теплопроводность, а сами поры, являясь концентраторами напряжений, вызывают ускоренный износ.

Согласно молекулярно-механической (адгезионно-деформационной) теории трения (1,6), внешнее трение осуществляется с минимальной работой в случае, если прочность адгезионной связи между контактируемыми поверхностями меньше прочности нижележащих слоев, т.е. если имеет место положительный градиент механических свойств по глубине:

$$d\sigma_x/dZ > 0, \quad (1)$$

где σ_x - разрушающее напряжение; Z - координата.

Условие (1) обеспечивает внешнее трение, при котором сдвиговые деформации сосредотачиваются в тонком поверхностном слое, не нарушая целостности контактируемых материалов. Если же адгезионная связь прочнее, то возникает отрицательный градиент механических свойств:

$$d\sigma_x/dZ < 0, \quad (2)$$

при котором происходит схватывание трущихся поверхностей, сопровождаемое глубинным вырыванием материалов пары трения. Адгезионное (молекулярное) взаимодействие проявляется в тонких слоях (до $\sim 100 \cdot 10^{-10} \text{ м}$) и оценивается безразмерным параметром σ_m/σ_s , где σ_m – сопротивление на сдвиг молекулярной связи; σ_s – предел текучести материала. Деформационное (механическое) взаимодействие охватывает глубинные слои ($\sim 10 \dots 20 \text{ мкм}$) и характеризуется соотношением h/r , где h и r – параметры шероховатостей поверхности трения. При различных значениях h и r обеспечиваются: $h/r \leq 2,4E\sigma_s/\xi$ - упругий контакт; $h/r > 2,4E\sigma_s/\xi$ - пластический контакт, где E – модуль упругости материала; ξ - деформация.

Однако процессы трения и износа сопровождаются не только упругими и пластическими деформациями, но и фазовыми превращениями (структурными переходами) в поверхностных слоях. Таким образом, эффективность работы пары трения определяется не только «исходной структурой» материалов, но и «вторичной структурой», формируемой в процессе их фрикционного взаимодействия. Как видно, решение задачи заключается в установлении корреляционной связи между «исходной» и «вторичной» структурами, а следовательно, в рациональном управлении процессами трения и износа.

В этой связи нами была поставлена задача: практически реализовать принципы создания антифрикционных материалов, основываясь на положениях молекулярно-механической теории трения и износа. Это значит, что, обеспечивая положительный градиент механических свойств по глубине, вся деформация при трении будет сосредотачиваться в тонком поверхностном слое, предотвращая его от катастрофического разрушения и глубинного вырывания. Разработка материала осуществлялась на медь-алюминиевом сплаве (Cu-Al), получившем название «алюминиевой бронзы», ранее созданной в качестве заменителя латуни и оловянистой бронзы (7).

В настоящее время алюминиевые бронзы занимают ведущее место среди медных сплавов. Однако по антифрикционным свойствам они уступают оловянистым бронзам и потому не нашли применения в узлах трения. Между тем, известно (1-4), что в подшипниках скольжения широкое применение находят твердые смазки (сульфиды, селениды, фториды, фосфиды, нитриды, хлориды и др.), которые в процессе трения образуют на контактируемых поверхностях защитные пленки (так называемые «вторичные структуры») и сохраняют работоспособность узлов трения в возможно большем диапазоне скоростей и нагрузок, в том числе и экстремальных. Именно это обстоятельство имелось в виду при выборе Cu-Al сплавов. Выбор данных сплавов обосновывался еще и тем, что медные сплавы (кроме бериллиевой и некоторых алюминиевых бронз) не принимают термической обработки, а следовательно, их

механические свойства и износостойкость определяются химическим составом и его влиянием на структуру. Именно дисперсионное твердение Cu-Al сплавов в процессе термической обработки (закалка → старение) явилось вторым определяющим условием его выбора в качестве исходного (матричного) сплава.

Алюминиевые бронзы обычно содержат не более 11%Al. Для анализа их структуры и фазовых превращений достаточно рассмотреть часть диаграммы состояния Cu-Al со стороны меди. В меди растворяется до 7,4%Al при 1035 °C, 9,4%Al при 565 °C и около 9,0% Al – при комнатной температуре.

Фаза β основана на соединении Cu_2Al электронного типа с электронной концентрацией 3/2. Эта фаза является аналогом β - фазы в латуни и имеет ОЦК решетку. При 565 °C β - фаза претерпевает эвтектоидный распад $\beta \rightarrow \alpha + \gamma_2$. При традиционных методах получения алюминиевых бронз, т.е. литьем или литьем с последующей деформацией, они обладают рядом недостатков, таких как: большая усадка, склонность к газонасыщению и окисляемости во время плавки, образование крупнокристаллической столбчатой структуры с шиферным изломом.

Целью данной работы является изучение структуры и свойств сплавов на основе системы Cu-Al, полученных методом порошковой металлургии. Технология получения заключалась в следующем: порошки меди марки ПМС-1 и алюминия марки ПА-4 в соотношении 10% Al и остальное - Cu увлажняли раствором глицерина в спирте и смешивали. Цилиндрические заготовки изготавливали прессованием, спекали и подвергали экструзии. Смазку (спиртовая суспензия стеарата цинка) наносили на рабочие поверхности пресс-формы. Нагрев перед экструзией проводили в водороде при температуре 950(1000 °C с выдержкой 0,5 ч.

Экструдированные образцы отжигали в водороде при температуре 650 °C и выдержке 1,0 ч. Затем определяли механические свойства и проводили металлографический анализ. Твердость сплава ПБрА10 составляла $\text{HВ}=1460 \text{ МПа}$ [8]. Для определения механических свойств были изготовлены образцы размерами $l=30 \text{ мм}$ и $d=5 \text{ мм}$ (по немецкому стандарту). Получено: $\sigma_b=550 \text{ МПа}$, $\delta=21\%$, $\psi=3\%$. Ударную вязкость определяли на образцах $l=40 \text{ мм}$ с сечением $6 \times 6 \text{ мм}$, $K_{cu}=25 \text{ Дж/см}^2$.

Согласно диаграмме состояния, количество эвтектоида ($\alpha + \gamma_2$) должно быть 25%, однако количественный анализ шлифов ПБрА10, проведенный методом случайных секущих по С. Салтыкову и методом точек по Г. Глаголеву [9], показал в среднем 40%.

В соответствии с диаграммой состояния (рис.1) при равновесных условиях [10], кроме эвтектоидного превращения при 565 °C, происходит перетектоидное превращение при 363 °C с образованием α_2 - фазы. Именно поэтому количество избыточной фазы оказалось больше после отжига при 650 °C (1 ч.) и последующего медленного охлаждения с печью до 300 °C.

По аналогичной технологии были получены также сплавы Cu-Al-Fe. Железо при комнатной температуре практически не растворяется в меди, однако при высоких температурах растворимость повышается.

Так, по Хансену [11], растворимость Fe в Cu соответственно равна: 4,0; 1,7; 1,04; 0,54 и 0,15% при 1083, 930, 852, 770 и 635 °C.

Естественно, что и в тройной системе растворимость железа будет уменьшаться с понижением температуры. Кроме того, железо с алюминием образует ряд интерметаллидов - Al_3Fe , Al_3Fe_2 , Al_2Fe и AlFe_3 , из которых наиболее вероятным является Al_3Fe .

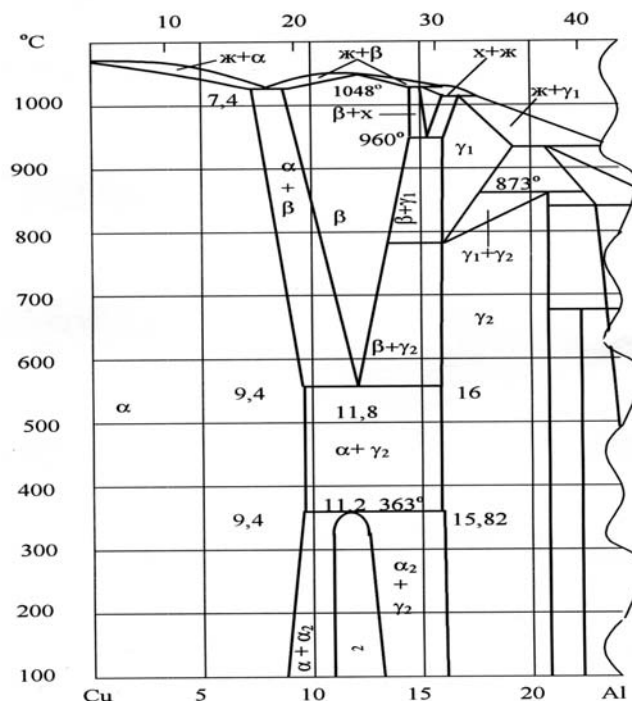


Рис.1. Диаграмма состояния системы Cu-Al

Металлографический анализ сплава 86%Cu, 10%Al, 4%Fe, полученного экструзией, отжигом при 635 °C, выдержкой 1 ч, медленным охлаждением с печью до 300 °C, показал, что в сплаве имеется около 4% Al_3Fe (рис.2а), другие избыточные фазы отсутствуют или их очень мало. Закалка сплава с 950 °C приводит к уменьшению количества Al_3Fe до 3% и появлению нераспавшейся β - фазы (рис.2б).

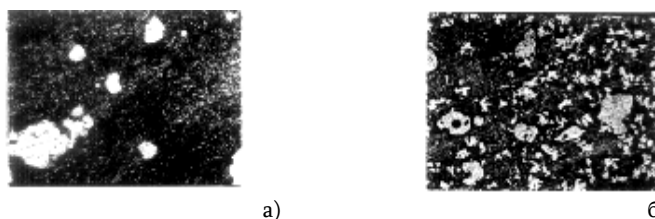


Рис.2. Микроструктура сплава ПБрАЖ10-4: а - отжиг $\times 100$;
б - закалка $\times 100$

Прочность алюминиевых бронз, полученных по порошковой технологии, несколько выше, чем у базовых (1460 и 940 МПа), а пластичность одинаковая (21,0%). Для алюминиевожелезных бронз твердость также выше, однако пластичность ниже. Закалка с 950 °C

приводит к увеличению твердости, хотя возможно, что при больших выдержках результаты несколько изменятся (табл.).

Таблица

Механические свойства сплавов

Марка сплава	σ_b , МПа	K_{cu} , Дж/см ²	ψ , %	δ , %	НВ, МПа
БрА10	520	-	-	21,0	940
ПБрА10	550	25	3,0	21,0	1460
БрАЖ9-3 (литье)	570	-	-	26,0	1090
ПБрАЖ10-4	550	16	4,8	6,8	1840
БрАЖ10-4(закалка)	620	-	-	17,0	1190
ПБрАЖ10-4(закалка)	686	24,8	5,1	4,3	2075

Сравнительный анализ порошковых алюминиевых бронз со стандартными бронзами показал:

- перспективность сплавов, полученных методом порошковой металлургии;
- порошковые сплавы в значительной мере лишены недостатков, имеющих в бронзах, получаемых по традиционной технологии;
- подтверждается наличие фазы α_2 , отвечающей составу 11,2% алюминия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Крагельский И.В.** Трение и износ. – М.: Машиностроение, 1968. – 430 с.
2. **Манукян Н.В.** Технология порошковой металлургии. – Ереван: Айастан, 1986. – 232 с.
3. **Машков А.Д.** Пористые антифрикционные материалы. – М.: Машиностроение, 1968. – 430 с.
4. **Федорченко И.М., Пугина П.И.** Композиционные спеченные антифрикционные материалы - Киев: Наукова думка, 1980. – 404 с.
5. **Игнатъев З.В., Чичинадзе А.В.** К вопросу учета влияния остаточных изменений в материалах при расчетном определении температуры при торможении // Тепловая динамика и моделирование внешнего трения. – М.: Наука, 1975. – С. 71 – 82.
6. **Bowden F.P., Tabor D.** Brit. Y. Appe. Phy. – 1966- V. 17. – P .1680.
7. **Смирягин А.П., Смирягина Н.А., Белов А.В.** Промышленные цветные металлы и сплавы. – М.:Металлургия. 1974. – с.
8. **Масленников Ф.И.** Лабораторный практикум по металловедению. – М.: Машиностроение, 1964. – 232 с.
9. **Салтыков С.А.** Стереометрическая металлография. – М.: Металлургия, 1970. – 375 с.
10. **Сучков Д.И.** Медь и ее сплавы. – М.: Металлургия, 1967. – 248 с.
11. **Ханес М., Андерко К.** Структура двойных сплавов. – М.: Металлургиздат, 1962. – 357 с.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 16.05.1999.

Ա.Ա. ԱԼԱՅԱՆ, Ա.ՅՈՒ. ՍՈՒԼԵՅՄԱՆ

**ՓՈՇԵՄԵՏԱԼՈՒՐԳԻԱԿԱՆ ԵՂԱՆԱԿՈՎ ՍՏԱՑՎԱԾ ՊՂՆԶԱԱԼՅՈՒՄԻՆԱՅԻՆ
ՀԱՄԱՁՈՒԼՎԱԾՔՆԵՐ**

Ուսումնասիրվել և հետազոտվել են փոշեմետալուրգիական եղանակով ստացված անձակոտկեն ալյումինային բրոնզների միկրոկառուցվածքները և հատկությունները: Կատարված է դրանց վերլուծության համեմատությունը նույնանման, բայց սովորական եղանակով ստացված բրոնզների հետ:

A.A. ALAYAN, A.Y. SULEYMAN

ALUMINIUM BRONZES MADE BY METHOD OF POWDER METALLURGY

The structure and characteristics of unperishable aluminium bronzes made by the method of powder metallurgy have been studied. A comparative analysis with similar bronzes is made by traditional methods.

Ա. Մ. ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ, Ժ. Հ. ՂՈՒԿԱՍՅԱՆ, Լ. Ե. ՍԱՐԳՍՅԱՆ

ՆԱՏՐԻՈՒՄԻ ՍՈՒԼՖԻԴԻ ՍՏԱՑՈՒՄԸ ՍՈՒԼԲԴԵՆԱՅԻՆ ԽՏԱՆՑՈՒԹՅՈՒՆԻ ԲՈՎՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՑՈՒՄ ԳՈՅԱՑՈՂ ԾՕՄԲԱՅԻՆ ԳԱԶԵՐԻՑ

Բերված են սուլֆիդային մոլիբդենային խտանյութերի հրամետալուրգիական վերամշակման ժամանակ գոյացող բովման գազերից դեֆիցիտ հարստացուցիչ ազդանյութի՝ նատրիումի սուլֆիդի ստացման տեխնոլոգիական գործընթացի առանձնահատկությունները: Ցույց է տրված ծծումբ պարունակող գազային արտանետումների վնասազերծման և ծծմբի օգտագործման հնարավորությունը որպես ոչ պակաս կարևոր հանքանյութի բաղադրիչ:

Առանցքային բառեր: մոլիբդենային խտանյութ, հրամետալուրգիական վերամշակություն, բովման գազեր, ծծմբի օգտագործում, նատրիումի սուլֆիդ:

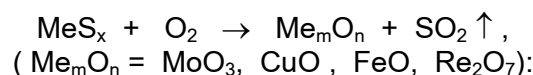
Սուլֆիդային հանքանյութերի (ինչպիսին մոլիբդենային խտանյութերն են) հրամետալուրգիական վերամշակման պրակտիկայում ամենապրոբլեմային խնդիրը բովման գործընթացի գազային արգասիքների վնասազերծումն է:

Սուլֆիդենային խտանյութերը, բացի ծծումբ պարունակող հիմնական բաղադրիչից՝ մոլիբդենիտից (MoS_2), պարունակում են նաև խալկոպիրիտ (CuFeS_2), պիրիտ (FeS_2), ռենիումի դիսուլֆիդ (ReS_2) և այլն: Ծծմբի ընդհանուր պարունակությունը Քաջարանի հանքահարստացուցիչ ֆաբրիկայի կողմից թողարկվող մոլիբդենային խտանյութում կազմում է 35,0...36,0 %, իսկ Ագարակի կոմբինատի խտանյութում՝ 33,6...34,0 %:

Արդյունաբերական պրակտիկայում մոլիբդենային խտանյութերի վերամշակումը մեծ մասամբ սկսվում է օքսիդացնող բովումից, որի ընթացքում խտանյութից գրեթե ամբողջությամբ հեռանում է ծծումբը՝ գազերի տեսքով: Բովված խտանյութում մնացորդային ծծումբը կազմում է 0,1...2,5 %՝ կախված գործընթացն իրականացնող վառարաններից:

Հետազոտությունների համար որպես ելանյութ օգտագործվել է Քաջարանի պղնձամոլիբդենային կոմբինատում թողարկվող ապրանքային մոլիբդենային խտանյութը: Օքսիդացնող բովման գործընթացի ուսումնասիրությունը ցույց է տվել, որ մոլիբդենի դիսուլֆիդի և թթվածնի փոխազդման ռեակցիան սկսվում է 385 °C-ից, այնուհետև 425 °C-ից ինտենսիվորեն ընթանալով, ավարտվում է 580 °C-ում [1]:

Խտանյութում առկա ծծմբային միացությունները, փոխազդեցության մեջ մտնելով թթվածնի հետ, առաջացնում են համապատասխան մետաղների օքսիդներ և ծծմբային գազ՝



Օքսիդային միացություններից ամենադյուրահալը՝ Re_2O_7 -ը ($t_{\text{հալմ.}} = 297^\circ\text{C}$ և $t_{\text{եռմ.}} = 363^\circ\text{C}$) տաքացման ընթացքում ինտենսիվորեն անցնում է գազային ֆազ և ծխագազերի ու փոշու հետ միասին հեռանում բովման ագրեգատից: Ճանապարհին, նախքան ծծմբային գազի վնասազերծումը,

գազային արգասիքներից նախ որսվում է փոշին ու հետ ուղարկվում դեպի բովման ագրեգատ, այնուհետև առանձին սխեմայով կորզվում է ռենիումի օքսիդը: Մնացած գազային արգասիքները, SO_2 -ից բացի, կարող են մասամբ պարունակել նաև SO_3 , որի գոյացման համար որպես կատալիզատոր կարող են հանդես գալ պղնձի ու երկաթի օքսիդները և հատկապես մոլիբդենի եռօքսիդը [2]:

Ծծմբային գազերի օգտագործման առավել ձեռնտու տարբերակ է ընտրվել նրանց կլանումը NaOH -ի ջրային լուծույթով՝ նպատակ ունենալով ստանալ նատրիումի սուլֆատ, իսկ վերջինիս հետագա ածխաթերմիկ վերականգնումով՝ հանքահարստացման պրակտիկայում լայն պահանջարկ վայելող ու ներկայումս մեծ քանակությամբ Հանրապետություն ներկրվող նատրիումի սուլֆիդ (Na_2S) ազդանյութը:

Փոշեռսումից և ռենիումի օքսիդի կորզումից հետո գազերը վակուումային պոմպի օգնությամբ ուղղվում են դեպի NaOH -ի լուծույթով լի սարքը՝ հաջորդաբար միացված աշտարակներից, որոնց մեջ նախապես տեղադրվում են 20...25 մմ երկարությամբ և 4...6 մմ տրամագծով ապակյա խողովակներ՝ գազ-լուծույթ շփման մակերեսի մեծացման նպատակով: Աշտարակներում լուծույթի միջավայրը (pH) պարբերաբար ստուգվում է համապիտանի ինդիկատորային թղթի օգնությամբ: Լուծույթի չեզոքանալը նշանակում է, որ այն արդեն հագեցել է SO_2 գազով: Այդ դեպքում տվյալ աշտարակն անջատվում է հաջորդական շղթայից, և գործընթացը շարունակվում է հաջորդ աշտարակներում: Տեխնոլոգիայի լիարժեքությունն ապահովելու նպատակով հետազոտվել է ծծմբային գազի լուծելիության աստիճանը՝ կախված NaOH -ի կոնցենտրացիայից: Պարզվել է, որ ծծմբային գազերի արդյունավետ կլանման համար բավարար է NaOH -ի 5 %-անոց լուծույթը:

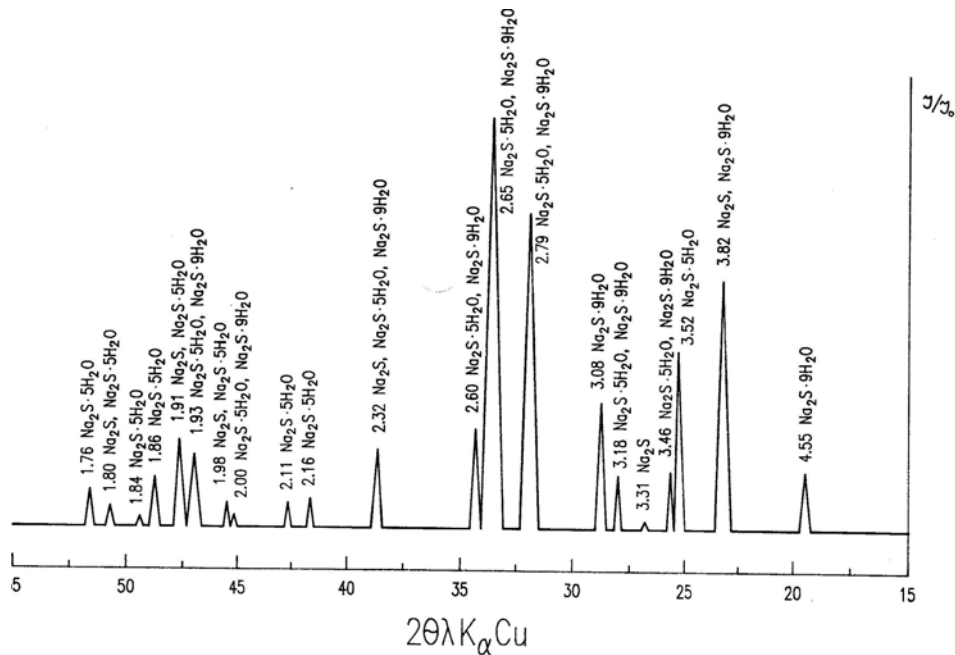
Ստացված չեզոք լուծույթները բյուրեղացման են ենթարկվել սենյակային ջերմաստիճանում, լայն ապակյա բյուրեղացուցիչում, 48 ժամվա ընթացքում: Ստացված թափանցիկ բյուրեղները ենթարկվել են ռենտգենակառուցվածքային հետազոտության (DPOH-2,0): Նմուշի նկարահանումն իրականացվել է $\text{Cu K}\alpha$ - ճառագայթմամբ՝ Հեյկեր-Մյուլլերի իոնիզացիոն հաշվիչով: Վերլուծությամբ պարզվել է, որ այն գլաուբերյան աղ է (Na_2SO_4 և $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$):

Մնացորդային H_2O խմբի հեռացման նպատակով ստացված աղը չորացվել է 230°C - ում և անմիջապես ենթարկվել ռենտգենակառուցվածքային վերլուծության [3], որից պարզվել է, որ այն միայն անջուր Na_2SO_4 է՝ $d_\alpha = 3,92 \cdot 10^{-10}$ մ; $3,75 \cdot 10^{-10}$ մ; $3,47 \cdot 10^{-10}$ մ; $2,79 \cdot 10^{-10}$ մ; $2,62 \cdot 10^{-10}$ մ միջհարթությունային հեռավորության բնորոշ գծերով:

Նատրիումի սուլֆիդի (Na_2S) ստացման համար անջուր աղը ենթարկվել է ածխաթերմիկ վերականգնման ($\text{Na}_2\text{SO}_4 + 2\text{C} \rightarrow \text{Na}_2\text{S} + 2\text{CO}_2$): Որպես վերականգնիչ օգտագործվել է լամպային մուրը: Նատրիումի սուլֆատի և լամպային մրի համապատասխան բաղադրությամբ խառնուրդը գրաֆիտե տիգելի մեջ տաքացվել է էլեկտրական վառարանում 950°C - ում 1 ժամ տևողությամբ, որից հետո ջերմաստիճանը իջեցվել է մինչև 150°C և տիգելը դուրս է բերվել վառարանից: Վերականգնված աղը, բացի նատրիումի սուլֆիդից, պարունակում է նաև գործընթացի ընթացքում երկրորդական ռեակցիաների հետևանքով գոյացող այլ խառնուրդներ ($0,5...2,5\%$ Na_2SO_3 , $1...3\%$ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, $5...13\%$ Na_2CO_3 , մինչև 15% չլուծվող նյութեր և մինչև 8% ավելցուկային ածուխ [4]): Այդ խառնուրդներից մաքրելու նպատակով, վերականգնված արգասիքը մշակվել է ջրով ($\sim 60^\circ\text{C}$),

այնուհետև գտելուց հետո լուծույթը նորից է ենթարկվել բյուրեղացման փակ խոնավագերծիչի մեջ, սենյակային ջերմաստիճանում ($20...25\text{ }^{\circ}\text{C}$):

Ռենտգենակառուցվածքային վերլուծության արդյունքների համադրումը նատրիումի սուլֆիդի ստանդարտ տվյալների հետ (նկ., աղ.) ցույց է տալիս, որ սինթեզված նյութը փոփոխական բաղադրության տեխնիկական ծծմբային նատրիում է (նատրիումի սուլֆիդ) $\text{Na}_2\text{S} \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ($n = 1...9$):



Նկ. Սինթեզված նատրիումի սուլֆիդի դիֆրակտոգրամը

Այդ մասին է վկայում դիֆրակտոգրամի վրա արտահայտված բազմապիսի առավելագույնների համակարգի գոյությունը, որոնցից խումբ առ խումբ նմանեցված են ինչպես անջուր նատրիումի սուլֆիդի, այնպես էլ 5 ու 9 բաժին կապակցված ջրով սուլֆիդների ստանդարտ ռենտգենաչափական տվյալների հետ: Դա նույնպես համաձայնեցվում է [4] գրականության տվյալների և ԳՕՍՏ 596 - 89 - ի հետ [5]:

Այսպիսով, փորձարարական ճանապարհով գտնված է մոլիբդենային խտանյութերի բովման գործընթացում գոյացող ծծմբային գազերի օգտագործումով նատրիումի սուլֆիդի հանքահարստացման ֆաբրիկաների կողմից լայն պահանջարկ ունեցող հարստացուցիչ ազդանյութի ստացման եղանակը:

Փորձարարական նատրիումի սուլֆիդի ռենտգենակառուցվածքային վերլուծության տվյալների համադրումը ստանդարտ տվյալների հետ $2(\theta = 15^\circ \dots 55^\circ)$ միջակայքում ($\lambda K_\alpha Cu$)

Միներալի արգասիք		Ստանդարտ միացությունների տվյալները								
		Na ₂ S [3]			Na ₂ S · 5 H ₂ O [3]			Na ₂ S · 9 H ₂ O [3]		
$d_{\alpha, \lambda}$ 10^{-10}Å	J/J ₀	$d_{\alpha, \lambda}$ 10^{-10}Å	J/J ₀	hKI	$d_{\alpha, \lambda}$ 10^{-10}Å	J/J ₀	hKI	$d_{\alpha, \lambda}$ 10^{-10}Å	J/J ₀	hKI
4,55	14							4,39	40	201
3,82	60	3,776	62	111				3,77	50	202
3,52	44				3,50	80	130			
3,46	14				3,46	5	112	3,50	10	212
3,31	2	3,269	5	200						
3,18	13				3,25	60	131;200	3,21	90	004;221
3,08	31							3,11	40	300
2,79	77				2,73	50	221;132	2,80	100	302
2,65	100				2,62	100	023	2,64	60	204
2,60	24				2,59	100	202;113	2,61	30	223;320
2,32	19	2,312	100	220	2,25	60	151;240	2,33	20	400
2,16	7				2,18	30	241;004			
2,11	6				2,13	5	310;043			
2,00	3				2,06	40	311;152	2,00	10	413
1,98	6	1,971	16	311	2,03	10	223;061			
1,93	18				1,998	29	242	1,945	50	206;315
1,91	21	1,888	1	222	1,911	20	330;312			
1,86	12				1,872	10	062;331			
1,84	2				1,845	5	134			
1,80	5	1,635	12	400	1,802	20	204			
1,76	9				1,778	10	044;243			

Առաջարկվող գործընթացի հետագա ներդրումը արտադրության մեջ հնարավորություն կընձեռի միաժամանակ լուծել ծծմբային գազերի վնասագերծման, դեֆիցիտ Na₂S-ի ստացման և այդպիսով, խտանյութում պարունակող ծծմբի լիակատար օգտագործման հարցը:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. Սարգսյան Լ.Ե., Հովհաննիսյան Ա.Մ., Ղուկասյան Ժ.Հ. Քաջարանի մոլիբդենային խտանյութի բովման պրոցեսի ուսումնասիրությունը դիֆերենցիալ թերմիկ եղանակով // ՀՀ ԳԱԱ Տեղեկագիր, գիտ. երկրի մասին.- 1995. - Հ. XLVIII, 2- 3.- Էջ 126-127.
2. Зеликман А. Н. Молибден. – М.: Металлургия, 1970.- 440 с.
3. Американская рентгенометрическая картотека. – ASTM (США).

4. Позин М.Е. Технология минеральных удобрений и солей. – Л.: Гос.хим.изд., 1956. – 352 с.
5. ГОСТ 596 - 89. Натрий сернистый технический (натрия сульфид). Технические условия.

ՀղձՀ. Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 17.02.1999:

А. М. ОГАНЕСЯН, Ж. Г. ГУКАСЯН, Л. Е. САРКИСЯН

**ПОЛУЧЕНИЕ СУЛЬФИДА НАТРИЯ ИЗ СЕРНИСТЫХ
ГАЗОВ, ОБРАЗУЮЩИХСЯ В ПРОЦЕССЕ ОБЖИГА
МОЛИБДЕНОВЫХ КОНЦЕНТРАТОВ**

Приводятся технологические особенности процесса получения дефицитного флотореагента – сульфида натрия из обжиговых газов, образующихся при пирометаллургической переработке сульфидных молибденовых концентратов. Показана возможность обезвреживания серосодержащих газовых выбросов и утилизации серы, как немаловажного компонента рудного сырья.

**A. M. HOVHANNISSYAN, Zh. H. GHUKASSYAN,
L.E. SARKISSYAN**

**OBTAINING OF SODIUM SULPHIDE FROM SULPHURIC DIOXIDE FORMING IN THE
PROCESS OF MOLYBDENUM
CONCENTRATE ROASTING**

Technological properties of such a deficit flotation reagent as sodium sulphide obtaining from the roaster gases formed at the pyrometallurgical processing of sulphide molybdenum concentrates have been adduced. The possibility of sulphur bearing gaseous effluents and sulphur utilization as the necessary component for ore raw materials has been reflected.

С.А. СУЛЕЙМАНЯН, М.С. АБРАМЯН

О МЕТОДИКЕ ПОДСЧЕТА СРЕДНЕГО СОДЕРЖАНИЯ ПОЛЕЗНЫХ КОМПОНЕНТОВ НА МЕГРАДЗОРСКОМ ЗОЛОТОРУДНОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ

Обобщены результаты сравнения среднеблочного содержания полезных компонентов на Меградзорском золоторудном месторождении до и после разработки. Приведены корреляционные зависимости между содержанием золота и мощностью рудного тела, а также содержанием золота и длиной влияния проб.

Ключевые слова: разубоживание, оруденение, выработка, опробование рудных тел.

При проведении эксплуатационно-разведочных и эксплуатационных работ на Меградзорском месторождении накоплен опыт об истинной морфологии рудных тел, а также об условиях их залегания, закономерностях распределения оруденения и др. В этой связи важно определить степень достоверности данных, полученных при детальной разведке, и сравнить их с показателями эксплуатации. Одним из таких показателей является среднеблочное содержание компонентов.

При этом были исключены из рассмотрения потери и разубоживание при разработке (эти данные были взяты из эксплуатационных отчетов месторождения [1]). Произведено сравнение среднеблочного содержания геологических блоков после разработки с их утвержденными содержаниями. Расчет среднеблочного содержания проводился следующим образом: если в одном геологическом блоке содержится несколько эксплуатационных блоков, то сумма произведений количества руды и содержания отдельных эксплуатационных блоков делится на сумму количества руды этих же блоков. Если же в одном эксплуатационном блоке содержатся части двух геологических блоков [разведочные блоки 7(2) - C_1 и 8(2) - C_1], то эти блоки рассматриваются как один суммарный геологический блок, т.е. несколько эксплуатационных блоков полностью охватывают весь суммарный геологический блок.

При сопоставлении данных разведки с данными эксплуатации обнаружилось (табл.1), что по среднеблочному содержанию имеются большие погрешности; расхождение по всем блокам колеблется в пределах 30(83%. Для выяснения причин такого большого расхождения были изучены результаты опробования разведочных выработок, а также методы определения средних содержаний компонентов по выработкам и блокам.

Оруденение Меградзорского месторождения относится к крайне неравномерному типу. В связи с этим был определен коэффициент вариации, вычисленный по данным опробования рудных тел месторождения на разных разведочных горизонтах, который превысил 150% (табл.2). Опробование рудного тела преимущественно

проводилось бороздовым способом [2]. Расстояние между опробованными пересечениями в разведочных выработках, пройденными по простирацию рудного тела, колебалось в пределах 1(2 м, реже 2,5 м. Однако в случае, если горная выработка не охватывала полную мощность рудного тела, колебание доходило до 10(15 м и более.

Таблица 1

Сопоставление среднего содержания компонентов по разведочным геологическим блокам с данными эксплуатации этих же блоков

Разведочные данные			Эксплуатационные данные		Погрешность, %
Номер геологического блока	Количество пересечений	Средне-блочные содержания по золоту, г/т	Номера эксплуатационных блоков	Средне-блочные содержания по золоту, г/т	По данным разведки и эксплуатации
Слепое рудное тело					
БЛ - 2(сл)-C ₁	79	15,4	6 / C ₁ , 6 / C ₂ 6 / C ₃ , 6 / C ₄	10,8	30
БЛ - 1(сл)-C ₂	79	15,2	5 / C ₁ , 5 / C ₂ , 5/C ₃	9,5	38
Первое рудное тело					
БЛ - 2 ^a (I) - C ₁	35	58,3	3/11	9,8	83
БЛ - 3 ^a (I) - C ₁	68	48,7	4/13,4/14	19,3	61
Второе рудное тело					
БЛ - 10(2) - C ₁	256	10,8	5/22,5/23, 5/24,5/25, 5/26	6,4	41
БЛ - 19(2) - C ₁	119	30,2	5/27,5/28	8,5	72
БЛ - 9(2) - C ₁	263	12,6	4/24,4/25, 4/26,4/27, 4/28	4,3	66
БЛ - 5(2) - C ₁	96	8,8	3/21,3/22, 3/23	3,6	60
БЛ - 7(2) - C ₁ , БЛ - 8(2) - C ₁	157	12,5	2/22,2/24 2/25	7,8	38

При детальной разведке подсчет запасов месторождения был произведен методом геологических блоков. Расчет среднего содержания по выработкам и блокам проводился способом уравнивания частных значений содержания рудных пересечений на мощность рудного тела. Известно, что вопрос о способе определения средних содержаний компонентов при значительных и незакономерных изменениях содержаний и неравномерном распределении опробованных пересечений до настоящего времени остается спорным. Нет единого мнения о том, в

каких случаях применять среднеарифметическое, а в каких - средневзвешенное содержание.

Таблица 2

Статистические характеристики исследуемых параметров Меградзорского месторождения

Абсолютная высота разведочных горизонтов и номера выработок	Длина рудного интервала, м	Количество пересечений	Коэффициент вариации по содержанию золота, %
Первое рудное тело			
2185(68)	51,0	17	134,4
2130(70)	30,8	13	86,8
2130(70)	55,0	18	110,85
2078(50)	201,7	101	242,6
2025(69)	135,0	54	80,78
1972(66)	237,0	75	178,1
1900(73)	223,7	112	314,2
Второе рудное тело			
2190(28)	75,9	11	177,8
2146(4)	63,5	44	249,7
2146(4)	131,9	86	121,9
2116(49)	141,4	44	227,6
2116(49)	111,3	52	212,0
2081(6)	238,1	159	720,8
2081(6)	196	68	133,5
2041(48)	135,4	51	169,3
2041(48)	208,7	69	149,5
2001(20)	85,1	42	261,0
2001(20)	311,9	146	504,6
1920(21)	94,15	30	286,3
1920(21)	178,3	89	314,7
1848(13)	45,9	19	155,6
1848(13)	43,4	20	142,6
Слепое рудное тело			
2003(27)	210,8	62	179,8
1933(40)	53,2	27	122,1
1933(40)	50,4	29	159,0
Девятое рудное тело			
1843(13)	208,5	58	183,2
1890(44)	36,7	11	145,2
1914(9)	67,0	29	229,9
1914(9)	62,8	33	288,2
1820(10)	160,2	51	104,7
Пятое рудное тело			
2086(58)	43,4	11	146,0
2053(65)	32,1	11	86,4
2013(52)	309,6	73	130,1
1974(66)	143,1	31	115,06
1974(66)	82,9	16	109,17

Коэффициент корреляции (r) и его значимость, r/m _r					
содерж.золота - мощность рудного тела		содерж.золота - длина влияния проб		содерж.золота - содерж. серебра	
r	r/m _r	r	r/m _r	r	r/m _r
Первое рудное тело					
+0,21	1,6	+0,13	0,58	+0,9	31,0
+0,23	0,88	-0,45	2,0	+0,9	247,5
+0,34	1,7	+0,18	0,8	+0,9	101,3
+0,06	0,6	-0,04	0,4	+0,9	25,6
-0,18	1,39	+0,02	0,93	+0,9	25,6
-0,05	0,48	-0,02	0,21	+0,2	121,3
-0,05	0,6	-0,01	0,11	+0,99	75,2
Второе рудное тело					
-0,22	0,78	+0,38	1,52	+0,9	18,2
-0,19	1,33	-0,66	0,43	+0,8	22,0
-0,14	1,33	-0,06	0,62	+0,8	22,0
-0,13	0,91	+0,18	1,26	+0,9	33,0
-0,24	0,79	-0,11	0,83	+0,9	32,1
+0,02	0,26	-0,04	0,6	+0,9	99,6
+0,36	3,4	-0,005	0,04	+0,9	13,6
+0,01	0,08	-0,1	0,14	+0,9	14,5
+0,11	0,92	+0,36	3,4	+0,9	19,7
+0,14	0,91	-0,13	0,88	+0,9	29,7
+0,06	0,8	-0,14	1,73	+0,1	1,2
-0,1	0,6	+0,5	3,72	+0,9	13,4
-0,17	1,66	-0,14	1,39	+0,8	11,1
-0,2	1,31	+0,02	0,08	+0,8	10,4
+0,08	0,37	-0,11	0,54	+0,8	11,4
Слепое рудное тело					
+0,25	2,2	-0,11	0,91	+0,9	18,5
-0,03	0,15	+0,26	1,46	+0,9	17,6
+0,14	0,77	+0,26	1,55	+0,8	10,4
Девятое рудное тело					
+0,05	0,39	-0,02	0,18	+0,8	13,8
-0,27	1,0	+0,11	0,37	+0,9	15,2
-0,03	0,16	+0,34	2,15	+0,6	5,9
+0,43	3,07	-0,08	0,47	+0,9	80,8
+0,48	4,8	+0,34	2,83	+0,8	16,9
Пятое рудное тело					
+0,5	2,27	-0,39	1,56	+0,8	20,3
+0,6	3,15	-0,12	0,41	+0,9	25,2
-0,19	1,72	+0,1	0,9	+0,8	20,4
-0,14	1,75	+0,17	1,0	+0,7	12,5
-0,44	2,2	-0,2	0,86	+0,8	15,4

В литературе имеются противоположные мнения по этому вопросу. Так, А.А. Якишин, А.А. Петров, Л.Ф. Залата и др. рекомендуют применять среднеарифметический способ, а В.М. Гутков, А.В. Карпов, В.И. Кузьмин и др. отдают предпочтение способу взвешивания [4, 5]. В [6] доказано, что применение средневзвешенного способа для определения среднего содержания компонентов целесообразно лишь при наличии прямой или обратной корреляции между содержанием данного компонента и

каким-либо другим параметром при неравномерной сети разведочных выработок, а применение среднеарифметического способа - при отсутствии корреляционной зависимости.

Как отмечено в [3], средневзвешенное содержание можно применять только в следующих случаях:

- когда среднее значение определяется по небольшому количеству исходных данных;
- при наличии четкой корреляционной связи между исходными величинами (например, между мощностью рудного тела и содержанием какого-либо компонента);
- при подсчете по блокам, ограниченным выработками различной длины.

Для установления связи между содержанием золота и серебра, содержанием золота в зависимости от мощности рудного тела, а также содержанием золота в зависимости от длины влияния проб был произведен расчет абсолютного значения коэффициента корреляции (r) и его значимости (r/m_r) (табл.2). Выяснилось, что между содержанием золота и серебра имеется корреляционная зависимость (коэффициент корреляции во всех случаях по абсолютной величине выше 0,5). Исходя из этого, далее расчеты производились только для содержания золота.

Зависимости между содержанием золота и мощностью рудного тела, а также от длины влияния проб отсутствуют. При этом абсолютное значение коэффициента корреляции между содержанием указанных компонентов в зависимости от мощности рудного тела в большинстве случаев колеблется в пределах от 0,01 до 0,43, в отдельных случаях достигает до 0,5(0,6 (пятое рудное тело), что составляет всего лишь 1% из общего числа данных, а между содержанием золота в зависимости от длины влияния проб - в пределах 0,01(0,45, в отдельных случаях достигает до 0,5 (второе рудное тело). Установлено, что вычисления средних содержаний вышеуказанных компонентов способом уравнивания частных значений содержания рудных пересечений в зависимости от мощности рудного тела или длины влияния проб в условиях рассматриваемого месторождения искажают среднее значение этих компонентов.

Исходя из того, что во всех блоках среднеблочное содержание компонентов определяется по большому количеству исходных данных, а также учитывая, что между этими величинами отсутствует четкая корреляционная связь, считается целесообразным:

- применять в этих условиях среднеарифметический способ для вычисления средних содержаний по выработкам и блокам;
- определять среднее содержание полезных компонентов по выработкам, пройденным по простиранию рудного тела, отношением суммы содержания всех проб к числу проб. Определение средних содержаний полезных компонентов (пройденных по мощности рудного тела) производить способом взвешивания частных содержаний на длину проб (при секционном опробовании). Этот способ общеизвестный и не вызывает разногласий;
- среднее содержание полезных компонентов по блокам, которые характеризуются двумя или более рудными интервалами, определять

отношением суммы содержания всех рудных интервалов, входящих в предел блока, к количеству проб;

- в тех блоках, которые характеризуются рудными интервалами различной длины, среднечетное содержание рассчитывать взвешиванием на длину рудных интервалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

6. **Давтян Ю.А.** Сводный отчет детальной разведки Меградорского месторождения (с генеральным подсчетом запасов по состоянию на 8.11.1983г.).
7. **Залата Л.Ф.** Об определении средних содержаний полезных компонентов в руде // Разведка и охрана недр. - 1963. - ¹ 8.
8. **Крейтер В.М.** Поиск и разведка полезных ископаемых. - М.: Госгеолиздат, 1960.
9. **Петров А.А.** О неприменимости метода взвешивания для расчета средних содержаний // Разведка и охрана недр. - 1962. - ¹ 3.
10. **Петров В.А.** О применении способов среднего арифметического и среднего взвешенного для расчета средних параметров при подсчете запасов полезных ископаемых // Советская геология. - 1965. - ¹ 2.
11. **Смирнов В.И.** Подсчет запасов минерального сырья. - М.: Госгеолиздат, 1969.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 10.01.1998

Ս.Հ. ՍՈՒԼԵՅՄԱՆՅԱՆ, Մ.Ս. ԱԲՐԱՀԱՄՅԱՆ

ՄԵԴՐԱԶՈՐԻ ՈՍԿՈՒ ՀԱՆՔԱՎԱՅՐԻ ՕԳՏԱԿԱՐ ԲԱՂԱԴՐԱՄԱՍԵՐԻ ՄԻՋԻՆ

ՊԱՐՈՒՆԱԿՈՒԹՅԱՆ ՀԱՇՎԱՐԿԻ ՄԵԹՈԴԻԿԱՅԻ ՄԱՍԻՆ

Բերված են Մեդրաձորի ոսկու հանքավայրի միջին բլոկային պարունակությունները մինչև շահագործումը և նրա ավարտից հետո: Բերված են նաև ոսկու պարունակության ու հզորության, ինչպես նաև ոսկու պարունակության և նմուշի ազդեցության երկարության միջև եղած հարաբերակցական կապերի տվյալները և ամփոփված են արդյունքները:

S.H. SULEIMANYAN, M.S. ABRAHAMYAN

ON METHODS OF USEFUL COMPONENT MEDIUM CONTENT COUNT AT THE MEGHRADZOR GOLD ORE FIELD

Mean-block useful content comparizon results at the Meghradzor gold ore field are generalized before and after the mining. The correlation dependences between the gold content and the capacity of the ore body, as well as the gold content and the length of gold standard influence are given.

В.С. ХАЧАТРЯН, С.Г. АКОПЯН, М.Г. ТАМРАЗЯН, А.А. НАШАТ

КОМПЛЕКСНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМА ЭЭС МЕТОДОМ
КЛАССИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

Вводится понятие расчета дооптимального допустимого установившегося режима, при котором учитываются ограничения типа неравенств, налагаемые на режимные переменные станционных узлов, благодаря чему модель нелинейного программирования оптимизации режима ЭЭС реализуется классическим методом Лагранжа.

Ключевые слова: модель, математическое программирование, электроэнергетическая система, активные и реактивные мощности, режим.

В последние годы при реализации математических моделей нелинейного программирования успешно применяется метод классического программирования [1,2]. Это связано с расчетом дооптимального допустимого установившегося режима, при котором учитываются ограничения типа неравенств, налагаемые на управляемые переменные станционных узлов.

В отличие от вышеотмеченных работ, в которых в качестве управляемых переменных выбираются активные мощности и модули напряжений (P-U), в настоящей работе выбираются активные и реактивные мощности (P-Q) электрических станций. Рассматривается следующая математическая модель оптимизации режима электроэнергетической системы (ЭЭС):

$$\min F(P) = \min \sum_{m=0}^{\Gamma} F_m(P_m), \quad (1)$$

$$\Phi_{pm} = P_m - \varphi_{pm}(U, \Psi) = 0, \quad \Phi_{qm} = Q_m - \varphi_{qm}(U, \Psi) = 0, \quad (2)$$

$$P_m^{\min} \leq P_m \leq P_m^{\max}, \quad Q_m^{\min} \leq Q_m \leq Q_m^{\max}, \quad U_m^{\min} \leq U_m \leq U_m^{\max}, \quad (3)$$

где m принимает значения от нуля до Γ .

Ограничения типа неравенств (3) учитываются при расчете дооптимального допустимого установившегося режима [3]. При этом из математической модели (1)-(3) исключаются условия (3), а модель (1), (2) реализуется методом классического программирования.

Из необходимого условия минимума вытекают следующие системы нелинейных алгебраических уравнений:

$$\partial F_0 / \partial P_0 - \lambda_{p0} = 0, \quad (4)$$

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial P_m} \\ \dots \\ \frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial Q_m} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{\partial \Phi_{qm}}{\partial P_m} \\ \dots \\ \frac{\partial \Phi_{qm}}{\partial Q_m} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \lambda_{pm} \\ \dots \\ \lambda_{qm} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial F_m}{\partial P_m} \\ \dots \\ 0 \end{bmatrix}, \quad (5)$$

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial U_m} \\ \frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial \Psi_m} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \lambda_{pm} \\ \lambda_{qm} \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} \frac{\partial \Phi_{p0}}{\partial U_m} \\ \frac{\partial \Phi_{p0}}{\partial \Psi_{um}} \end{bmatrix} \lambda_{p0}, \quad (6)$$

где $\lambda_{p0}, \lambda_{pm}, \lambda_{qm}$ – множители Лагранжа.

Частные производные, входящие в квадратные матрицы (5) и (6), определяются в виде:

- при одинаковых индексах:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial P_m} &= A_m + C_m P_m + \sum_{\substack{n=1 \\ n \neq m}}^{\Gamma} \alpha_{mn} P_n + \sum_{\substack{n=1 \\ n \neq m}}^{\Gamma} \beta_{mn} Q_n, \\ \frac{\partial \Phi_{qm}}{\partial P_m} &= -B_m + D_m P_m + \sum_{\substack{n=1 \\ n \neq m}}^{\Gamma} \gamma_{mn} P_n + \sum_{\substack{n=1 \\ n \neq m}}^{\Gamma} \delta_{mn} Q_n, \\ \frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial Q_m} &= B_m + C_m Q_m + \sum_{\substack{n=1 \\ n \neq m}}^{\Gamma} \alpha_{mn} Q_n - \sum_{\substack{n=1 \\ n \neq m}}^{\Gamma} \beta_{mn} P_n, \\ \frac{\partial \Phi_{qm}}{\partial Q_m} &= A_m + D_m Q_m + \sum_{\substack{n=1 \\ n \neq m}}^{\Gamma} \gamma_{mn} Q_n - \sum_{\substack{n=1 \\ n \neq m}}^{\Gamma} \delta_{mn} P_n; \end{aligned} \quad (7)$$

с другой стороны,

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial \Psi_{um}} &= -[Q_m - (P_m^2 + Q_m^2)\gamma_{mm}], & \frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial U_m} &= \frac{1}{U_m} [P_m - (P_m^2 + Q_m^2)\alpha_{mm}], \\ \frac{\partial \Phi_{qm}}{\partial \Psi_{um}} &= [P_m - (P_m^2 + Q_m^2)\alpha_{mm}], & \frac{\partial \Phi_{qm}}{\partial U_m} &= \frac{1}{U_m} [Q_m - (P_m^2 + Q_m^2)\gamma_{mm}], \end{aligned} \quad (8)$$

- при разных индексах:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Phi_{pn}}{\partial P_m} &= \alpha_{nm} P_n - \beta_{nm} Q_n, & \frac{\partial \Phi_{qn}}{\partial P_m} &= \gamma_{nm} P_n - \delta_{nm} Q_n, \\ \frac{\partial \Phi_{qn}}{\partial Q_m} &= \alpha_{nm} Q_n + \beta_{nm} P_n, & \frac{\partial \Phi_{qn}}{\partial Q_m} &= \gamma_{nm} Q_n + \delta_{nm} P_n, \end{aligned} \quad (9)$$

а также :

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial \Psi_{un}} &= [(P_m P_n + Q_m Q_n)\beta_{nm} + (P_m Q_n - Q_m P_n)\delta_{nm}], \\ \frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial U_n} &= \frac{1}{U_n} [(P_m P_n + Q_m Q_n)\alpha_{nm} + (P_m Q_n - Q_m P_n)\beta_{nm}], \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{\partial \Phi_{qm}}{\partial \Psi_{un}} &= [(P_m P_n + Q_m Q_n) \delta_{nm} - (P_m Q_n - Q_m P_n) \gamma_{nm}], \\ \frac{\partial \Phi_{qm}}{\partial U_n} &= \frac{1}{U_n} [(P_m P_n + Q_m Q_n) \gamma_{nm} + (P_m Q_n - Q_m P_n) \delta_{nm}].\end{aligned}\quad (10)$$

Частные производные $\partial \Phi_{p0} / \partial U_m$ и $\partial \Phi_{p0} / \partial \Psi_{um}$ определяются в виде

$$\begin{aligned}\frac{\partial \Phi_{p0}}{\partial U_m} &= -U_0 [g_{0m} \cos(\Psi_{u0} - \Psi_{um}) + b_{0m} \sin(\Psi_{u0} - \Psi_{um})], \\ \frac{\partial \Phi_{p0}}{\partial \Psi_{um}} &= -U_0 [g_{0m} \sin(\Psi_{u0} - \Psi_{um}) - b_{0m} \cos(\Psi_{u0} - \Psi_{um})] U_m.\end{aligned}\quad (11)$$

Если матричное уравнение (6) позволяет определить численные значения неопределенных множителей λ_{pm} и λ_{qm} :

$$\begin{bmatrix} \lambda_{pm} \\ \text{---} \\ \lambda_{qm} \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} \frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial U_n} & | & \frac{\partial \Phi_{qm}}{\partial U_n} \\ \text{---} & | & \text{---} \\ \frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial \Psi_{un}} & | & \frac{\partial \Phi_{qm}}{\partial \Psi_{un}} \end{bmatrix}^{-1} \times \begin{bmatrix} \frac{\partial \Phi_{p0}}{\partial U_n} \\ \text{---} \\ \frac{\partial \Phi_{p0}}{\partial \Psi_{un}} \end{bmatrix} \times \lambda_{p0}, \quad (12)$$

то матричное уравнение (5) устанавливает численные значения управляемых переменных P_m, Q_m :

$$\begin{bmatrix} P_m \\ \text{---} \\ Q_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_{mn}^1 & | & M_{mn}^2 \\ \text{---} & | & \text{---} \\ M_{mn}^3 & | & M_{mn}^4 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} T_m^I \\ \text{---} \\ T_m^{II} \end{bmatrix}. \quad (13)$$

Элементы блоков квадратной неособенной матрицы (13) являются функциями режимных параметров станционных узлов и неопределенных множителей $\lambda_{pm}, \lambda_{qm}$.

На основании вышеприведенных выражений предлагается соответствующий вычислительный алгоритм, сущность которого заключается в следующем. В качестве исходной информации задаются активные и реактивные мощности нагрузочных узлов. Выбором активных и реактивных мощностей независимых станционных узлов из заданной области их существования осуществляется расчет допустимого установившегося режима. Соответствующая система уравнений решается методом Ньютона-Рафсона, при этом устанавливается численное значение элементов допустимой матрицы Якоби. Транспонированную матрицу используют в выражении (12). Из (4), определяя численное значение λ_{p0} и используя его в (12), устанавливают значения множителей λ_{pm} и λ_{qm} .

На основании имеющихся допустимых режимных параметров и множителей λ_{pm} , λ_{qm} определяются численные значения подматриц, входящих в (13). Затем определяются новые значения управляющих параметров P_m и Q_m активных и реактивных мощностей независимых станционных узлов. Этим завершается первый этап итерации по расчету оптимального режима исследуемой ЭЭС.

На основании полученных новых значений P_m и Q_m осуществляется расчет нового допустимого установившегося режима и устанавливаются численные значения элементов матрицы Якоби. Дальнейшие действия осуществляются вышеописанным способом. В качестве критерия сходимости принимаются допустимые небалансы активных и реактивных мощностей независимых станционных узлов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Хачатрян В.С., Ибрагим А.И.** Оптимизация режима ЭЭС по реактивным мощностям прямым методом математического программирования при Z- форме задания состояния сети // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН.- 1997. -Т. 50, ¹2. - С. 89-95.
2. **Хачатрян В.С., Тамразян М.Г., Каримян А.С.** Оптимизация режима ЭЭС по P-U параметрам электрических станций // Сб. докл. 1-й межд.энерг.конф. в Армении. – Ереван, 1998. - С. 255-257.
3. **Хачатрян К.В., Нашат А.А., Мкртчян Г.С.** Расчет допустимого установившегося режима Z-эквивалентированной ЭЭС // Моделирование, оптимизация и управление: Сб. науч.тр.-2000. - Вып. 3. - С.104-109.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 12.02.1999.

**Վ.Ս. ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ, Ս.Հ. ՀԱԿՈՔՅԱՆ, Մ.Գ. ԹԱՄՐԱԶՅԱՆ,
Ա.Ա. ՆԱՇԱՏ**

**ԷԼԵԿՏՐԱԷՆԵՐԳԵՏԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ՀԱՄԱԼԻՐ ԼԱՎԱՐԿՈՒՄԸ ԴԱՍԱԿԱՆ
ԾՐԱԳՐԱՎՈՐՄԱՆ ՄԵԹՈԴՈՎ**

Թույլատրելի մինչև վարկման կայունացված ռեժիմի հաշվառմամբ, երբ նկատի են առնվում կայանային հանգույցների փոփոխականների վրա դրված անհավասարության տեսքի սահմանափակումները, էԷՀ-ի ոչ գծային ծրագրավորման մաթեմատիկական մոդելն իրացվում է Լագրանժի դասական մեթոդով:

**V.S. KHACHATRIAN, S.H. HAKOPYAN, M.G. TAMRAZIAN,
NASHAT ABO AMASH**

**COMPLEX MODE OPTIMIZATION OF THE ELECTRICAL POWER ENGINEERING
SYSTEM BY THE CLASSICAL PROGRAMMING METHOD**

Preoptimal admissible steady-state condition calculation is presented, taking into consideration constraints of equality type imposed on mode variables of stationary nodes. The nonlinear mode optimization programming of the electrical power system is realized by the Lagrange classical method.

Г.В. БАРЕГАМЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ СИММЕТРИРОВАННОЙ СХЕМЫ ПОЛУМОСТОВОГО ИНВЕРТОРА

Рассматривается полумостовая схема инвертора, содержащая автономно функционирующую симметрирующую цепь для искусственного выравнивания напряжений конденсаторного делителя. Описываются схема инвертора, временные диаграммы и принцип ее действия. Приводятся аналитические соотношения, характеризующие закономерности выравнивания. Сформулирована последовательность выбора параметров симметрирующего узла.

Ключевые слова: полумостовой инвертор, вентильная фаза, конденсаторный делитель, симметрирующая цепь.

В однофазных полумостовых инверторах из-за разности емкостей (имевшей место вследствие заводского разброса номиналов, процесса "старения" и пр.) напряжения конденсаторного делителя оказываются разными, что приводит к ряду отрицательных последствий. В частности, магнитопровод выходного трансформатора перемагничивается по несимметричному циклу, вследствие чего увеличиваются потери в нем и искажается форма передаваемого напряжения [1]. При этом может возникнуть даже одностороннее подмагничивание магнитопровода, появляется также низкочастотная труднофильтруемая составляющая в выходном напряжении. Поэтому для достижения высоких показателей весьма важно симметрирование напряжений конденсаторов.

В данной статье рассматривается полумостовая схема инвертора с отделенной от основных процессов и эффективно функционирующей симметрирующей цепью [2]. Схема инвертора (рис.1а) содержит основную вентильную фазу из ключевых транзисторов VT1, VT2 и возвратных диодов VD1, VD2, конденсаторную фазу из C1, C2 и выходной трансформатор TV1, на вторичной стороне которого включена нагрузка. Дополнительная вентильная фаза с элементами VT3, VT4, VD3, VD4 и L осуществляет симметрирование напряжений конденсаторов. При ощутимых выходных мощностях и синусоидальном напряжении последнее, обычно, формируется посредством широтно-импульсной модуляции (ШИМ). При этом путем попеременного переключения основных транзисторов VT1 и VT2 на выходе формируются двуполярные прямоугольные импульсы, ширины которых промодулированы по синусоидальному закону. После фильтрации (для простоты на рис.1а фильтр не показан) на нагрузке получается приблизительно синусоидальное напряжение. Симметрирующий узел представляет собой два совмещенных импульсных преобразователя постоянного напряжения инвертирующих типов, состоящих из элементов VT3, L, VD4 и VT4, L, VD3 соответственно. Причем первый преобразователь питается от конденсатора C1 и нагружен на C2, а второй питается от конденсатора C2 и нагружен на C1. Схема симметрирования работает следующим образом. При включении, например, транзистора

VT3 ток протекает по цепи C1 - VT3 - L - C1, т.е. от конденсатора C1 в дроссель передается энергия. При выключении VT3 эта энергия передается в C2 по цепи L - C2 - VD4 - L. В итоге переключением VT3

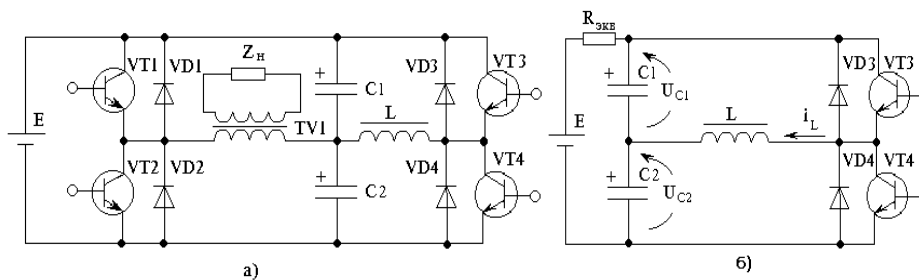


Рис.1. Схема симметрированного полумостового инвертора (а) и упрощенная схема его симметрирующей части (б)

энергия передается от конденсатора C1 в C2. Аналогичным образом работает и второй преобразователь. Здесь переключением транзистора VT4 энергия перекачивается от конденсатора C2 в C1. Таким образом, переключением транзисторов дополнительной фазы можно организовать непрерывный двусторонний энергообмен между конденсаторами и, тем самым, воздействовать на их напряжения.

Возможны различные алгоритмы работы ключей симметрирующего узла. В наиболее простом случае они переключаются с постоянной частотой, а длительности проводящих состояний транзисторов равны между собой. Этому соответствуют временные диаграммы рис.2, построенные для прерывистого режима тока дросселя, наглядно иллюстрирующие процесс выравнивания, когда $u_{C1} > u_{C2}$ ($C1 < C2$). По мере выравнивания напряжений импульсы тока принимают симметричную треугольную форму.

При анализе процессов выравнивания (рис.1б) вентили предполагаются идеальными, а пульсациями напряжений конденсаторов пренебрегаем. Приняты обозначения: α - длительность проводящего состояния транзистора; $\gamma = \alpha/T$ - коэффициент заполнения; $X_L = \omega L$, $X_{C1} = 1/\omega C1$, $X_{C2} = 1/\omega C2$ - сопротивления дросселя и конденсаторов; $\omega = 2\pi f$ - частота (круговая) переключения транзисторов; $\bar{C} = C2/C1$.

Предположим, что в исходном состоянии $u_{C1} > u_{C2}$ и $C1 < C2$. Процесс симметрирования начинается подачей управляющих импульсов на транзисторы VT3 и VT4. В первом периоде работы от конденсатора C1 отбирается энергия $W_1' = u_{C1}^{[1]2} \alpha^2 / 2L$, а затем возвращается величиной $W_1'' = u_{C2}^{[1]2} \alpha^2 / 2L$. Следовательно, разность этих энергий $\Delta W_1 = W_1' - W_1'' = E \Delta u^{[1]} \alpha^2 / 2L$ полностью передается в конденсатор C2. В результате энергообмена напряжения конденсаторов в начале второго периода составят

$$u_{C1}^{[2]} = u_{C1}^{[1]} \sqrt{1 - 4\pi^2 \gamma^2 \frac{E \Delta u^{[1]}}{u_{C1}^{[1]2}} \cdot \frac{X_{C1}}{X_L}}, \quad u_{C2}^{[2]} = u_{C2}^{[1]} \sqrt{1 + 4\pi^2 \gamma^2 \frac{E \Delta u^{[1]}}{u_{C2}^{[1]2}} \cdot \frac{X_{C2}}{X_L}}.$$

Продолжая аналогичным образом, приходим к рекуррентному соотношению вида

$$\bar{u}_{i+1} = \frac{\bar{u}_i (K - \bar{C}) + \bar{C}}{\bar{u}_i + K - 1}, \quad (1)$$

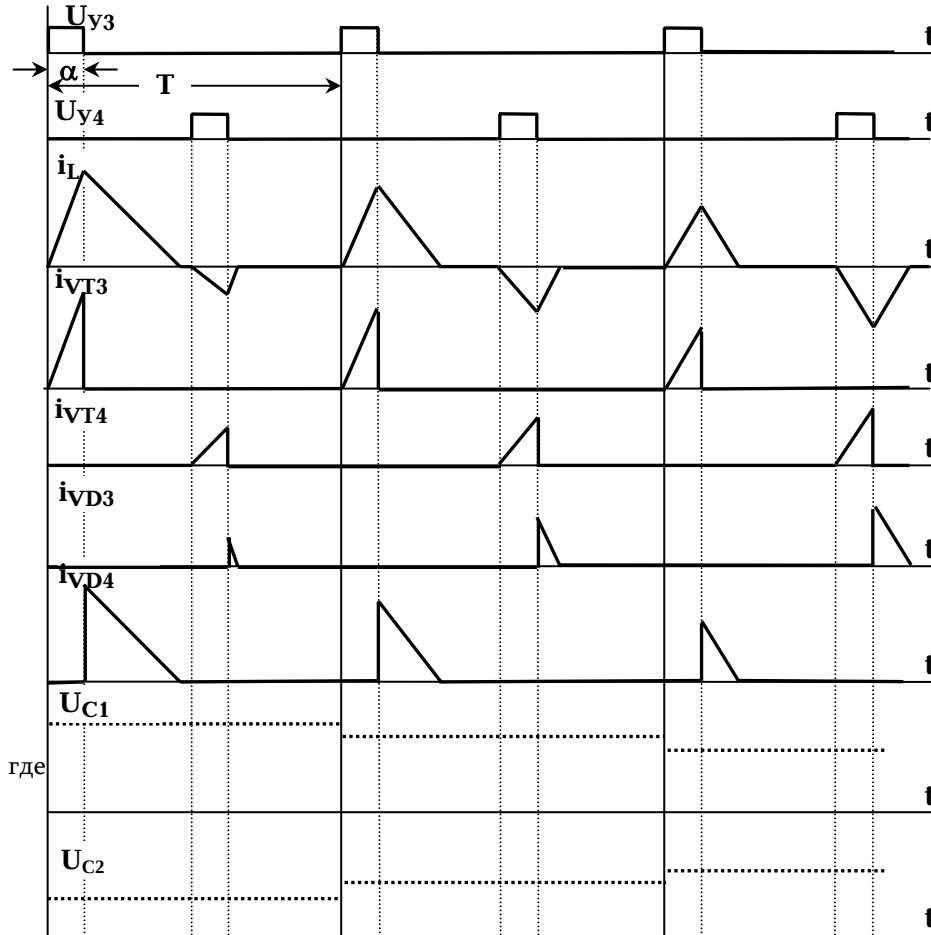


Рис.2. Временные диаграммы

$$\bar{u}_{i+1} = \left[\frac{u_{C1}^{[i+1]}}{u_{C2}^{[i+1]}} \right]^2, \quad \bar{u}_i = \left[\frac{u_{C1}^{[i]}}{u_{C2}^{[i]}} \right]^2, \quad K = \frac{X_L}{4\pi^2 \gamma^2 X_C}. \quad (2)$$

Соотношения (1) и (2) характеризуют закономерности процесса выравнивания напряжений. Как следует из них, чтобы $\bar{u}_{i+1} < \bar{u}_i$, должно выполняться условие

$$K > \bar{C} + 1. \quad (3)$$

При этом процесс сходится к единице с точностью ε после следующего количества итераций:

$$i \geq \lg[(\bar{C}^2 - 1)/\varepsilon] / \lg[K/(K - \bar{C} - 1)], \quad (4)$$

а длительность выравнивания напряжений равна

$$T_{\text{выр}} \approx iT. \quad (5)$$

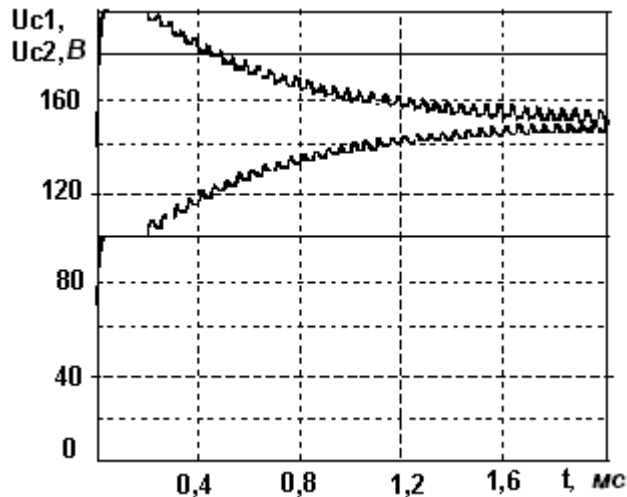


Рис. 3. Осциллограммы напряжений конденсаторов в режиме выравнивания

Таким образом, соответствующим выбором коэффициента K и точности ε по начальному расхождению $\bar{u}_1 = [\bar{u}_{C1}^{[1]} / u_{C2}^{[1]}]^2 = \bar{C}^2$ посредством (4), (5) можно оценить длительность их выравнивания. К примеру, при $\bar{C} = 2$, $K = 35$, $T = 50$ мкс и $\varepsilon = 0,02$ (2%) имеем $i \approx 56$ и $T_{\text{выр}} \approx 2,8$ мс.

На рис.3 представлена осциллограмма выравнивания напряжений при указанных параметрах, снятая на цифровой модели схемы рис.16. Параметры схемы следующие: $C1 = 50$ мкФ; $C2 = 100$ мкФ; $L = 22,6$ мкГн; $R_{\text{экв}} = 0,1$ Ом; $\gamma = 0,15$; $E = 300$ В; $T = 50$ мкс. Как следует из рис.3, симметрирование двойного начального расхождения напряжений наступает практически за 2,5 мс, что примерно совпадает с рассчитанным значением.

В процессе работы симметрирующего узла на конденсаторах делителя возникают дополнительные пульсации (помимо основных) напряжений сложной формы, вызванные протеканием через дроссель тока треугольной формы амплитудой $I_{L\text{max}} = \pi\gamma E/X_L$ и длительностью $2\gamma T$. Причем пульсации имеют вид двуполярных несимметричных импульсов с параболическими переходами между уровнями. При "выпрямлении" фронтов относительная амплитуда первой гармоники пульсации определяется выражением

$$U_m/(E/2) \approx 4\pi^2 \gamma^2 \cos \pi \gamma X_L / X_C = 16K\pi^4 \gamma^4 \cos \pi \gamma. \quad (6)$$

Рассмотренный прерывистый режим работы симметрирующего узла имеет место при $\gamma < 1/[2(1 + \bar{C})]$. Однако в реальности из-за инерционностей возвратных диодов этот диапазон сужается

$$\gamma \leq (0,5 - t_{уст}/T)/(1 + \bar{C}), \quad (7)$$

где $t_{уст}$ - время установления обратного сопротивления диодов.

Для прерывистого режима, пользуясь временными диаграммами рис.2, можно найти выражения для амплитудных, действующих и средних значений токов вентиля и дросселя:

$$I_{Tmax} = I_{Dmax} = I_{Lmax} = \pi \gamma E / X_L, \quad I_T = I_D = I_L / 2 = \pi \gamma \sqrt{\gamma/3} E / X_L, \\ I_{Tcp} = I_{Dcp} = \pi \gamma^2 E / 2X_L, \quad I_{Lcp} \equiv 0. \quad (8)$$

Выбор параметров симметрирующего узла можно проводить по заранее известным, либо рассчитанным параметрам основной части инвертора:

1. По известным типономиналам конденсаторов C1, C2 на основе справочных данных (либо другим путем) оценивается их возможное расхождение, т.е. определяется коэффициент $\bar{C} = \max\{C1/C2, C2/C1\}$.

2. Выбирается частота работы симметрирующего узла, исходя из частотных свойств конденсаторов и вентиля, желаемых размеров дросселя, дополнительных потерь мощности в реактивных элементах и пр. При ШИМ проще ее взять равной несущей частоте.

3. С учетом времени $t_{уст}$ используемых диодов по (7) подбирается коэффициент заполнения γ , а длительность управляющих импульсов транзисторов равна $\alpha = \gamma T$.

4. Токовые загрузки ключевых приборов задаются соотношениями (8), откуда сразу определяется сопротивление дросселя X_L . Так что дроссель следует рассчитать на индуктивность $L = X_L / 2\pi\omega$ и на ток намагничивания I_L .

5. Коэффициент K рассчитывается по (2) с учетом равенства $X_C = \min\{X_{C1}, X_{C2}\}$ и ограничения (3).

6. Посредством (4) - (6) путем подходящего подбора точности выравнивания напряжений оцениваются длительность выравнивания и дополнительные пульсации напряжений конденсаторов. При неудовлетворительных параметрах следует вернуться к пункту 3 (либо 4) и произвести перерасчет.

7. Транзисторы выбираются на ток I_{Tmax} и напряжение E_{max} , возвратные диоды - на средний ток I_{Dcp} и максимальное обратное напряжение E_{max} .

Так как на практике симметрирование напряжений фактически происходит в процессе запуска инвертора и с установлением основных процессов на конденсаторах делителя поддерживаются примерно равные

напряжения, поэтому величины γ , K и $T_{\text{выр}}$ следует подобрать таким образом, чтобы, с одной стороны, исключить недопустимые пульсации напряжений конденсаторов, а с другой - обеспечить приемлемые токовые загрузки ключевых элементов. Таким образом, полученные описанным способом параметры в большинстве случаев могут быть непосредственно применены на практике. В ответственных случаях потребуется детальный анализ процессов с привлечением реальных моделей ключевых приборов и оптимизации процессов в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Головацкий В.А., Конев Ю.И., Юрченко А.И. Несимметричные режимы силовых трансформаторов с конденсаторами в первичной цепи // Электронная техника в автоматике / Под ред. Ю.И. Конева. - М.: Радио и связь, 1982. - Вып 13.- С. 69 - 74.
2. А. с. 1257794 СССР, МКИ Н 02 М 7/5395. Транзисторный инвертор / Г. В. Барегамян, Р. Г. Хурхуров (РА). - ¹ 3855194/24-07; Заявлено 14.02.85; Оpubл. 15.06.86, Бюл. ¹ 34. - 3 с.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 24.02.1998.

Գ.Վ. ԲԱՐԵԳԱՄՅԱՆ

ԿԻՍԱԿԱՍՐՁԱԿԱՅԻՆ ԻՆՎԵՐՏՈՐԻ ՀԱՄԱՉԱՓՎԱԾ ՄԽԵՄԱՅԻ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆԸ

Դիտարկվում է ինվերտորի կիսակամրջակային սխեմա, որը պարունակում է անկախ գործող համաչափացման շղթա՝ կոնդենստորային բաժանիչի լարումների արհեստական հավասարեցման համար: Նկարագրվում են ինվերտորի սխեման, ժամանակային դիագրամները և աշխատանքի սկզբունքը: Տրվում են լարումների հավասարեցման օրինաչափությունները բնութագրող վերլուծական առնչությունները: Ձևակերպված է համաչափացման հանգույցի պարամետրերի ընտրության հաջորդականությունը:

G.V. BAREGHAMYAN

INVESTIGATION ON SYMMETRIZING HALF-BRIDGE INVERTER

A half -bridge inverter circuit containing autonomously functioning symmetrizing circuit for artificial equalizing capacitor divider voltages is considered. The circuit of the inverter, its operation mode and timing diagrams are described. The analytical relationships characterizing the law of voltage equalization are presented. The parameter selection sequence of the symmetrizing node is formulated.

В. М.МОВСЕСЯН

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИВЭП С УЛУЧШЕННЫМИ МАССОГАБАРИТНЫМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ

Предлагается распределить функцию сглаживания низкочастотных пульсаций в ИВЭП между сглаживающим фильтром и управляемым инвертором из условия минимума потерь, объема или массы. Представлен метод минимизации объема для ИВЭП на основе резонансного инвертора.

Ключевые слова: резонансный инвертор, сглаживающий фильтр, коммутационные потери, пульсации.

Одной из основных задач при проектировании источников вторичного электропитания (ИВЭП) с постоянным выходным напряжением является минимизация потерь и массогабаритных характеристик. В ИВЭП с бестрансформаторным входом трансформация уровня напряжения осуществляется на высоких частотах. В качестве высокочастотного преобразователя применяются инверторы с широтно-импульсной модуляцией или резонансного типа [1]. В ИВЭП со стабилизированным и/или регулируемым выходным напряжением инвертор является управляемым, и в его функции входят: преобразование постоянного напряжения в высокочастотное переменное; стабилизация уровня выходного напряжения; подавление низкочастотных пульсаций сетевого выпрямленного напряжения. Сетевой выпрямитель включает низкочастотный фильтр для сглаживания пульсаций, однако для хорошего сглаживания требуется фильтр больших размеров. В работе предлагается делить функцию сглаживания этих пульсаций между фильтром и управляемым инвертором из условия минимизации потерь или массогабаритных характеристик.

Для конкретизации последующих рассуждений положим, что применяется резонансный инвертор (РИ) (рис. 1), нагрузка является постоянной, а выходное напряжение - стабилизированным. Сетевое напряжение выпрямляется однофазным диодным выпрямительным мостом и сглаживается емкостным фильтром С1. Потери в сетевом выпрямителе, фильтре С1 и инверторе РИ, а также их массы и габариты, помимо передаваемой мощности, существенным образом зависят от распределения функции сглаживания выпрямленного напряжения сети между С1 и РИ.

Определим коэффициент пульсаций k_r напряжения U_1 из условия минимума функции

$$G(k_r) = F_1(E_{C1}) + F_2(E_{CT}) + F_3(E_{LT}) + F_4(P_{sw}) + F_5(P_r), \quad (1)$$

где E_{C1} , E_{CT} , E_{LT} - энергии, накопленные в конденсаторе фильтра С1, а также в конденсаторе и индуктивности РИ; P_{sw} , P_r - мощности, рассеиваемые в транзисторных ключах инвертора и в диодах выпрямителя. Эти энергии и мощности потерь рассматриваются как функции от k_r .

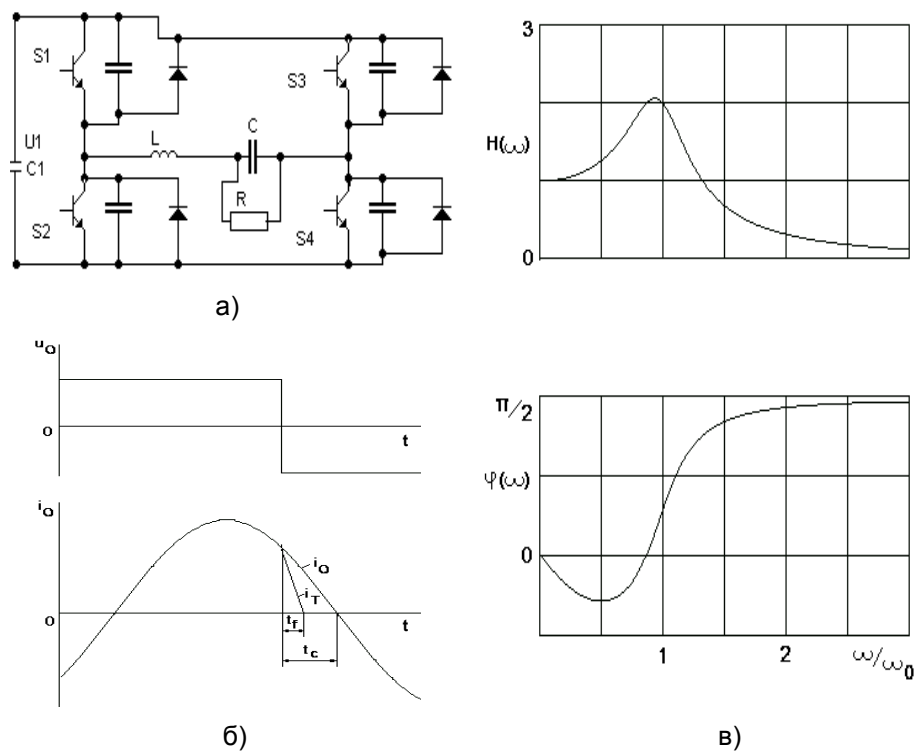


Рис. 1. Резонансный инвертор: а - упрощенная схема, б - кривые напряжения и тока контура, в - частотные характеристики

Функции $F_1 \dots F_5$ могут определять потери, объемы, либо массы. Соответственно будем иметь задачи минимизации потерь, объема или массы. РИ включает резонансный контур с последовательно или параллельно включенной нагрузкой (рис. 1). Напряжение на диагонали инвертора U_Q имеет форму меандра, первая гармоника которого определяется в виде

$$u_{Q1}(t) = U_{Q1m} \sin \omega t, \quad U_{Q1m} = 4U_1 / \pi, \quad (2)$$

где U_{Q1m} - амплитуда первой гармоники; ω - частота переключения силовых ключей.

Коэффициент передачи инвертора определяется в виде $H(\omega) = U_{2m} / U_{Q1m}$. В случае, если ток диагонали I_Q непрерывный, стабилизация (или регулирование) выходного напряжения осуществляется изменением частоты (ω). Частотные характеристики (рис. 1) резонансного инвертора $H(\omega)$ и $\varphi(\omega) = \arg(U_Q, I_Q)$ имеют вид

$$H(x) = ((1 - x^2)^2 + x^2 Q^{-2})^{-0.5}, \quad \varphi(x) = \arctg(x(1 + (x^2 - 1)Q^2)Q^{-1}), \quad (3)$$

где $x = \omega/\omega_0$ - относительная частота; $\omega_0 = (LC)^{-0,5}$; $Q=R/\rho$ - добротность контура; $\rho=(L/C)^{0,5}$ - волновое сопротивление.

При работе в частотном диапазоне (ω_1, ω_2) выше резонансной частоты ω_r ($\omega_r=\omega_0(1-Q^{-2})^{0,5}$) для стабилизации выходного напряжения инвертора U_2 необходимо, чтобы

$$H(\omega_1)/H(\omega_2) = H(x_1)/H(x_2) \geq U_{1\max}/U_{1\min} = d. \quad (4)$$

При этом фазовый сдвиг $\varphi(\omega)$ должен быть достаточным, чтобы за соответствующее время t_c (рис. 1) открытый транзистор успел надежно запереться, прежде чем откроется второй транзистор того же плеча:

$$\varphi_{\min} = \varphi(x_1) \geq x_1 \omega_0 t_c. \quad (5)$$

Ставится задача минимизации функции (1) по k_r при ограничениях (4) и (5). В (4) и (5) следует брать знак равенства, т.к. увеличение $H(\omega_1)/H(\omega_2)$ и $\varphi(x_1)$ приведет к росту добротности и фазового сдвига и, как следствие, к росту потерь в контуре и силовых ключах. Для решения сформулированной задачи прежде всего необходимо определить E_{C1} , E_{CT} , E_{LT} , P_{sw} , P_r как функции от коэффициента пульсаций k_r . В случае емкостного сглаживающего фильтра $C1$ среднее значение U_0 и амплитуда первой гармоники пульсаций U_{1m} напряжения U_1 , а также среднее I_0 и эффективное I_{ef} значения тока выпрямителя зависят от параметра $Z=(C_1 R_1 \omega_s)^{-1}$, где R_1 - эквивалентное сопротивление нагрузки выпрямителя, подключенное параллельно к конденсатору $C1$. В силу определения коэффициента пульсаций $k_r = U_{1m}/U_0$, величины U_0 , U_1 , I_{ef} , I_0 , Z представляются как функции от k_r .

Напряжение на конденсаторе $C1$ с учетом только первой гармоники пульсаций имеет вид

$$U_1(t) = U_0(k_r)(1 + k_r \sin \Omega t), \quad (6)$$

где $\Omega=2\omega_s$, ω_s - частота питающей сети.

Отношение d в (4) при фиксированном значении k_r определяется в виде

$$d = U_{1\max}/U_{1\min} = U_{s\max}(1 + k_r)/U_{s\min}(1 - k_r), \quad (7)$$

где $U_{s\min}$, $U_{s\max}$ - минимальное и максимальные значения напряжения сети.

Исходя из заданного рабочего частотного диапазона (ω_1, ω_2) , определяется относительный диапазон $\delta=(\omega_2-\omega_1)/\omega_1=(x_2-x_1)/x_1$ и $x_2=(1+\delta)x_1$. Подставляя значение x_2 в (4), в силу соотношений (3), из (4) и (5) определяем Q и x_1 . Далее определяем $\omega_0=\omega_1/x_1$ и максимальные энергии конденсатора и дросселя резонансного контура

$$E_{Ct} = PQ/\omega_0, \quad E_{Lt} = PQ(x_2^2 + Q^{-2})/\omega_0, \quad (8)$$

где $P=U_2^2/R$ - выходная мощность инвертора.

Выражения (8), в силу вычисленных значений Q , x_1 , x_2 , дают функциональные зависимости E_{Ct} и E_{Lt} от k_r . Ток в диагонали инвертора имеет синусоидальную форму, а амплитуда модулирована пульсациями частоты Ω :

$$i_Q(t) = I_{Qm}(\Omega t) \sin(\omega t + \varphi). \quad (9)$$

С учетом того, что потери в инверторе намного меньше мощности, передаваемой в нагрузку, средняя мощность, передаваемая в нагрузку, за период частоты ω составляет

$$P(t) = 0,5U_{Q1m}(\Omega t)I_{Qm}(\Omega t)\cos\varphi. \quad (10)$$

Так как обратная связь поддерживает напряжение и мощность нагрузки постоянными, из (2), (6), (9) и (10) определяем

$$I_{Qm}(\Omega t) = \pi P / 2U_0(1 + k_r \sin \Omega t)\cos\varphi. \quad (11)$$

Потери мощности в одном ключе инвертора составляют $P_{lsw}(\Omega t) = P_{lc}(\Omega t) + P_{ls}(\Omega t)$, где P_{lc} , P_{ls} - потери на коммутацию и в области насыщения ключа. Усредняя эти потери вначале за период частоты ω , а затем за период частоты Ω , получим

$$P_{lsw}(k_r) = \frac{\pi P^2(1 - k_r^2)^{-3/2}}{32U_{0max}^2 \cos^2\varphi_a} \left(\pi R_s + \frac{\omega_a t_f^2 \sin^2\varphi_a (1 - \omega_a t_f \operatorname{ctg}\varphi_a)}{12C_0} \right), \quad (12)$$

где R_s - сопротивление насыщенного ключа; C_0 - суммарная емкость ключа; t_f - время спада тока транзистора.

Эквивалентное сопротивление нагрузки для фильтра $C1$ равно $R_1(k_r) = U_0^2(k_r)/(P + P_{sw}(k_r))$, где $P_{sw}(k_r) = 4P_{lsw}(k_r)$. Соответственно для заданного Z определяются необходимая емкость и энергия

$$C_1(k_r) = Z(k_r)R_1^{-1}(k_r)\omega_s^{-1}, \quad E_{C1}(k_r) = 0.5C_1(k_r)U_{0max}^2(k_r). \quad (13)$$

Потери в однофазном мостовом выпрямителе составляют

$$P_r(k_r) = 2(I_0(k_r)U_d + I_{ef}^2(k_r)R_d), \quad (14)$$

где U_d и R_d - напряжение на открытом диоде и его динамическое сопротивление.

Рассматривается задача минимизации объема. Для этого необходимо объемы конденсаторов и дросселей определить как функции от энергий, а объемы охладителей входного выпрямителя и ключей инвертора - как функции от рассеиваемой мощности. Следует отметить, что речь идет о минимизации объемов только тех компонентов ИВЭП, которые зависят от значения k_r .

Объемы конденсаторов определяются в виде

$$V_{C1}(k_r) = E_{C1}(k_r)/w_1, \quad V_{CT}(k_r) = E_{CT}(k_r)/w_2, \text{ см}^3, \quad (15)$$

где w_1 и w_2 - удельные энергии (Дж/см^3) накопительного и высокочастотного C_T конденсаторов.

Для вычисления объема высокочастотного дросселя L_T используем выражение для энергии в сердечнике с зазором [1]:

$$E_{LT} = B^2V_c / 2\mu_c + B^2V_g / 2\mu_0, \quad (16)$$

где μ_c и μ_0 - относительные магнитные проницаемости ($\mu_0=1$); B - индукция насыщения сердечника, Тл ; V_c и V_g - объемы тела сердечника и зазора, см^3 .

С учетом того, что $g/l_{cp} = V_g/V_c$, из (16) получим

$$V_c = \frac{2E_{LT}}{B^2} \frac{\mu_c}{1 + \mu_c g/l} = \frac{2E_{LT}}{B^2} \mu_{ef}, \quad (17)$$

где l – средняя длина магнитной линии; g – ширина зазора; μ_{ef} – эффективная проницаемость.

Объем дросселя V_{LT} определяется по значениям V_c и коэффициента формы $k_f = V_c / V_{LT}$:

$$V_{LT}(k_f) = \frac{V_c}{k_f} = \frac{2E_{LT}(k_f)\mu_{ef}}{B^2 k_f}, \text{ см}^3. \quad (18)$$

Объем окна дросселя равен $V_{ок} = V_{LT} - V_c$. Объемы охладителей силовых ключей инвертора и диодов выпрямителя рассчитываются по значениям рассеиваемых мощностей $P_{sw}(k_f)$ и $P_t(k_f)$. Обычно определяется необходимая поверхность, далее, исходя из формы охладителя, вычисляется объем.

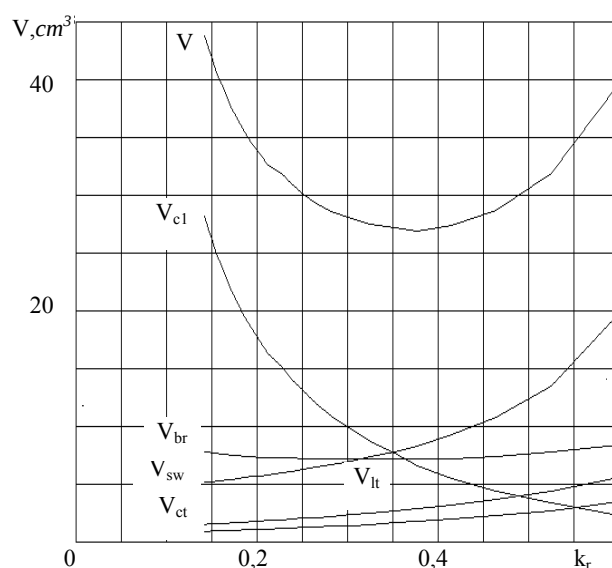


Рис. 2. Зависимости объемов от коэффициента пульсаций

Рассмотрим пример минимизации объема для ИВЭП с параметрами: $P=100 \text{ Вт}$, $U_{smin}=185 \text{ В}$, $U_{smax}=240 \text{ В}$, $f_s=50 \text{ Гц}$, $f_l=50 \text{ кГц}$, $\delta=0,2$, $U_d=0,9 \text{ В}$, $R_d=0,16 \text{ Ом}$, $t_f=0,3 \text{ мкс}$, $t_c=1 \text{ мкс}$, $R_s=0,12 \text{ Ом}$, $C_0=300 \text{ пФ}$. Накопительный конденсатор C_1 типа К50-27 с $w_1=0,25 \text{ Дж/см}^3$, высокочастотный конденсатор C_t типа К71-4 с $w_2=0,001 \text{ Дж/см}^3$; сердечник дросселя L_t типа броневой чашки Б6 ... Б48 из марганец-никелевого феррита НМ2000 с коэффициентом формы $k_f=0,6$, $B=0,3 \text{ Тл}$, $\mu_{ef}=70$; охладители транзисторных ключей и диодов выпрямителя плоские, из алюминиевого листа толщиной $0,3 \text{ см}$. На рис. 2 представлены графические зависимости объемов $V_{cl}(k_f)$, $V_{ct}(k_f)$, $V_{LT}(k_f)$, $V_{sw}(k_f)$, $V_t(k_f)$ и их суммарная величина V . Как видно, суммарный объем рассмотренных компонент имеет минимальное значение $V=27 \text{ см}^3$ при $k_f=0,375$.

Аналогично можно минимизировать массу ИВЭП или потери мощности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Kassakian J.G., Schlecht M.F., Verghese G.C.** Principles of power electronics // Addison-Wesley Publishing.- 1992.- P.738.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 02.03.1999.

Վ. Մ. ՄՈՎՍԵՍՅԱՆ

ԲԱՐԵԼԱՎՎԱԾ ԶԱՆԳՎԱԾԱԶԱՓԱՅԻՆ ՑՈՒՑԱՆԻՇՆԵՐՈՎ ԵԷՍԱ-Ի ՆԱԽԱԳԾՈՒՄ

Առաջարկվում է ցածր հաճախականային բաբախումների հարթեցման ֆունկցիան բաժանել զտիչի և կառավարվող ինվերտորի միջև զանգվածի չափերի կամ կորուստների նվազարկման պայմանից: Ռեզոնանսային ինվերտորով ԵԷՍԱ-ի համար բերված է ծավալի նվազարկման եղանակ:

W.M. MOVSESSYAN

DESIGN OF POWER SUPPLIES WITH IMPROVED SIZE-WEIGHT CHARACTERISTICS

A low-frequency ripple smoothing function between the low-pass filter and the controllable inverter to get minimum volume, weight and losses is proposed. A method of volume minimization for resonant inverter based on power supplies is represented.

А.А. КИРАКОСЯН, С.Г. НЕРСЕСЯН, Ю.А. ОГАНЕСЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА В СУХИХ ТРАНСФОРМАТОРАХ

Проведено исследование СКТ в сухих трансформаторах с учетом конвективного и лучистого теплообмена на поверхностях. Получено аналитическое выражение $Nu = C_0 K_{\text{гст}} K_{\text{г}} K_{\text{Ре}} (Ra)^n$, погрешность которого не превышает 2%.

Ключевые слова: теплообмен, степень черноты, критерий, воздух, стенка.

При проектировании трансформаторов, а также других электротехнических устройств важное значение имеют системы охлаждения. Для этого необходимо учесть свободно-конвективный теплообмен (СКТ) в реальном воздушном пространстве с учетом лучистого теплообмена.

СКТ в реальном или идеальном воздушном пространстве, где имеются или отсутствуют дополнительные движения и завихрения воздуха, посвящено большое количество исследований, в которых предлагалось увеличение коэффициента C от 0,54 до 0,94 [2] в общеизвестном выражении Нуссельта [1]:

$$Nu = C (Ra)^n, \quad (1)$$

где $Ra = GrPr$ - критерий Релея; $Gr = g\beta\vartheta_{\text{ст}}H^3/\nu_{\text{т0}}^2$ - критерий Грасгофа; Pr - критерий Прандтля; g - гравитационное ускорение m^2/c ; β - коэффициент объемного расширения воздуха, gr^{-1} ; $\vartheta_{\text{ст}} = t_{\text{ст}} - t_0$; $t_{\text{ст}}$, t_0 - температура поверхности стенки и воздуха, $^{\circ}C$; H - высота стенки, m ; $\nu_{\text{т0}}$ - коэффициент кинематической вязкости воздуха при температуре t_0 , m^2/c .

При решении данной задачи учитывается зависимость физических параметров воздуха от температуры, а также предполагается наличие дополнительных движений и завихрений воздуха, которые описываются числом Пекле:

$$Pe = Re Pr,$$

где $Re = \omega_0 H / \nu_{\text{т0}}$ - критерий Рейнолдса; ω_0 - скорость воздуха в нижней кромке поверхности стенки, m/c .

Для вывода расчетных выражений используем уравнения теплового баланса. Основной тепловой поток (Q) от внутренних источников тепла передается в окружающую среду с помощью СКТ (Q_K) и теплового излучения (Q_L):

$$Q = Q_{\text{кон}} + Q_L, \quad (2)$$

$$Q_K = \alpha_K H \vartheta_{\text{ст}}, \quad (3)$$

где α_K - средний коэффициент теплоотдачи при СКТ на плоских поверхностях стен трансформатора, определяемый выражением [3]

$$\alpha_K = \frac{0,1361\lambda}{F(RaK)^{0,5}} \left[\sqrt{Pe^2 + 8RaK} - Pe \right]^{0,5} \left[\sqrt{Pe^2 + 8RaK} + 2Pe \right]^{0,5}.$$

Здесь λ - коэффициент теплопроводности воздуха, $Bт/м.К$; F, b - соответственно поверхность и ширина стенки трансформатора, $F=Hb$; K - коэффициент, учитывающий зависимость кинематической вязкости воздуха от температуры;

$$Q_{\text{л}} = \varepsilon_0 C_0 F \left[\left(\frac{t_{\text{ст}} + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{t_0 + 273}{100} \right)^4 \right], \quad (4)$$

где ε_0 - степень черноты поверхности излучения; $C_0=5,67 \text{ Вт/м}^2\text{К}^4$ - постоянная Стефана-Больцмана.

Используя уравнения (2)-(4), определяем эффективный коэффициент теплоотдачи $\alpha_0 = Q/H\theta_{\text{ст}}$ и число Нуссельта: $Nu = \alpha_0 H/\lambda$.

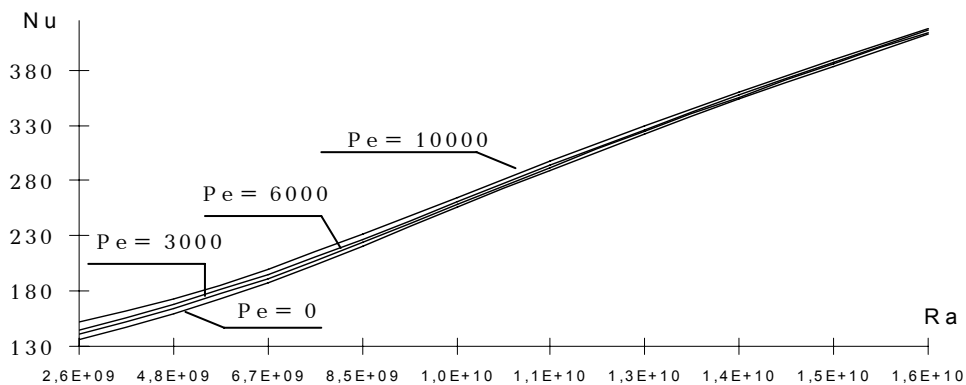
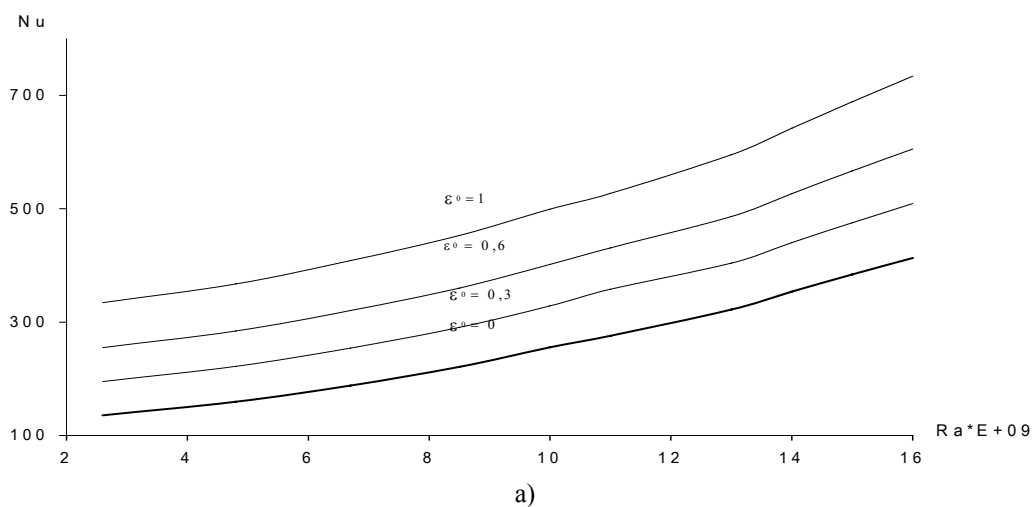


Рис. 1. Зависимость Nu от Ra : а - при $\varepsilon = 0 \dots 1$ ($Pe=0$); б - при $Pe = 10^3 \dots 10^4$ ($\varepsilon_0 = 0$)

На рис. 1 а, б представлены кривые $Nu=f(Ra)$ в зависимости от значений ε_0 и Pe . Теоретические исследования для силовых сухих трансформаторов показали, что при $Ra \leq 10^{10}$, т.е. при малых значениях температур поверхности, весьма важную роль играет как начальная скорость ω_0 , так и ε_0 . При возрастании Pe от 10^3 до 10^4 и ε_0 от 0 до 1 Nu увеличивается примерно на 75%. При $Ra \geq 10^{10}$ доминирующим параметром является ε_0 . При возрастании ε_0 от 0 до 1 число Нуссельта увеличивается примерно на 45%, а изменение числа Nu от Pe не существенно.

Используя метод конечных разностей, зависимость $Nu=f(Ra)$ можно представить выражением

$$Nu = C_0 K_{\text{гст}} K_{\varepsilon} K_{Pe}(Ra)^n, \quad (5)$$

где C_0 и n – постоянные, зависящие от режима свободного движения и условий обтекания поверхности [4], $C_0=0,54$, $n=0,25$; $K_{\text{гст}} = 1+0,00669_{\text{гст}}$ – коэффициент, учитывающий изменения физических параметров в зависимости от температуры; $K_{\varepsilon}=1+0,9\varepsilon_0$ – коэффициент, учитывающий степень черноты излучения поверхности стен; $K_{Pe}=1+1,2 \cdot 10^{-5} Pe$ – коэффициент, учитывающий дополнительное движение воздуха.

Для проверки полученного выражения было проведено экспериментальное исследование. Установка представляет собой вертикальную полированную, латунную пластину размерами $30 \times 20 \times 1,5$ см со степенью черноты 0,6. Нагрев пластины проводился путем равномерного пропускания переменного тока по нагревателю, мощность которого изменялась от 0,4 до 45 Вт.

Таблица

Измерения температурного поля установки ($\omega_0 = 0,46$ м/с; $Pe = 6000$)

№	Q, Вт	$t_{\text{ст}}$, °C	t_0 , °C	$t'_{\text{ст}}$, °C	Ra	$Nu_{\text{э}}$	$Nu_{\text{р}}$
1	2,5	23,7	20,6	22,0	$5 \cdot 10^6$	98,14	102,78
2	5,0	26,2	20,6	23,9	$9 \cdot 10^6$	108,6	107,68
3	7,0	29,1	20,6	25,4	$1 \cdot 10^7$	109,9	113,49
4	11	31,9	20,4	26,9	$2 \cdot 10^7$	119,1	119,31
5	15	36,1	20,0	28,4	$2,5 \cdot 10^7$	121,7	128,47
6	17	39,0	20,4	29,0	$3 \cdot 10^7$	116,9	135,09
7	27	46,2	20,2	35,0	$4 \cdot 10^7$	150,2	152,38

Из сопоставления теоретических и экспериментальных данных (см. табл.) следует, что расхождение опытных точек от теоретических составляет не более 2 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Михеев М.А., Михеева И.М.** Основы теплопередачи. – М.: Энергия, 1973. -320 с.
2. **Готтер Г.** Нагревание и охлаждение электрических машин. – М; -Л.: ГЭИ, 1961.- 264 с.
3. **Нерсисян С.Г., Азарян П.Е.** Свободная конвекция и теплообмен вертикальной нагретой стенки трансформаторов в практически "спокойном" пространстве // Изв. АН АрмССР. - 1983.- ¹ 6. - С.
4. **Краснощеков Е.А., Сукомел А.С.** Задачник по теплопередаче.- М. Энергия, 1979. – 264 с.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 30.05.1998.

Ա.Ա. ԿԻՐԱԿՈՍՅԱՆ, Ս.Գ. ՆԵՐՏԵՍՅԱՆ, ՅՈՒ.Ա.ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ

ՋԵՐՄԱՓՈԽԱՆԱԿՈՒԹՅԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ ՉՈՐ ՏՐԱՆՍՖՈՐՄԱՏՈՐՆԵՐՈՒՄ

Անց է կացվել բնական օդային հովացումով տրանսֆորմատորների ջերմափոխանակման հետազոտություն, հաշվի առնելով մակերևույթի կոնվեկտիվ և ճառագայթային ջերմափոխանակությունը: Կատարված տեսական հետազոտության արդյունքների հիման վրա ստացվել է $Nu=C_0K_{gw}K_\epsilon K_{pc}(Ra)^n$ վերլուծական արտահայտությունը, որի սխալանքը չի գերազանցում 2%:

A.A. KIRAKOSSYAN, S.G. NERSESSYAN, Ju.A. HOVHANNISSYAN

INVESTIGATION OF THERMOEXCHANGE IN DRY TRANSFORMERS

An investigation of FCT in dry transformers with allowance of convective and radiation thermoexchange on surfaces is conducted. The analytical expression $Nu=C_0K_{gw}K_\epsilon K_{pc}(Ra)^n$ is obtained, the error not exceeding 2 %.

В.А. ГРИГОРЯН, М.А. КАРАПЕТЯН, Л.О. КАРАХАНИЯН, В.В. ВАРДАНИЯН

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПОЛИДИСПЕРСНОЙ СИСТЕМЫ, НАХОДЯЩЕЙСЯ ВО ВНЕШНЕМ ОДНОРОДНОМ ПОЛЕ

На основе формулы диэлектрической проницаемости системы определена объемная концентрация пузырьков воздуха в зависимости от объемной концентрации f_2 капелек воды. Проведен расчет коэффициента деполяризации N_2 включений, деформированных под воздействием поля включений. С учетом формулы усредненной диэлектрической проницаемости дисперсной системы с включениями трех типов определена зависимость концентрации f_3 проводящих включений от ϵ_{cp} , E_0 , f_1 , f_2 , N_1 и N_2 .

Ключевые слова: капельки воды, пузырьки газа, диэлектрическая проницаемость, тангенс угла потерь, электрическое поле.

В [1] осуществлено теоретическое исследование полидисперсной системы с двумя сортами инородных включений (пузырьков газа и капелек воды) в жидкой диэлектрической среде под действием внешнего однородного поля. Показано, что деформация форм включений (сплющивание газовых пузырьков и вытягивание капелек воды) повышает вероятность частичных пробоев как газовых пузырьков, так и промежутков между соседними (вдоль направления поля) капельками воды, что, в конечном итоге, существенно снижает длительную электрическую прочность неоднородного жидкого диэлектрика.

Экспериментальное исследование указанной полидисперсной системы осуществлено с использованием электродов Роговского [2]. Были измерены емкость (для перерасчета диэлектрической проницаемости ϵ) и тангенс угла потерь ($tg\delta$) с помощью высоковольтного моста МДП. Определенная объемная доля воды f_2 добавлялась в масло в смесителе.

Однако измеренные значения ϵ в зависимости от объемной концентрации капелек воды f_2 оказались существенно меньше данных табл. 2 [1], где рассматривается идеальный вариант - отсутствие в масле газовых пузырьков. Это объясняется тем, что вращение лопастей мешалки создает условия для поглощения воздуха (газа) из окружающей среды. Следовательно, одной из задач данной работы является определение объемной концентрации газовых пузырьков f_1 в водо-масляной эмульсии в зависимости от f_2 .

Данную задачу целесообразно решить с помощью формулы ϵ для дисперсной системы с двумя сортами инородных включений [3]:

$$\epsilon = [1 + f_1 m_1 (1 + D_2) + f_2 m_2 (1 + D_1)] \epsilon_3, \quad (1)$$

где

$$m_i = \frac{\varepsilon_i - \varepsilon_3}{\varepsilon_3 + (\varepsilon_i - \varepsilon_3)(1 - f_i)N_i}, \quad D_i = f_i m_i N_i, \quad i=1,2; \quad (2)$$

$\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ - диэлектрические проницаемости газа, воды и дисперсионной среды - трансформаторного масла; N_1, N_2 - коэффициенты деполяризации пузырьков газа и капелек воды в направлении внешнего поля $\vec{E}_0$.

При весьма низкой напряженности внешнего поля ($E_0 \approx 150$ В/см) сферическая форма включений не искажена и $N_1 = N_2 = 1/3$. Тогда в (1) и (2) неизвестным является только f_i . Результаты расчета f_i при трех заданных значениях f_2 следующие:

$$\frac{f_1}{f_2} \rightarrow \frac{0,046}{0,01}, \frac{0,100}{0,03}, \frac{0,275}{0,10}.$$

В [1] показано, что механические силы поля на границе включение-среда сплющивают газовые пузырьки и, наоборот, вытягивают капли воды. Однако числовые расчеты деформаций форм этих включений отсутствуют. В настоящей работе приводятся результаты расчета N_2 при заданных значениях N_1 , меняющихся в пределах от 0,35 до 0,85, в зависимости от концентраций f_1 и f_2 , напряженностей внешнего однородного поля $E_0 \leq 8$ кВ/см, измеренных диэлектрических проницаемостей $\varepsilon_{\text{экс}}$ системы.

Расчеты осуществлены с использованием выражений (1) и (2) (табл.).

Таблица

N_1	f_1	f_2	$E_0,$ кВ/см	$\varepsilon_{\text{экс}}$	N_2	N_1	f_1	f_2	$E_0,$ кВ/см	$\varepsilon_{\text{экс}}$	N_2
0,35	0,046	0,01	2	2,30	0,215	0,85	0,046	0,01	2	2,30	0,142
			4	2,32	0,172				4	2,32	0,119
			6	2,40	0,089				6	2,40	0,067
			8	2,66	0,021				8	2,66	0,016
0,35	0,10	0,03	2	2,36	0,257	0,85	0,10	0,03	2	2,36	0,178
			4	2,40	0,216				4	2,40	0,155
			6	2,56	0,127				6	2,56	0,097
			8	2,90	0,058				8	2,90	0,046
0,35	0,275	0,10	2	2,52	0,311	0,85	0,275	0,10	2	2,52	0,212
			4	2,76	0,223				4	2,76	0,157
			6	3,40	0,119				6	3,40	0,087
			8	4,30	0,064				8	4,30	0,046

Формула (1) предложена в [4] для расчета усредненной проницаемости системы с двумя сортами эллипсоидальных включений без какой-либо связи с соображениями, высказанными в [1]. Однако она подтверждает факт одновременного сплющивания газовых пузырьков и вытягивания капелек воды под действием внешнего однородного поля. Чем меньше сплющены газовые пузырьки, тем меньше вытянуты капли воды. С ростом концентраций f_1, f_2 уменьшается деформация капелек воды. Это положение объясняется более сильной зависимостью ε от концентраций f_1, f_2 , чем от формы пузырьков и капелек - N_1, N_2 . Отметим также, что с увеличением концентрации f_2 отношение f_1/f_2 уменьшается. Это

приводит к уменьшению абсолютной величины отрицательного второго члена в квадратной скобке уравнения (1) по сравнению с третьим.

Экспериментальные исследования ε от $E_0 \leq 8$ кВ/см внешнего поля показали [2], что эта зависимость заметна при $f_2 \geq 0,01$ и f_1 , определяемой в вышеприведенном отношении концентраций. Существование этой зависимости может быть обусловлено двумя факторами: 1) ионизацией газа в некоторой части пузырьков; 2) вытягиванием капелек воды вдоль внешнего поля [1]. Обнаруженная экспериментальным путем резкая зависимость $tg\delta$ от E_0 [2] и появление характерного звука (шипение) с повышением напряженности внешнего поля дают основание утверждать, что зависимость ε (E_0) обусловлена в основном ионизацией газа в некоторой части пузырьков.

Ионизированный газ становится проводником электрического тока. Следовательно, ионизированные газовые пузырьки превращаются в проводящие включения. Если объемную концентрацию проводящих включений обозначить через f_3 , то концентрация газовых пузырьков будет $f_1 - f_3$. С началом ионизации части газовых пузырьков среда становится полидисперсной системой с тремя сортами инородных включений с неизвестной объемной концентрацией проводящих включений f_3 , зависящей от напряженности E_0 внешнего поля.

Задача определения зависимости f_3 от $\varepsilon_{\text{экс}}$, E_0 , f_1 , f_2 , N_1 , N_2 решается с помощью упрощенной формулы (с целью уменьшения объема весьма громоздких расчетов) усредненной ε полидисперсной системы с тремя сортами включений [3]:

$$\begin{aligned}\varepsilon_{\text{экс}} &= \varepsilon_4(1 + f_1 m_1 + f_2 m_2 + f_3 m_3) = \\ &= \varepsilon_4[1 + (f_1 - f_3)m_1 + f_2 m_2 + f_3 m_3],\end{aligned}\quad (3)$$

где

$$m_1 = \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_4}{\varepsilon_4 + (\varepsilon_1 - \varepsilon_4)[1 - (f_1 - f_3)N_1]}, \quad m_2 = \frac{\varepsilon_2 - \varepsilon_4}{\varepsilon_4 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_4)(1 - f_2)N_2},$$

$$m_3 = \frac{\varepsilon_3 - \varepsilon_4}{\varepsilon_4 + (\varepsilon_3 - \varepsilon_4)(1 - f_3)N_1}.$$

Поскольку $\varepsilon_3 \Rightarrow \infty$, то

$$m_3 = 1/(1 - f_3)N_1. \quad (4)$$

На основе (3), (4) с учетом таблицы построено семейство кривых (рис.) зависимости f_3 ($\varepsilon_{\text{экс}}$, E_0 , f_1 , f_2 , N_1 , N_2). Как видно, наблюдается сильная зависимость f_3 от коэффициента деполяризации газового пузырька N_1 . Это объясняется тем, что с увеличением степени сплющивания напряженность поля в пузырьке E_1 [1] резко увеличивается. Увеличению E_1 способствует и рост f_2 .

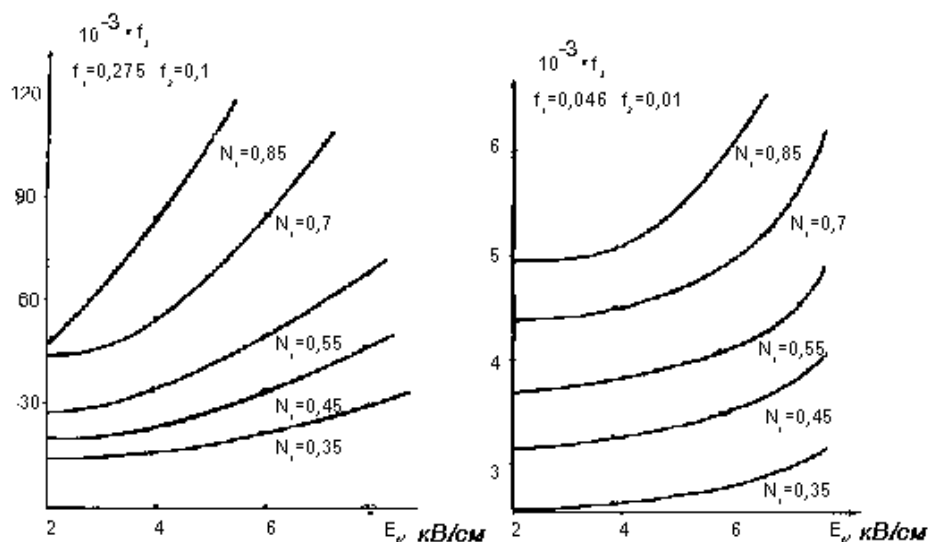


Рис.

Рост $\operatorname{tg} \delta$ с увеличением напряженности E_0 внешнего поля [2] также объясняется ионизацией некоторой части газовых пузырьков. С повышением объемной концентрации капелек воды начало подъема кривых $\operatorname{tg} \delta (E_0)$ сдвигается в область малых напряженностей E_0 , так как поляризующее включение поле $E_{\text{п}}$ [1] при этом усиливается.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Карапетян М.А., Григорян В.А., Караханян Л.О., Варданян В.В.** Явления в масле, содержащем пузырьки газа и капельки воды, под действием электрического поля // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН.-1999.-Т. 52, ¹ 2. - С. 181-186.
2. **Григорян В.А.** Некоторые диэлектрические характеристики эмульсии воды в трансформаторном масле в однородном электрическом поле // Сб. науч. тр. МВ и ССО АрмССР. Сер. Электротехника.-1973.-Т.39, вып. 5. - С 44-49.
3. **Карапетян М.А.** Исследование электрического поля в неоднородной среде. – Ереван: Айастан, 1990. – 216 с.
4. **Карапетян М.А.** Диэлектрическая проницаемость дисперсной системы в переходном процессе установления электрического поля // Электричество. - 1973. - ¹ 7. – С.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 18.03.1999.

Վ.Ա.ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ, Մ.Ա.ԿԱՐԱՊԵՏՅԱՆ, Լ.Հ.ԿԱՐԱԽԱՆՅԱՆ, Վ.Վ.ՎԱՐԴԱՆՅԱՆ

**ԱՐՏԱՔԻՆ ՀԱՄԱՍԵՌ ԴԱՇՏՈՒՄ ՅՈՒՂ - ՋՈՒՐ ԲԱԶՄԱԴԻՍՊԵՐՍ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ
ՓՈՐՁՆԱԿԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆԸ**

Օգտվելով դիսպերս համակարգի դիէլեկտրիկական թափանցելիության բանաձևից, որոշվել է օդային բշտիկների ծավալային կոնցենտրացիան՝ կախված ջրի կաթիլների ծավալային f_2 կոնցենտրացիայից: Կատարված են ներառումների դաշտի ազդեցությամբ դեֆորմացիայով պայմանավորված ապաբևեռացման N_2 գործակցի հաշվարկներ: Օգտվելով երեք տեսակի ներառումներով բազմադիսպերս համակարգի ε -ի պարզեցված բանաձևից, որոշվել է հաղորդիչ ներառումների f_3 կոնցենտրացիայի կախվածությունը ε_{av} -ից, E_0 -ից, f_1 -ից, f_2 -ից, N_1 -ից, N_2 -ից:

**V.A. GRIGORYAN, M.A. KARAPETYAN, L.H. KARAKHANYAN,
V.V. VARDANYAN**

**ANALYSIS OF EXPERIMENTAL INVESTIGATION RESULTS OF THE POLYDISPERSIVE
SYSTEM IN THE OUTER HOMOGENEOUS FIELD**

On the basis of system formula permittivity a sizable concentration of f_2 with water drops is specified. Depolarization factor calculation of N_2 connection is presented. Using the formula of the averaged dielectric permittivity factor for the dispersive system with three types of connections, the dependence of cluster f_3 establishing connections on ε_{av} , E_0 , f_1 , f_2 , N_1 and N_2 is determined.

С.А. МАНУКЯН, Ар.А. ГАМБАРЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ ДВУХКООРДИНАТНОГО МАГНИТОУПРУГОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ НАТЯЖЕНИЯ

Исследован измеритель натяжения с применением двухкоординатного магнитоупругого силоизмерительного датчика. Составлена схема замещения магнитной цепи двухкоординатного магнитоупругого силоизмерительного датчика. Выведены зависимости между выходными сигналами измерительных обмоток датчика и вертикальной и горизонтальной составляющими вектора натяжения. Доказано отсутствие влияния одной из составляющих вектора натяжения на измерение другой.

Ключевые слова: измеритель натяжения, магнитное сопротивление, магнитоупругий силоизмерительный датчик, схема замещения магнитной цепи.

Измерители натяжения широко используются в производстве различных материалов (металлической, бумажной, пластмассовой, текстильной, резиновой полосы), а также для измерения натяжения тросов и канатов в подъемно-транспортных механизмах, натяжения провода в намоточных станках [1, 2]. Во многих случаях используются моталки 6 для наматывания и разматывания обрабатываемых материалов. При этом изменяется угол охвата α измерительного ролика 5 полосой 5 (рис.1).

В однокоординатных измерителях натяжения используется силоизмерительный датчик, с помощью которого измеряется значение одной (горизонтальной или вертикальной) составляющей вектора натяжения. При обработке материала изменяется угол α , что приводит к большим погрешностям измерения. В двухкоординатных измерителях натяжения (рис.1) используются два силоизмерительных датчика 7 и 8, которые устанавливаются во взаимно перпендикулярных плоскостях. Датчик 7 измеряет горизонтальную составляющую Q_H вектора натяжения Q , а датчик 8 - вертикальную составляющую Q_B . Выходные сигналы U_H , U_B датчиков 7, 8 подаются на счетно-решающее устройство 4, с помощью которого определяются угол охвата α и модуль вектора натяжения:

$$\alpha = \arctg U_B / U_H, \quad (1)$$

$$U_Q = U_B / \sin \alpha, \quad (2)$$

где U_H , U_B , U_Q - выходные сигналы датчиков 7, 8 и измерителя натяжения.

Рассмотренный двухкоординатный измеритель натяжения имеет сложную конструкцию и большие габариты. Это обусловлено применением двух силоизмерительных датчиков и устройства для их установки во взаимно перпендикулярных плоскостях.

С целью упрощения конструкции и уменьшения габаритов разработан двухкоординатный силоизмерительный датчик, обеспечивающий измерение Q_H и Q_B . Магнитоупругий силоизмерительный датчик

Рис. 2

В схеме замещения магнитной цепи двухкоординатного силоизмерительного датчика (рис. 4) введены следующие обозначения: Z_m - магнитные сопротивления сторон рам; Z_{m1} , Z_{m2} , Z_{m3} , Z_{m4} - магнитные сопротивления участков АО, ВО, СО, ДО перемычек рам; F_m - МДС обмоток возбуждения; $\Phi_1 \dots \Phi_4$ - магнитные потоки, протекающие по цепям АОС, АОВ, ВОД, ДОС.

207

широком диапазоне средних индукций остается почти постоянным [3]. Параметры магнитопровода выбираются таким образом, что изменение $\Delta Z / Z$ происходит в линейном участке.

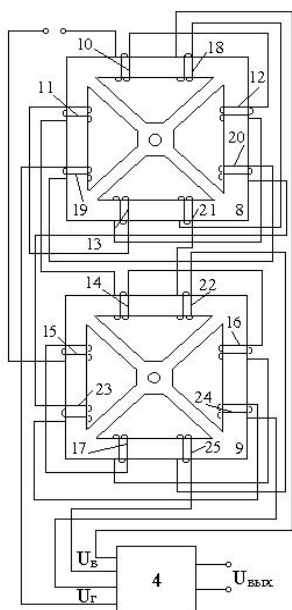


Рис.3

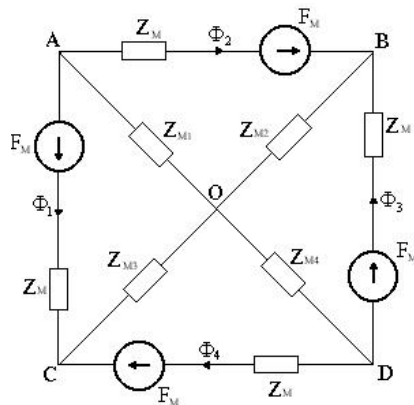


Рис.4

Двухкоординатный силоизмерительный датчик работает следующим образом. При нулевом значении натяжения усилие на измерительный ролик отсутствует (рис.2), и на магнитопровод действует усилие P , обусловленное массами силовопередающего цилиндра и измерительного ролика. Под действием P участок AOB магнитопровода находится в состоянии растяжения, а COD - сжатия.

Магнитные потоки в магнитопроводе определяются в виде

$$\dot{\Phi}_1 = \dot{F}_M / Z_{AOC}, \dot{\Phi}_2 = \dot{F}_M / Z_{AOB}, \dot{\Phi}_3 = \dot{F}_M / Z_{BOD}, \dot{\Phi}_4 = \dot{F}_M / Z_{COD},$$

где $Z_{AOC} = Z_M + Z_{M1} + Z_{M3}$, $Z_{AOB} = Z_M + Z_{M1} + Z_{M2}$, $Z_{BOD} = Z_M + Z_{M2} + Z_{M4}$, $Z_{COD} = Z_M + Z_{M3} + Z_{M4}$.

Выходные напряжения $\dot{U}_Г$ и $\dot{U}_Б$ датчика с учетом двух рам равны

$$\dot{U}_Г = 2j\omega w_2 \left(\frac{\dot{F}_M}{Z_{AOC}} - \frac{\dot{F}_M}{Z_{BOD}} \right) = 2j\omega w_1 w_2 \dot{I}_1 \left(\frac{Z_{BOD} - Z_{AOC}}{Z_{BOD} Z_{AOC}} \right), \quad (3)$$

$$\dot{U}_Б = 2j\omega w_2 \left(\frac{\dot{F}_M}{Z_{AOB}} - \frac{\dot{F}_M}{Z_{COD}} \right) = 2j\omega w_1 w_2 \dot{I}_1 \left(\frac{Z_{COD} - Z_{AOB}}{Z_{COD} Z_{AOB}} \right), \quad (4)$$

где ω - частота питающего напряжения; w_1, w_2 - число витков обмоток возбуждения и измерения; $\dot{I}_1$ - ток обмоток возбуждения.

При $Q=0$ имеем $Z_{AOC}=Z_{BOD}$ и $\dot{U}_\Gamma = 0$. Так как $(Z_{M1}+Z_{M2}) \neq (Z_{M3}+Z_{M4})$, то $\dot{U}_B \neq 0$.

Если натяжение в измеряемой полосе не равно нулю, на измерительный ролик и, следовательно, через силопередающий цилиндр на магнитопровод датчика действуют горизонтальное Q_Γ и вертикальное Q_B усилия, определяемые выражениями $Q_\Gamma=Q\cos\alpha$, $Q_B=Q\sin\alpha$. Под действием усилия $Q_\Gamma+P$ участок AOC сжимается, а BOD растягивается. Магнитные сопротивления Z_{M1}, Z_{M3} уменьшаются, а Z_{M2}, Z_{M4} увеличиваются. Вследствие этого магнитный поток Φ_1 увеличивается, а Φ_3 уменьшается, и на выходе измерительных обмоток $\dot{U}_\Gamma$ изменяется по следующему закону:

$$\dot{U}_\Gamma = 2j\omega w_1 w_2 \dot{I}_1 \left[\frac{Z_{AOC} - \Delta Z - (Z_{BOD} + \Delta Z)}{(Z_{AOC} - \Delta Z_1)(Z_{BOD} + \Delta Z_2)} \right] = jk_\Gamma \dot{I}_1 \Delta Z, \quad (5)$$

где $k_\Gamma = 4\omega w_1 w_2 / Z_{BOD} Z_{AOC}$.

Под действием усилия Q_B участок AOB растягивается, а COD сжимается. Магнитные сопротивления Z_{M1}, Z_{M2} увеличиваются, Z_{M3}, Z_{M4} уменьшаются. В результате Φ_2 уменьшается, а Φ_4 увеличивается, и на выходе измерительных обмоток получают напряжение $\dot{U}_B$, равное

$$\dot{U}_B = 2j\omega w_1 w_2 \dot{I}_1 \frac{Z_{COD} + \Delta Z_1 - (Z_{AOB} - \Delta Z_2)}{(Z_{COD} + \Delta Z_1)(Z_{AOB} - \Delta Z_2)}, \quad (6)$$

где $\Delta Z_1, \Delta Z_2$ - изменения магнитных сопротивлений участков AOB и COD.

После несложных преобразований с учетом того, что $Z_{COD}\Delta Z_1 \approx Z_{AOB}\Delta Z_2$ и $\Delta Z_1\Delta Z_2 \ll Z_{COD}Z_{AOB}$, получаем

$$\dot{U}_B = 2j\omega w_1 w_2 \dot{I}_1 \frac{Z_{COD} - Z_{AOB}}{Z_{AOB}Z_{COD}} + 2j\omega w_1 w_2 \dot{I}_1 \frac{\Delta Z_1 + \Delta Z_2}{Z_{AOB}Z_{COD}} = \dot{U}_{BP} + \dot{U}_{BQ}, \quad (7)$$

где $\dot{U}_{BP} = 2j\omega w_1 w_2 \dot{I}_1 \frac{Z_{COD} - Z_{AOB}}{Z_{AOB}Z_{COD}}$, $\dot{U}_{BQ} = jk_B(\Delta Z_1 + \Delta Z_2)$ - напряжения,

обусловленные усилиями P и Q_B , $k_B = 2\omega w_1 w_2 / Z_{AOB}Z_{COD}$.

В счетно-решающем устройстве величину $\dot{U}_{BP}$ компенсируют, так как она не связана с измеряемым натяжением Q , и при расчете α , Q по выражениям (1) и (2) принимают $\dot{U}_B$ равным $\dot{U}_{BQ}$.

Под действием Q_Γ и Q_B+P в перемычках возникают механические напряжения σ_Γ и σ_B , которые определяются выражениями [3]

$$\sigma_\Gamma = \frac{Q_\Gamma}{2 \cdot 4 \cdot \cos 45^\circ \cdot F} = 0,18 \frac{Q_\Gamma}{F},$$

$$\sigma_B = \frac{Q_B + P}{2 \cdot 4 \cdot \cos 45^\circ \cdot F} = 0,18 \frac{Q_B + P}{F},$$

где F - площадь сечения перемычек.

Магнитные сопротивления перемычек будут изменяться по формулам [3]:

$$\Delta Z = (Z_{M1} + Z_{M3}) S_\mu \sigma_\Gamma, \quad (8)$$

$$\Delta Z_1 = (Z_{M1} + Z_{M2}) S_\mu \sigma_B, \quad (9)$$

$$\Delta Z_2 = (Z_{M3} + Z_{M4}) S_\mu \sigma_B, \quad (10)$$

где S_μ - магнитоупругая чувствительность материала магнитопровода.

С учетом (8), (9), (10) для $\dot{U}_\Gamma$ и $\dot{U}_{BQ}$ получим

$$\dot{U}_\Gamma = jk_1 \dot{I}_1 Q_\Gamma, \quad (11)$$

$$\dot{U}_{BQ} = jk_2 \dot{I}_1 Q_B, \quad (12)$$

где

$$k_1 = \frac{0,18k_\Gamma (Z_{M1} + Z_{M2}) S_\mu}{F}, \quad k_2 = \frac{0,18k_B (Z_{M1} + Z_{M2} + Z_{M3} + Z_{M4}) S_\mu}{F} = k_1.$$

Из (11) и (12) следует, что при постоянном токе $\dot{I}_1$ обмотки возбуждения и выходные напряжения $\dot{U}_\Gamma$ и $\dot{U}_{BQ}$ измерительных обмоток линейно зависят от Q_Γ и Q_B .

Изменение $Z_{M1} - Z_{M4}$ под действием $Q_B + P$ не влияет на выходное напряжение $\dot{U}_\Gamma$. Это объясняется тем, что если Z_{M1} в цепи АОС увеличивается, то Z_{M3} уменьшается на такую же величину, соответственно, если в цепи ВОД Z_{M2} увеличивается, то Z_{M4} уменьшается. Аналогичным образом, Q_Γ не влияет на величину $\dot{U}_B$.

Таким образом, проведенные исследования показали, что рассмотренный двухкоординатный магнитоупругий силоизмерительный датчик обеспечивает измерение двух составляющих Q_Γ и Q_B вектора натяжения Q . Это дает возможность исключить из схемы измерителя натяжения второй силоизмерительный датчик и устройство для установки датчиков во взаимно перпендикулярных плоскостях, что упрощает конструкцию, уменьшает габариты и снижает себестоимость измерителя натяжения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Шипшинский В. И.** Магнитоанизотропные монолитные силоизмерители. - М.: Машиностроение, 1981. - 90 с.
2. **Левшина Е.С., Новицкий П.В.** Электрические измерения физических величин, измерительные преобразователи.-Л.: Энергоатомиздат, 1983. - 320 с.
3. **Мамиконян Б.М.** Измерительные магнитные мосты. - Ереван: Айастан, 1985. - 134 с.
4. **Манукян С.А., Манукян И.Р.** Двухкоординатный измеритель натяжения. А. с. СССР. - ¹ 1377631. - 1988.- БИ. - ¹ 8. - 4 с.
5. **Манукян С.А., Манукян И.Р.** Двухкоординатный измеритель натяжения. Патент РФ ¹ 1377631, 1993. - 4 с.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 01.05.1999.

Ս. Հ. ՄԱՆՈՒԿՅԱՆ, Ար. Ա. ՂԱՄԲԱՐՅԱՆ

ԶԳՄԱՆ ԵՐԿՉԱՓԱՆԻ ՄԱԳՆԻՏԱՃԿՈՒՆ ԿԵՐՊԱՓՈԽԻՉԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒԹՅՈՒՆ

Ուսումնասիրված է մեխանիկական լարվածության չափիչ՝ երկչափանի մագնիսաձևուն ուժային տվիչի կիրառումով: Կազմված է երկչափանի մագնիսաձևուն ուժային տվիչի մագնիսական շղթայի փոխարինման սխեման: Արժարժված են տվիչի չափիչ փաթույթների ելքային լարումների և լարվածության վեկտորի բաղադրիչների միջև եղած առնչությունները: Ապացուցված է այդ բաղադրիչներից որևէ մեկի ազդեցության բացակայությունը մյուսի չափման վրա:

S. H. MANUKYAN, Ar. A. GHAMBARYAN

EXPLORATION OF TWO-DIMENSIONAL MAGNETO-ELASTIC STRENGTH

The trasducer of strains based on two-dimensional magneto-elastic strength gauge is explored. The equivalent schema of the two-dimensional magneto-elastic gauge's magnetic circuit is made up. The relations between output voltages of the measurement windings and components of the strength vector are derived. It is proved that the measurement of any component is independent of others.

Г.Д. АКОПДЖАНЫН, В.С. САФАРЯН

О СИНТЕЗЕ ЛИНЕЙНЫХ ПАССИВНЫХ ШЕСТИПОЛЮСНИКОВ

Представлен метод решения задач синтеза линейных пассивных шестиполусников на основе применения алгебры структурных чисел. Получены необходимые и достаточные условия реализуемости передаточных функций шестиполусника по напряжению. Алгоритм реализован в виде программы для решения задач на ЭВМ.

Ключевые слова: синтез, шестиполусник, структурные числа, электрическая цепь.

Рассмотрим пассивный шестиполусник (рис. 1), передающий энергию от входных зажимов $(0, 0')$ к выходным $(1, 1')$ и $(2, 2')$. Задачи такого типа возникают в случаях, когда электрическая цепь, питающаяся от источника, подключенного на входе цепи, в двух ее выходах должна обеспечить заранее заданные законы изменения напряжений, токов и т.д.

Задача синтеза шестиполусника заключается в построении электрической схемы внутри него и определении параметров, обеспечивающих заданные передаточные функции $k_1(s)$, $k_2(s)$, где s - оператор Лапласа.

В настоящей статье на основе применения алгебры структурных чисел [1] разработан алгоритм решения задач синтеза линейных пассивных шестиполусников.

Рассмотрим поставленную задачу при заданных передаточных функциях по напряжению

$$k_{u_1}(s) = U_1(s)/U_0(s), \quad k_{u_2}(s) = U_2(s)/U_0(s),$$

где U_0 , U_1 и U_2 - соответственно напряжения на входных и выходных зажимах шестиполусника.

Для аналитического определения функций передач по напряжению четырехполусника алгеброй структурных чисел получено соотношение

$$k_u = \frac{\text{Sim}_Z(A^d D_0, A^d D_p)}{\det_Z A^d D_0}, \quad (1)$$

где A_d - дополнительное структурное число электрической схемы внутри четырехполусника; D_0 и D_p - однострочные структурные числа путей между входными $(0, 0')$ и выходными (p, p') зажимами

четырёхполюсника; $Z = Z(s) = \frac{1}{s} \left(Ls^2 + rs + \frac{1}{C} \right)$ – обобщенные сопротивления ветвей электрической схемы.

Рассматривая отдельно передачи от зажимов $0, 0'$ к $1, 1'$ и от $0, 0'$ к $2, 2'$ и учитывая в обоих случаях всю цепь внутри шестиполюсника, по (1) могут быть получены функции передач, принимая $p=1$ (k_{u_1}) и $p=2$ (k_{u_2}). При этом A^d уже будет являться дополнительным структурным числом схемы внутри шестиполюсника (рис. 1).

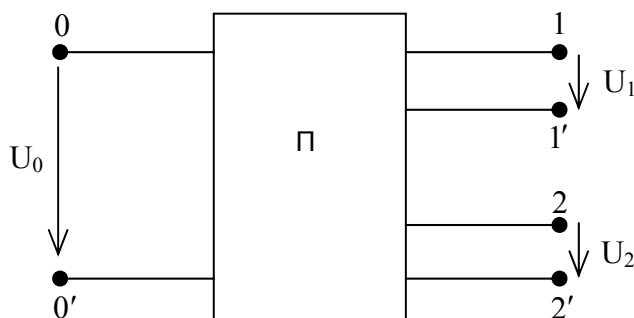


Рис. 1

Синтезируемые передаточные функции задаются в следующем виде:

$$\begin{aligned} k_{u_1} &= \frac{b_{m_1}s^{m_1} + b_{m_1-1}s^{m_1-1} + \dots + b_1s + b_0}{a_ns^n + a_{n-1}s^{n-1} + \dots + a_1s + a_0}, \\ k_{u_2} &= \frac{c_{m_2}s^{m_2} + c_{m_2-1}s^{m_2-1} + \dots + c_1s + c_0}{a_ns^n + a_{n-1}s^{n-1} + \dots + a_1s + a_0}, \end{aligned} \quad (2)$$

где $a_n \neq 0$, $b_{m_1} \neq 0$, $c_{m_2} \neq 0$, $a_i \geq 0$, ($i = \overline{0, n}$).

Из (1) видно, что знаменатели выражений k_{u_1} и k_{u_2} должны быть одинаковыми, а числители передаточных функций являются подмножеством знаменателя. Следовательно, имеем

$$\begin{aligned} a_i &\geq |b_i| \quad (i = 0, 1, \dots, \min(m_1, n)), \\ a_i &\geq |c_i| \quad (i = 0, 1, \dots, \min(m_2, n)). \end{aligned} \quad (3)$$

Условия (3) вместе с условием одинаковости знаменателей обеих передаточных функций шестиполюсника необходимы и достаточны для реализуемости заданных передаточных функций. Из них следует, что

$$n \geq m_1 \text{ и } n \geq m_2. \quad (4)$$

Из (1) видно, что числитель и знаменатель этого выражения представляют собой сумму произведений из $N+1$ обобщенных

сопротивлений $Z(s)$ (N - цикломатическое число графа схемы внутри шестиполюсника). Следовательно, аналитические выражения передаточных функций, определяемых по (1), будут иметь порядок $q = 2(N + 1)$ по степени оператора s .

Представим, что граф схемы шестиполюсника определен, и следует рассчитать значения параметров ветвей электрической схемы, удовлетворяющих заданным передаточным функциям (2). Вопрос выбора графа электрической цепи рассмотрим позже.

Для решения указанной задачи приравниваются заданные и аналитически полученные передаточные функции:

$$\frac{f_q^{(1)}s^q + f_{q-1}^{(1)}s^{q-1} + \dots + f_1^{(1)}s + f_0^{(1)}}{f_qs^q + f_{q-1}s^{q-1} + \dots + f_1s + f_0} = \frac{b_{m_1}s^{m_1} + b_{m_1-1}s^{m_1-1} + \dots + b_1s + b_0}{a_ns^n + a_{n-1}s^{n-1} + \dots + a_1s + a_0},$$

$$\frac{f_q^{(2)}s^q + f_{q-1}^{(2)}s^{q-1} + \dots + f_1^{(2)}s + f_0^{(2)}}{f_qs^q + f_{q-1}s^{q-1} + \dots + f_1s + f_0} = \frac{c_{m_2}s^{m_2} + c_{m_2-1}s^{m_2-1} + \dots + c_1s + c_0}{a_ns^n + a_{n-1}s^{n-1} + \dots + a_1s + a_0},$$

где $f_i, f_i^{(1)}, f_i^{(2)} (i = \overline{0, q})$ - функции, зависящие от параметров ветвей электрической цепи внутри шестиполюсника.

Приравняв коэффициенты при соответствующих степенях оператора s в левой и правой частях равенств (5), имеем

$$f_i^{(1)} - b_i = 0, \quad f_i^{(2)} - c_i = 0, \quad f_i - a_i = 0 \quad (i = \overline{0, q}). \quad (6)$$

Таким образом, определение величин параметров электрической цепи сводится к решению системы из $3(q + 1) = 3(2N + 3)$ нелинейных алгебраических уравнений с 3ℓ (ℓ - число ветвей графа) неизвестными. Задача будет иметь решение при условии

$$3\ell \geq 3(2N + 3), \text{ или } \ell \geq 2N + 3. \quad (7)$$

Выполнение условия (7) с учетом того, что по характеру задачи параметры должны иметь только положительные значения, осложняет решение системы уравнений. Исходя из этого, система уравнений (6) сводится к нахождению минимума функционала:

$$F = \sum_{i=0}^q \left[(f_i^{(1)} - b_i)^2 + (f_i^{(2)} - c_i)^2 + (f_i - a_i)^2 \right] \rightarrow \min$$

с применением метода покоординатного спуска [2].

Начальным этапом решения задачи синтеза является построение графа электрической цепи внутри шестиполюсника. Данная задача зависит от степени n многочлена в знаменателях задаваемых передаточных функций (2).

Необходимым условием реализуемости задаваемых передаточных функций, с точки зрения выбора графа, является соотношение

$$2(N + 1) \geq n. \quad (8)$$

При построении графа должно выполняться также условие (7), налагающее ограничение на число ветвей графа.

Таким образом, для решения задачи синтеза шестиполюсника при питании его с одних пар зажимов необходимо выполнение следующих условий:

$$n \geq m_1, \quad n \geq m_2, \quad a_i \geq |b_i|, \quad a_i \geq |c_i| \quad (i = \overline{0, n}), \quad (9)$$

которым должны удовлетворять обе задаваемые передаточные функции, и

$$2(N+1) \geq n, \quad \ell \geq 2N+3, \quad (10)$$

которым соответствует граф электрической схемы внутри шестиполюсника.

На основании описанного выше алгоритма составлена программа на языке Turbo-Pascal.

Пример расчета. Заданы:

$$k_{u_1} = \frac{50s^3 + 6500s^2 + 210000s}{50s^3 + 7000s^2 + 365000s + 2,1 \cdot 10^7},$$

$$k_{u_2} = \frac{10^7}{50s^3 + 7000s^2 + 365000s + 2,1 \cdot 10^7}.$$

Решение: $n = 3$. Примем $N = 1$, $\ell = 5$ (рис. 2).

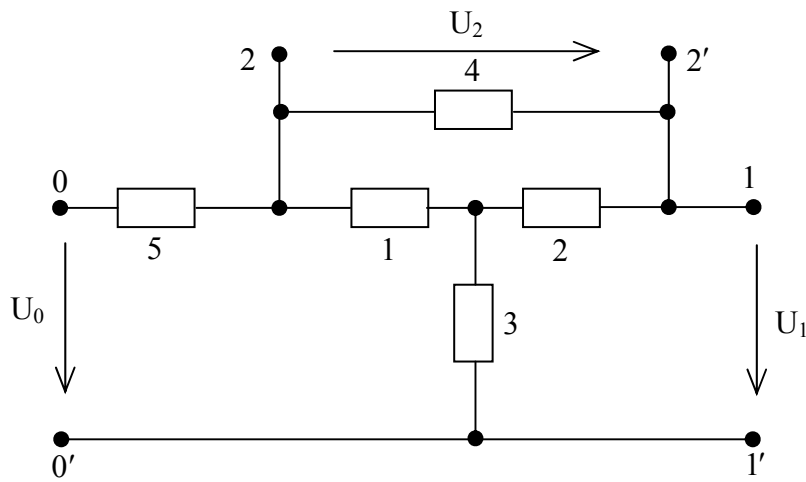


Рис. 2

Будем иметь: $A^d = [124]$, $D_0 = [135]$, $D_1 = [23]$, $D_1 = [4]$.

Параметры электрической цепи на рис. 2 следующие:

$$Z_1 = 1000/s, \quad Z_2 = 100, \quad Z_3 = 10 + 0,5s, \quad Z_1 = 10000/s, \quad Z_1 = 5 + 1000/s.$$

Это есть одно из решений задачи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Беллерт С., Возняцки Г.** Анализ и синтез электрических цепей методом структурных чисел. - М.: Мир, 1972. - 330 с.
2. **Акопджанян Г.Д., Сафарян В.С.** К проблеме синтеза пассивного четырехполюсника // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. - 1999. - Т.52, № 3. - С. 340-345.

ГИУА, ЗАО " Институт энергетики ". Материал поступил в редакцию
24.03.1999.

Գ.Դ. ՀԱԿՈՒԲՋԱՆՅԱՆ, Վ.Ս. ՍԱՖԱՐՅԱՆ

ԳԾԱՅԻՆ ՊԱՍՍԻՎ ՎԵՑԱԲԵՎԵՌԱՇՂԹԱՆԵՐԻ ՍԻՆԹԵԶԻ ՄԱՍԻՆ

Կառուցվածքային թվերի հանրահաշվի կիրառմամբ մշակված է գծային պասսիվ վեցաբևեռաշղթաների սինթեզի խնդիրների լուծման մեթոդ: Ստացված են վեցաբևեռաշղթաների լարման փոխանցման ֆունկցիաների իրագործման անհրաժեշտ և բավարար պայմանները: Խնդիրը համակարգչի միջոցով լուծելու համար կազմված է ծրագիր:

G.D. HAKOPIJANYAN, V.S. SAFARYAN

SYNTHESIS OF LINEAR PASSIVE HEXAHEDRONS

A method is suggested for the synthesis of passive hexahedrons on the basis of algebra of structural numbers. Necessary and satisfactory conditions are obtained for the realization of the hexahedrons by voltage transmission function on the basis of the gained algorithm. The algorithm is performed in the form of a program for computer problem solving.

О НЕКОТОРЫХ ВОПРОСАХ СТАТИСТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
ЭРГАТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Описывается экспериментальный метод исследования производства с целью получения исходных статистических зависимостей $\bar{t}_i(S)$ и $P_i(S)$, связанных с взаимовлиянием эмоциогенных факторов (напряженности и мотивации), которые могут использоваться в статистической модели эргатических производственных процессов.

Ключевые слова: эргатический процесс, дефицит времени и мотивации, эмоциональное напряжение, пороговое значение, эмоциогенный фактор.

При организации производства и управлении качеством продукции объектом изучения является производство с наложенной технологической схемой, которую в конкретной производственной ситуации не имеет смысла нарушать. Такая фиксированная технологическая схема накладывает на исследователя определенные ограничения в выборе методов и средств совершенствования производственной системы. Возникает необходимость поиска новых путей, и одним из них является специфическая сторона производственной деятельности, связанная с участием людей (в данном случае операторов). В то же время в этом направлении скрываются немалые возможности повышения эффективности, совершенно недостаточно реализуемые в настоящее время.

В системе производства с операторами всегда присутствуют определенные факторы социально-психологического характера, которые при достаточно обоснованном и правильном использовании могут привести к повышению производительности и качества работ без перестроек самой технологической схемы. Резервы в этой области деятельности весьма велики. Однако в практике производства они недостаточно раскрыты и, тем более, используются не в полной мере.

Чтобы выяснить, каким образом в практике статистического моделирования производственных процессов учитываются такие факторы, как дефицит времени и мотивации, мера дефицита времени вычисляется по формуле $S_i = \bar{T}_i / T_i$ [1,2], где $\bar{T}_i$ - среднее время, необходимое для выполнения оставшейся части задания, начиная с i -й операции, при работе без эмоционального напряжения и условии, что в дальнейшем оператор не совершит ни одной ошибки; T_i - истинное время, оставшееся для завершения задания.

При этом $\bar{T}_i = \sum_{k=i}^n \bar{t}_{ok}$, где $\bar{t}_{ok}$ - среднее время выполнения оператором k -й операции при работе без эмоционального напряжения; i -

текущий номер выполняемой операции; n - номер последней операции, которой завершается выполнение задания (из предположения, что при выполнении оставшейся части задания оператор не допустит ни одной ошибки и ни одна из последующих операций не будет им переделываться).

Истинным временем T_i , оставшимся для завершения задания, включая i -ю операцию, является разность между T , отведенным на выполнение всего задания, и $\tilde{T}$, затраченным оператором на выполнение предыдущих операций (с учетом всех ошибок): $T_i = T - \tilde{T}$.

Здесь время $\tilde{T}$ уже нельзя представить суммой $\sum_{k=i}^n \bar{t}_{ok}$, поскольку оператор может выполнять задание поэтапно из-за переделок отдельных операций (k - номер операции). Поэтому в модели эргатического производственного процесса значение $\tilde{T}_i$ вычисляется последовательным вычитанием из T периодов операций, выполненных оператором перед началом i -й операции в соответствии с алгоритмом операторской деятельности и с учетом влияния эмоциональных факторов [3].

Известно, что возникающие в результате действия дефицита времени эмоциональные реакции характеризуются напряженностью, которая до некоторого значения M , называемого пороговым, воздействует на поведение оператора как организующего фактора. После прохождения значения M поведение оператора становится дезорганизующим.

Для области значений $S_i \leq M$ можно записать

$$\bar{t}_i = \frac{\bar{t}_{oi}}{S_i} F, \quad \sigma_i = \frac{1}{S_i} \sigma_{oi} F, \quad P_i = P_{oi} + \frac{(1 - P_{oi})(S_i - 1)}{M - 1}, \quad (1)$$

где P_i - вероятность своевременного и качественного выполнения i -й операции в условиях дефицита времени; F - коэффициент, учитывающий действия мотивационных факторов (условно называемый "коэффициентом мотивации"); P_{oi} - вероятность своевременного и качественного выполнения i -й операции без учета действия дефицита времени; σ_{oi} и σ_i - среднеквадратичное отклонение времени выполнения i -й операции без действия дефицита времени и при учете этого фактора соответственно.

Проиллюстрируем предложенную методику на примере производства реле типа РПУ. При этом исследовались технологические (операции сборки) и контрольные операции, каждая из которых в процессе проведения экспериментов подвергалась активному воздействию с целью применения:

- а) различных темпов работы (для выявления влияния на результаты труда различных уровней темповой напряженности);
- б) различных видов мотивации.

При проведении экспериментов в основном использовались такие виды стимулирования (при этом мотивация рассматривалась как фактор

стимулирования качества труда и продукции), как соревнование цехов и бригадный метод организации работ.

На рис. представлены экспериментальные функции $\bar{t}_i(S)$ и $P_i(S)$ для операций намотки катушки реле РПУ. Как видно, начальное значение периода выполнения операций $\bar{t}_0 = 6 \text{ мин}$ получено на основании статистической оценки - времени выполнения исполнителями, являющимися работниками данного предприятия (для которого можно принять гипотезу о действии существующих методов стимуляции). Далее дискретно изменяется темп работы (кривая 1): $S = 1,2; 1,6; 1,8$.

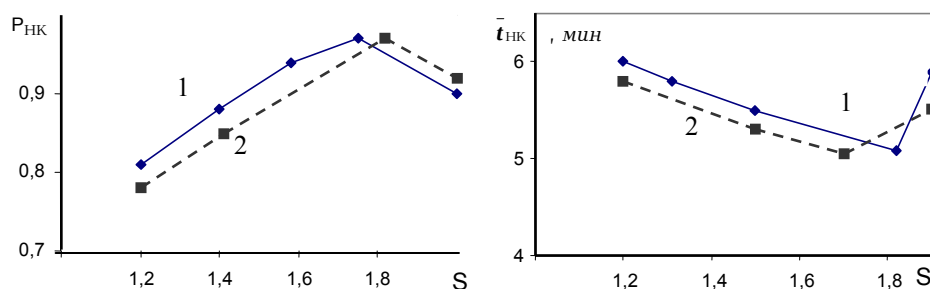


Рис. Показатели эргатического производственного процесса

Аналогично исследовались функции $\bar{t}_i(S)$ и $P_i(S)$ для режимов состязательного межцехового и бригадного метода труда (соответственно функции 1 и 2). Всего проведено 62 опыта. В экспериментальном исследовании значения дефицита времени задавались лишь для 3 - 4 точек графика. Остальные значения функции экстраполировались.

Статистическую основу проведения экспериментов составили измерения (хронометраж) исполнений всех операций производства реле типа РПУ в течение более 60 смен.

Расчетные значения $\bar{t}_i$ и σ_i могут в дальнейшем приниматься за основу формирования алгоритмов действий в статистической модели процесса, аналогичного процессу производства реле типа РПУ (рис.).

При этом время выполнения операций снижается с 6 мин до 1,8 мин, т.е. повышается производительность работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Таран В.А. Эргатические системы управления. – М.: Машиностроение, 1976. – 118 с.
2. Даллакян С.Р., Лаврентьев В.А., Таран В.А. Методика оптимизации системы контроля на предприятии. – Ереван: НМК Минвуза АрмССР, 1984. – 74 с.
3. Волков П.П., Оксень В.Н. Информационное моделирование эмоциональных состояний. – Минск: Высшая школа, 1978. – 127 с.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 12.03.1998.

Կ.Վ. ԲԵԳՈՅԱՆ

**ԷՐԳԱՏԻԿ ԱՐՏԱԴՐԱԿԱՆ ԳՈՐԾՆԹԱՑՆԵՐԻ ՎԻՃԱԿԱԳՐԱԿԱՆ ՄՈՂԵԼԱՎՈՐՄԱՆ ՄԻ ՔԱՆԻ
ՀԱՐՑԵՐԻ ՄԱՍԻՆ**

Նկարագրվում է արտադրության հետազոտման փորձարարական մեթոդ $\bar{t}_i(S)$ և $P_i(S)$ ելքային վիճակագրական կախվածությունների ստացման համար, որոնք կապված են հուզածին գործոնների (մոտիվացիա և լարվածություն) փոխազդեցության հետ և կարող են օգտագործվել էրգատիկ արտադրական գործընթացների վիճակագրական մոդելում:

K.V. BEGOYAN

**SOME STATISTICAL MODELING PROBLEMS OF ERGATIC
INDUSTRIAL PROCESSES**

To get initial statistical dependences $\bar{t}_i(S)$ and $P_i(S)$ which are related to emotiogenic factors (stress and motivation), an experimental method of production investigation is described. These dependences can be applied to statistical models of ergatic industrial processes.

С.В. ДАНИЕЛЯН

О МЕТОДЕ ОБНАРУЖЕНИЯ ТОЧЕЧНОГО ОЧАГА ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Пусть на высоте r находится источник частиц, который испускает в случайные моменты времени равномерно на все стороны сгустки частиц. Система чувствительных датчиков регистрирует моменты прихода этих сгустков, и вся информация передается в компьютер. Исследуется метод обнаружения точечного очага загрязнения.

Ключевые слова: очаг загрязнения, отношение правдоподобия, состоятельный, асимптотически нормальный.

Пусть на плоскости имеется источник, испускающий равномерно на все стороны сгустки частиц в случайные моменты времени. На расстоянии r от плоскости регистрируются моменты достижения частиц. Обозначим через λ интенсивность источника излучения, Δt - время излучения, $\Delta \varphi$ - угол излучения. Тогда в среднем будет излучаться $\lambda \Delta t \Delta \varphi$ частиц. Предположим, что регистрирующее излучение устройство, находящееся на расстоянии r от источника, движется по прямой. Тогда в течение времени Δt в случайные моменты $t_1, t_2, \dots, t_n$ будут зарегистрированы долетевшие частицы. Среднее число точек на прямой, появившихся за время Δt , очевидно, равно $\pi \lambda \Delta t$. Предположим теперь, что в среде происходит также и поглощение частиц, т.е. вероятность прохождения частицей пути ℓ в случае отсутствия поглощения есть функция $q(\ell)$. Примем $q(0)=1$. В качестве $q(\cdot)$ иногда разумно брать функцию $q(\ell)=\exp(-\alpha \ell)$. В наших вычислениях вид $q(\cdot)$ не существен, и для определенности будем считать, что $q(\ell)=\exp(-\alpha \ell)$. Таким образом, до прямой за время Δt внутри угла $\Delta \varphi$ долетит в среднем $\lambda \Delta t \Delta \varphi q(\ell)$ частиц.

В силу независимости числа частиц, испускаемых за время Δt , приходим к независимости числа событий (точек) на прямой, что вместе с ординарностью (независимость появления двух частиц в одной точке) приводит к определению процесса Пуассона. Таким образом, последовательность точек на прямой можно рассмотреть как реализацию процесса Пуассона переменной интенсивности. Функцию интенсивности $\mu(x)$ определим следующим образом. Интервал $[0, t]$ разобьем на k равных интервалов точками $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_k$. В угол $\Delta \varphi$ в среднем за время Δt проходит $\lambda \Delta t \Delta \varphi q(\ell)$ частиц. Имеем

$$\Delta \varphi \cong \operatorname{tg} \Delta \varphi = \frac{\operatorname{tg} \varphi_k - \operatorname{tg} \varphi_{k-1}}{1 + \operatorname{tg} \varphi_k \operatorname{tg} \varphi_{k-1}} = \frac{k \Delta x / r - (k-1) \Delta x / r}{1 + k(\Delta x)^2 (k-1) / r^2} = \frac{r \Delta x}{r^2 + (k \Delta x)^2}.$$

Следовательно, интенсивность $\mu(x)$ есть

$$\lim_{\Delta x \rightarrow 0 (k\Delta x = x)} \frac{\lambda \Delta t \Delta \varphi q(l)}{\Delta x} = \frac{\lambda r q(l) \Delta t}{r^2 + x^2} = \frac{\lambda r q(\sqrt{r^2 + x^2}) \Delta t}{r^2 + x^2}.$$

Итак, в единицу времени имеем

$$\mu(x) = \lambda r q(\sqrt{r^2 + x^2}) / (r^2 + x^2).$$

При этом вероятность того, что в интервале (x_1, x_2) в единицу времени произойдет k событий, есть

$$P_k(x_1, x_2) = \frac{\Lambda(x_1, x_2)^k}{k!} e^{-\Lambda(x_1, x_2)},$$

$$\text{где } \Lambda(x_1, x_2) = \lambda r \Delta t \int_{x_1}^{x_2} \frac{q(\sqrt{r^2 + x^2})}{r^2 + x^2} dx.$$

В случае отсутствия поглощения ($q \equiv 1$) получаем

$$\Lambda(x_1, x_2) = \lambda \Delta t \left(\operatorname{arctg} \frac{x_2}{r} - \operatorname{arctg} \frac{x_1}{r} \right) = \lambda \Delta t \operatorname{arctg} \frac{r(x_2 - x_1)}{r^2 + x_1 x_2}.$$

Функция распределения длины интервала между событиями (очевидно, зависящая от положения интервала) равна

$$F_x(\Delta x < a) = 1 - P_0(x, x+a) = 1 - \exp \left\{ -\lambda r \Delta t \int_x^{x+a} \frac{q(\sqrt{r^2 + u^2})}{r^2 + u^2} du \right\}.$$

Данная функция распределения несобственная, т.к. $F_L(+\infty) < 1$. Это объясняется тем, что за время Δt будет зарегистрировано только конечное число точек, и с положительной вероятностью в любом месте может оказаться последняя точка, а значит, интервал будет полубесконечным с той же вероятностью. Интенсивность процесса Пуассона, регистрируемого с помощью датчиков, будет складываться из найденной интенсивности и интенсивности событий от других источников (шума). Примем последнюю постоянной величиной, равной λ_0 . Таким образом, интенсивность наблюдений есть функция

$$\lambda(x) = \lambda_0 + \lambda \frac{r \exp \{-\alpha \sqrt{r^2 + x^2}\}}{r^2 + x^2}.$$

Источник можно обнаружить методом максимума правдоподобия. Примем положение L источника неизвестным, а остальные параметры заданными. Отношение правдоподобия имеет вид

$$\Lambda\{x_1, \dots, x_n, L\} = \exp \left\{ \int_0^T \ln \frac{\lambda(x)}{\lambda_0} dN(x) - \int_0^T (\lambda(t) - \lambda_0) dt \right\},$$

$$\text{где } \lambda(L) \text{ задана равенством } \lambda(x) = \lambda_0 + \frac{\lambda r}{r^2 + (L - x)^2}.$$

Оценка максимального правдоподобия $\bar{L}$ определяется как решение уравнения $\Lambda\{x_1, \dots, x_n, \bar{L}\} = \max \Lambda\{x_1, \dots, x_n, L\}$, где $\max$ находим из множества возможных значений (в области наблюдений). При больших объемах информации оптимальные свойства этой оценки общеизвестны, но при конечном интервале наблюдения вопрос близости оценки к истинному значению остается открытым. С этой целью была проведена компьютерная

имитация и апробация этого метода. Рассмотрена возрастающая последовательность $\lambda = \lambda_n$, для которой соответствующая последовательность $\bar{L}_n$ определяет разумный порог λ .

Рассмотрим задачу обнаружения точечного очага на высоте r , точнее, задачу нахождения координат точечного источника по измерениям на поверхности. Примем заданным источник, положение которого определяется координатами $A(x_0^*, y_0^*)$ на плоскости. Измерения проводятся вдоль прямых, параметризованных с помощью P_i , $i=1, 2, \dots, k$ (прямые, параллельные оси x). Повторяя ранее проводимые выкладки, приходим к следующему выражению для интенсивности неоднородного процесса Пуассона вдоль прямой P_i (в единицу времени) :

$$\lambda_i(x) = \lambda_0 + \lambda \frac{\sqrt{r^2 + (P_i - y_0^*)^2}}{r^2 + (P_i - y_0^*)^2 + (x - x_0^*)^2},$$

где λ_0 - интенсивность шума; λ - интенсивность источника; r - глубина.

Примем заданными наблюдения $N_i(x)$, $0 \leq x \leq T$, $i=1, 2, \dots, k$ вдоль прямых P_i , $i=1, 2, \dots, k$. Требуется по этим наблюдениям определить координаты (x_0^*, y_0^*) . Для этого воспользуемся методом максимального правдоподобия. Отношение правдоподобия имеет вид

$$\begin{aligned} \Lambda\{N_i(x), 0 \leq x \leq T, i=1, \dots, k, x_0, y_0\} = \\ = \exp \left\{ \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{N_i(T)} \ln \left[1 + \frac{\lambda r_i}{\lambda_0 (r^2 + (P_i - y_0)^2 + (x_j^{(i)} - x_0)^2)} \right] \right. \\ \left. - \sum_{j=1}^k \frac{\lambda r_i}{\sqrt{r^2 + (P_i - y_0)^2}} \left[\arctg \frac{T - x_0}{r_i} - \arctg \left(-\frac{x_0}{r_i} \right) \right] \right\}, \end{aligned}$$

где $r_i = \sqrt{r^2 + (P_i - y_0)^2}$. При этом воспользуемся независимостью приращений неоднородного процесса Пуассона. С помощью теории [1] можно вполне строго математически доказать, что при неограниченном увеличении числа линий ($k()$ оценка максимального правдоподобия $\sqrt{k}$ состоятельная, асимптотически нормальная и эффективная. Можно выписать и дисперсию, если знать закон выбора параметров P_i . В качестве оценки максимального правдоподобия $(\bar{x}_0, \bar{y}_0)$ принимается решение уравнения

$$\begin{aligned} \Lambda\{N_i(x), 0 \leq x \leq T; i=1, \dots, k; \bar{x}_0, \bar{y}_0\} = \\ = \max_{x_0, y_0 \in D} \Lambda\{N_i(x), 0 \leq x \leq T; i=1, \dots, k; x_0, y_0\}, \end{aligned}$$

где D - область наблюдений (прямоугольник).

Компьютерная реализация. Рассмотрены следующие алгоритмы. Для фиксированных входных значений $\lambda_0=2$, $r=3$, $x_0=75$, $y_0=10$ и λ ($\lambda=1,5, 2,0, 2,5, 3,0, 3,5, 4$) определяется положение очага. Начиная с $\lambda=3,0$, очаг уверенно обнаруживается (рис.1 а, б). Отметим, что для каждого

значения λ этот эксперимент ставился 900 раз. Поиск производится в прямоугольнике размером 100 x 40.

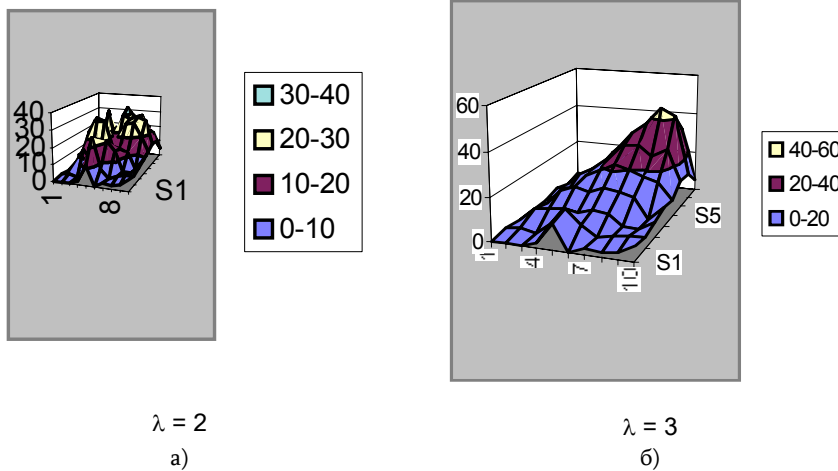


Рис. 1

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Кутоянц Ю.А.** Оценивание параметров случайных процессов. - Ереван: АН АрмССР, 1980. - 254 с.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 28.02.1999.

Ս.Վ. ԴԱՆԻԵԼՅԱՆ

ԱՂՏՈՏՎԱԾՈՒԹՅԱՆ ԿԵՏԱՅԻՆ ԱՂԲՅՈՒՐԻ ՀԱՅՏՆԱԲԵՐՄԱՆ ՄԵԹՈԴԻ ՄԱՍԻՆ

Դիցուք r բարձրության վրա է գտնվում մասնիկների աղբյուր, որը ժամանակի պատահական պահերին տարբեր ուղղություններով հավասարաչափ ճառագայթում է մասնիկների թանձրություններ: Զգայուն տվիչների համակարգը գրանցում է այդ թանձրությունների գալու պահերը, և ամբողջ տեղեկատվությունը փոխանցվում է համակարգիչ: Դիտարկվում է աղտոտվածության կետային աղբյուրի հայտնաբերման մեթոդ:

S.V. DANIELYAN

ON THE METHOD OF POLLUTION SOURCE DETECTION

Let the particle source, emitting the bunch of particles uniformly on all the sides in random moment of time, be on the height r . The system of sensors records the arrival time of these pollutants and all the information is transferred into the computer. The pollution localization method of point source detection is investigated.

З.Р. МНАЦАКАНЯН, В.Р. МНАЦАКАНЯН

ПРЕПРОЦЕССОР ТАБЛИЦ РЕШЕНИЙ TABLE

Рассмотрены вопросы целесообразности использования таблиц решений в программировании. Приведены принципы создания препроцессора TABLE. Разработан язык описания таблиц решений с ограниченным входом.

Ключевые слова: таблицы решений, препроцессор, алгоритм Поллака, метод ветвления, язык описания таблиц решений.

Таблицы решений представляют собой один из наиболее содержательных способов описания задачи. По сути, они служат той же цели, что и известные блок-схемы. Разница в том, что блок-схемы приспособлены для безошибочной разработки и модификации вручную простейших в логическом смысле программ, а таблицы решений предназначены для записи сложных логических задач в существенно более простой форме, ориентированы на автоматическую разработку и модификацию алгоритмов [1].

Задача, записанная в форме таблиц решений, содержит все возможные блок-схемы ее решений. В этом множестве можно выбрать наилучшую с точки зрения заданного критерия эффективности объектной программы. Любая задача может быть сформулирована в терминах таблиц решений. Эффективность их использования зависит от логической сложности задачи: чем выше сложность задачи, тем выше эффективность применения таблиц решений [2].

Таблицы решений бывают двух типов: с ограниченным и расширенным входом [3]. Они состоят из условий, данных и действий, т.е. из основных элементов всех программ, и поэтому могут использоваться как гибкий инструмент для описания не только данных, но и значительной части логики любой программы. Начало условий можно сформулировать так, что они станут булевыми функциями с двумя значениями: “истина” и “ложь”. Обозначим в теле условия эти значения как “Y” и “N” соответственно. Термин “расширенный вход” применяется для обозначения любого другого типа заполнения клеток. Таблицы решений позволяют систематически проверять каждую комбинацию значений условий так, чтобы быть уверенным, что не пропущена ни одна из них. Для таблицы с ограниченным входом число возможных исходов равно 2^n , где n - число условий, т.е. легко можно заранее проверить общее число возможных исходов и выяснить, полна ли данная таблица.

Обычно применяют два способа, позволяющих сократить объем работы. Первый состоит в использовании тире для обозначения того, что значение условия несущественно для данного правила [3]. В таблице решений с ограниченным входом каждое тире означает замену двух правил решений на одно. Если в правиле решений записано n тире, то одним столбцом заменено 2^n правил решений. Второй способ

заключается в использовании правила “иначе” [3]. Выписывают только те правила решения, для которых требуется специальная обработка, а к остальным применяют специальное правило “иначе”, записываемое справа.

Существуют различные методы автоматической обработки таблиц решений. Самый простой – использование макропрограмм, которые вводятся в соответствующие места программ и вызываются с помощью макрооператоров [4]. Другой метод автоматической обработки таблиц решений – использование интерпретатора. Это – программа, описанная на машинно-ориентированном языке и обрабатывающая таблицы решений с простым входом. В противоположность другим методам обработки, в этом случае таблица решений не переводится в программу, а сразу интерпретируется, т.е. запоминается в оперативной памяти, и в соответствии с заданной ситуацией отыскивается верное правило и выполняется нужное действие [2]. Следующим методом обработки таблиц решений является использование компиляторов, которые переводят таблицу решений непосредственно в машинную программу [1]. Самый популярный метод обработки таблиц решений – это использование препроцессоров. Препроцессор дает широкую возможность для обработки таблиц решений. При этом таблицы переводятся в программу, записанную на проблемно-ориентированном языке. Полученную программу обрабатывает уже транслятор конкретного языка обычным методом. Использование препроцессора дает пользователю ряд существенных преимуществ:

- а) таблицы решений записываются на специальном проблемно-ориентированном языке высокого уровня. Этот язык легко изучается;
- б) язык таблиц решений в силу своей структуры приспособлен для документирования;
- в) возможна обработка таблиц решений с произвольно большим числом пробелов;
- г) исходная программа в некотором смысле оптимизируется;
- д) синтаксические ошибки могут быть устранены как в программе таблицы решений, так и в исходной программе.

Однако препроцессор имеет также и недостатки. К ним относится увеличение времени обработки программы и длительности процесса предтрансляции. В основе препроцессора TABLE лежит алгоритм Поллака. Выбор этого алгоритма обусловлен следующими факторами [1]. Для одной и той же таблицы решений можно построить несколько блок-схем. Они одинаковы в логическом смысле, т.е. при любом предположении о состоянии условий этой таблицы приходим к одному и тому же действию, какую бы блок-схему мы ни избрали. Однако эти блок-схемы отличаются по форме. Например, нам потребовалось бы хранить три проверки в одном случае и четыре в другом. Причиной различия является порядок, который выбирается для выполнения проверок. Проблема состоит в выборе лучшей из этих блок-схем. Если рассматривать всех их с точки зрения числа проверок, которые надо хранить, и среднего времени получения решения, то может оказаться, что одна блок-схема лучше с точки зрения затрат памяти, а другая – с точки зрения среднего времени получения решения. Поэтому следует с недоверием относиться к тому, что некоторый блок-схемный эквивалент

таблицы решений является наилучшим, если неизвестны затраты на проверки условий и вероятность появления ключей и пока не установлена относительная важность двух названных критериев [3].

В процессе трансляции построение той или иной блок-схемы определяется выбором последовательности проверок. Следовательно, надо найти метод, позволяющий определить, какое условие необходимо проверить далее. Рассмотрим методы, которые непосредственно подводят к алгоритму Поллака.

Простым методом выбора очередной проверки может служить следующая схема: посчитать тире в каждой строке и выбрать ту, в которой число тире наименьшее. Однако, если рассмотрим табл. 1, то увидим, что условия 2,3,5 оказываются наилучшими. Но расширение тире во втором условии правила Е приводит к появлению тире в третьем условии в правиле Е в двух подтаблицах. Если расширить каждое из них, можно получить копии тире в четвертом условии правила Е в каждой подтаблице каждой из первоначальных таблиц. Поэтому, рассматривая каждое тире, необходимо учитывать количество тире в том же столбце, или же сколько их может быть порождено. В таблице с ограниченным входом n тире означает, что это правило решения является сокращенной записью 2^n отдельных правил.

Таблица 1

1	—	—	N	N	Y	4
2	N	Y	Y	N	—	8
3	Y	Y	Y	Y	—	8
4	Y	Y	—	—	N	4
5	N	Y	N	Y	—	8
	A	B	C	D	E	
	2	2	2	2	8	

Цифры под каждым правилом решения (табл.1) означают число реальных правил решения, представленных каждым столбцом. Число справа от каждого условия получается сложением чисел под столбцами, содержащими тире в строке этого условия. Если построить блок-схемы этой таблицы, взяв в качестве критериев сначала простую, а затем взвешенную сумму тире, то легко убедиться, что, во-первых, число фактических проверок условий при простом суммировании тире равно девяти, а при взвешенном - шести; во-вторых, рассматривая стоимость обработки шестнадцати различных ситуаций, охватываемых данной таблицей, для простого суммирования тире это число равно 56, так что средняя цена одного случая равна 3,5, а для взвешенного - общая цена равна 40, что в среднем дает 2,5. Таким образом, и по затратам памяти, и по затратам времени взвешенная сумма тире предпочтительнее простой. Но при применении метода взвешенной суммы тире может оказаться несколько возможностей выбора следующей проверки, так как у нескольких строк суммы тире могут быть одинаковыми. Поэтому было бы полезно выяснить, чем могут отличаться строки с одинаковыми суммами тире, какие еще правила выбора следующего условия могут быть предложены и как они скажутся на результирующей блок-схеме [3]. Если взвешенная сумма тире окажется равной для нескольких строк, то это означает, что они содержат равное количество значащих элементов

("Y"или"N"), но при этом могут отличаться соотношением "Y"- и "N"- символов. Причем при наличии в таблице решений символов тире "—" предполагается брать не простую разность количества "Y" и "N", а взвешенную, т.е. сначала суммировать взвешенные суммы тире тех столбцов, где в указанной строке "N"- символы, затем ту же операцию произвести для "Y"- символов, и только затем - разность. Рассмотрим табл. 2.

Таблица 2

1	Y	Y	Y	N	N	N	3-3=0	4-3=1
2	Y	N	N	N	N	N	5-1=4	6-1=5
3	N	N	N	Y	—	N	4-1=3	5-2=3
4	N	Y	N	N	Y	N	4-2=2	4-3=1
5	N	N	N	N	Y	N	5-1=4	5-2=3
	A	B	C	D	E	F	ПР	ВР

Столбец ПР указывает значение вычисления простой разности. Столбец ВР указывает взвешенную разность, т.е. учитывает тот факт, что из-за тире в элементе 3-Е действию Е удовлетворяют два ключа [3]. Перейдем теперь непосредственно к алгоритму Поллака [1], который основан на методах взвешенной суммы тире и взвешенной N-Y- разности. Алгоритм Поллака ставит в соответствие каждой таблице решений с ограниченным входом эквивалентную блок-схему, точнее, эквивалентное двоичное дерево решений. Итак, пусть задана таблица решений с ограниченным входом. Ядром алгоритма является следующая процедура выбора: каждому столбцу ставим в соответствие коэффициент столбца

$$\sigma_k = 2^{R_k},$$

где R_k (число пробелов в k-ом столбце. Каждой строке ставим в соответствие пробельное число

$$\beta_j = \sum_{B_{ij}=-} \sigma_i.$$

Суммируются все коэффициенты σ_i тех столбцов, которые в выбранной строке содержат тире "—" . Если рассматриваемая строка не содержит тире "—", то $\beta_j=0$. Пусть таблица решений имеет строку с наименьшим пробельным числом. Проверим это условие, разделяя по Y на TPY и по N на TPN, и снова применим алгоритм к полученным частным таблицам. Если не существует минимального пробельного числа, то для строк вычисляется наименьший строчный коэффициент [5]

$$\varepsilon_i = \left| \sum_{Y} \sigma_i - \sum_{N} \sigma_i \right|.$$

Среди строк с наименьшим пробельным числом сначала проверяются те, которые имеют наибольшие строчные коэффициенты. Если существует несколько таких строк, предпочтение отдается тем, которые в таблице помечены выше, и затем продолжается программирование соответствующих частных таблиц [4]. Поясним алгоритм на примере табл. 3: $\sigma_1=2^0=1$, $\sigma_2=2^2=4$, $\sigma_3=2^1=2$, $\sigma_4=2^0=1$,

$\sigma_5=2^0=1$, $\beta_1=0$, $\beta_2=0$, $\beta_3=\sigma_2=4$, $\beta_4=\sigma_2+\sigma_3=6$. Т.к. $\beta_1=\beta_2$, вычислим строчные коэффициенты: $\varepsilon_1=\sigma_1+\sigma_2-\sigma_3-\sigma_4-\sigma_5=1$, $\varepsilon_2=\sigma_1-\sigma_2+\sigma_3-\sigma_4-\sigma_5=3$.

Таблица 3

TP	R1	R2	R3	R4	R5	E	β	ε
B1	Y	Y	N	N	N		0	1
B2	Y	N	Y	N	N		0	3
B3	Y	—	Y	Y	N		4	
B4	Y	—	—	Y	N		6	
	M1	M2	M3	M4	M5	M6		
σ	1	4	2	1	1			

В итоге получается блок-схема, приведенная ниже (рис.):

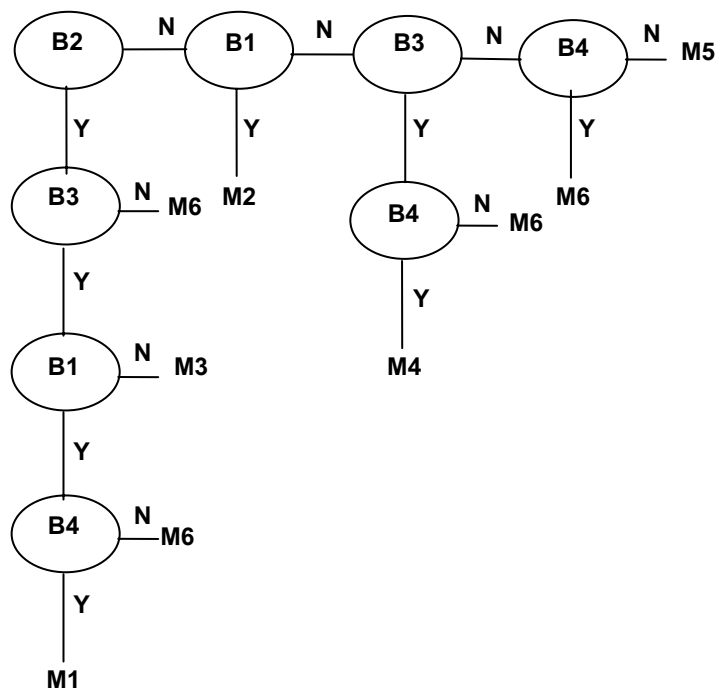


Рис.

На основе описанного метода был разработан и реализован препроцессор таблиц решений TABLE, который предназначен для автоматизации технологических процессов, создания и сопровождения программного обеспечения. Средством достижения этой цели служит использование таблиц решений в качестве единого языка, обеспечивающего взаимодействие аналитика, программиста и компьютера. Единая форма записи информации позволяет поэтапно определять сформулированную задачу особенностями ее реализации. К таким особенностям можно отнести адаптацию разработанной программы на максимальное быстродействие. Блок описания таблицы решений имеет следующий вид:

```

@TABLE < количество условий>
@C a[1,1]... a[1,k] , <условие>
... ..
@C a[n,1]... a[n,k] , <условие>
@X b[1,1]... b[1,k] , <последовательность операторов>
... ..
@X b[m,1]... b[m,k] , <последовательность операторов>
@D <последовательность операторов>
@END.

```

Элементы $a[i,j]$ образуют матрицу условий таблицы решений и принимают значения "Y", "N" и "—", где "Y" - код значения "ИСТИНА", "N"— код значения "ЛОЖЬ", а "—" – код условия "БЕЗРАЗЛИЧНО". Элементы в $b[i,j]$ образуют матрицу действий таблицы решений и принимают значения "+" и "-", где "+" указывает на возможное выполнение действий, связанных с соответствующим описателем @X (ехес), т.е. последовательности операторов базового языка программирования, непосредственно следующей за описателем @X, а "-" - на пропуск действия. Описатель @D (default) может отсутствовать. Назовем j-й ситуацией состояние переменных программы, соответствующее j-му столбцу матрицы условий. Заголовок таблицы решений задается описателем @TABLE, операнд которого указывает количество условий в таблице. Описатель @C (condition) определяет строку таблицы решений, содержащую условие. В левой части этой строки кодируется строка матрицы условий, а в правой (любое, допустимое в операторе IF условие. Описатель @X определяет строку матрицы действий. Описатель @D выделяет операторы, выполняющиеся в случае пропуска всех последовательностей операторов, связанных с предшествующими описателями @X. Описатель @END отмечает конец блока описания таблиц решений. Программа TABLE не ставит никаких ограничений на количество условий, действий и ситуаций в обрабатываемых таблицах решений. Функционирование таблицы решений можно представить следующим образом: при передаче управления таблице решений вычисляются все заданные в ней условия и формируется вектор текущих значений условий. Далее выполняются те последовательности операторов, которые непосредственно следуют за активными описателями @X. Описатель @X является активным, если хотя бы один из указанных в его операнде символов "+" столбцов матрицы условий совпадает с вектором текущих значений условий. Выделенная описателем @D последовательность операторов выполняется тогда, когда в таблице решений отсутствуют активные описатели @X. На вход препроцессора TABLE подается текст программы на стандартном языке программирования, содержащем блоки описания таблиц решений. Таблица должна быть закодирована в соответствии с заданным формальным языком описания таблиц решений. Препроцессор, считывая программный текст, распознает блоки описания таблиц решений и транслирует их по алгоритму Поллака в обычный программный текст. Полученную программу можно обработать компилятором программного языка стандартным методом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Фрайтаг Г., Годе В., Якоби Х.** Введение в технику работы с таблицами решений. - М.: Энергия, 1979. –112 с.
2. **Hughes M.L., Shank R.M., Stein E.S.** Decision Tables.- MDI Publications. - New York. –1968.
3. **Хамби Э.** Программирование таблиц решений. - М.: Мир, 1976. - 136 с.
4. **ALP/DOS Decision TABLE Makros.** IBM- Programmbeschreibung 360 D 03.7.017.
5. **Entscheidungsstabellenumwandler:** Programmbeschreibung IBM Form 79 975-0, Code nummer 360 A-CX-32X.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 16.08.1998.

Զ. Ռ. ՄՆԱՑԱԿԱՆՅԱՆ, Վ. Ռ. ՄՆԱՑԱԿԱՆՅԱՆ

ԼՈՒԾՄԱՆ ԱՂՅՈՒՍԱԿՆԵՐԻ TABLE ՆԱԽԱՊՐՈՑԵՍՈՐ

Դիտարկված են ծրագրավորման մեջ լուծման աղյուսակների օգտագործման նպատակահարմարության հարցերը: Բերված են TABLE նախապրոցեսորի ստեղծման սկզբունքները: Մշակված է սահմանափակ մուտքով լուծման աղյուսակների նկարագրման լեզուն: Լուծման աղյուսակը կոդավորվել է առաջարկված լեզվի շարահյուսության համաձայն:

Z.R. MNATSAKANYAN, V.R. MNATSAKANYAN

DECISION TABLES PREPROCESSOR «TABLE»

The problems of decision TABLE usage expediency in programming is considered. The principles of developing the preprocessor "TABLE" are given. The language of decision TABLE description with a limited input is elaborated. The decision TABLE is to be coded in accordance with the syntax of the suggested language. On the basis of Pollack algorithm the decision TABLE is translated by a standard programming language. The final program is to be processed by means of a specific language translator in the ordinary way.

Б.М. МАМИКОНЯН, Х.Б. МАМИКОНЯН, Е.Х. НАЗАРЯН

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЯ В ТОК

Проведен сравнительный анализ наиболее распространенных в настоящее время стабилизаторов постоянного тока, указаны их достоинства и недостатки, оценены метрологические характеристики с целью их применения для питания измерительных цепей с резистивными первичными преобразователями. Синтезирована измерительная цепь приращения сопротивления металлических терморезисторов, которая отличается простотой и высокими метрологическими показателями.

Ключевые слова: стабилизатор тока, метрологические показатели, измерительная цепь, резистивный преобразователь, обратная связь.

Преобразователи напряжения в ток (ПНТ) применяются в электроизмерительной технике для питания цепей с параметрическими первичными измерительными преобразователями (ПП) неэлектрических величин в электрические. Отличительная черта подобных устройств – удаленность ПП от ПНТ. Для исключения влияния изменения сопротивлений проводов соединительной линии на результаты измерения используется четырехпроводное включение ПП [1-3]. Через ПП (R_x) протекает ток I_0 (рис.1а), задаваемый стабилизированным источником тока. Сопротивления r_1 и r_4 токовых соединительных проводов, а также изменение R_x не влияют на ток I_0 . Для измерения выходного напряжения $U_x = I_0 R_x$ обычно используются высокоомные измерители, вследствие чего сопротивления r_2 и r_3 потенциальных соединительных проводов также не влияют на результаты измерения.

Источник тока I_0 может быть реализован известным способом с помощью источника стабильного напряжения U_0 и высокостабильного резистора соответствующего номинала R . При этом качество источника тока тем выше, чем больше R по сравнению с R_x , значение которого задано. Однако увеличение R приводит к необходимости соответствующего увеличения U_0 (для обеспечения требуемого значения I_0), что не всегда возможно и целесообразно, поскольку в качестве U_0 желательно использовать унифицированные микросхемы стабилизированных источников питания. Поэтому более рационально применение автоматических стабилизаторов тока (СТ), обеспечивающих независимость тока I_0 от сопротивления нагрузки при низковольтном источнике напряжения.

В простейшей схеме СТ (рис.1б) с помощью резистора R в цепь база-эмиттер транзистора VT введена отрицательная обратная связь (ООС) по току. При расчетном значении тока I_0 на резисторе R возникает падение напряжения $I_0 R$, и напряжение $U_{бэ} = U_0 - I_0 R$ поддерживает необходимое открытое состояние транзистора. Если по какой-либо причине (изменение R_x , r_1 , r_4) изменяется ток I_0 , то изменяется также $U_{бэ}$, что

приводит к такому состоянию транзистора, чтобы соответствующим изменением сопротивления участка коллектор-эмиттер восстановилось расчетное значение тока I_0 . Очевидно, что более эффективная ООС по току может быть реализована добавлением в схему операционного усилителя [4] (рис.1в).

В рассмотренных схемах ток, потребляемый от источника U_0 , равен току нагрузки. Чтобы меньше нагружать источник U_0 , можно подавать входное напряжение на Н-вход ОУ (рис. 1г). Кроме того, в этом СТ установлен дополнительный резистор R_4 , который отводит часть тока нагрузки на землю. В результате ток в нагрузке

$$I_0 = \frac{U_0}{R_1} \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right) \left(1 + \frac{R_2}{R_4} \right)$$

можно регулировать в широких пределах соответствующим выбором сопротивлений стабильных резисторов. В частности, при $R_1 = R_2 = R_4$ ток $I_0 = 4U_0 / R_1$.

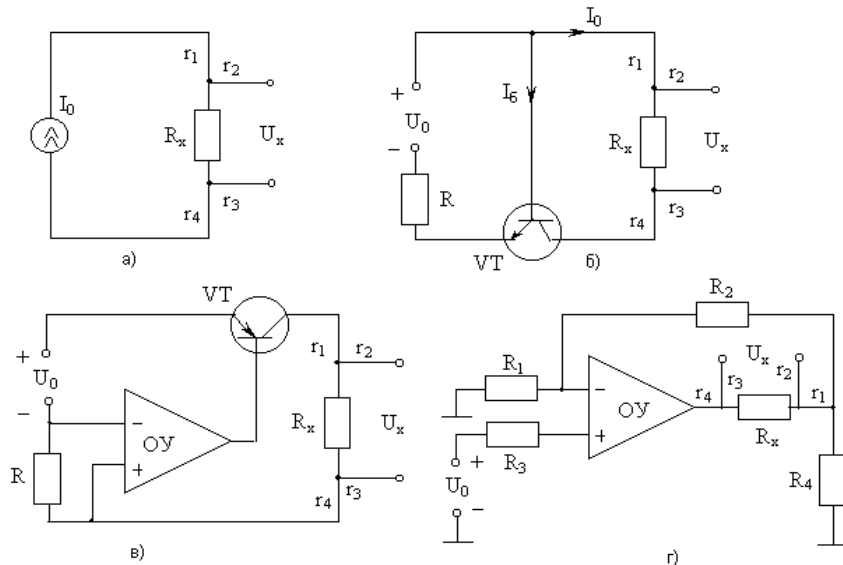


Рис. 1. Принципиальные схемы: а - источника тока; б,в,г- стабилизаторов тока

Недостатком СТ (рис.1г) является невозможность заземления нагрузки, что в отдельных случаях ограничивает его применение [5]. В этом смысле более совершенны схемы СТ [6, 7], позволяющие иметь заземленную нагрузку (рис.2а). В схеме выражение тока I_0 можно получить с помощью системы уравнений

$$\begin{cases} U_0 = I_3 R_3 + I_0 (r_1 + R_x + r_4), \\ U_0 = I_3 R_3 + I_2 R_1, \\ I_2 (R_2 + R_1) = I_4 R_4 + I_0 (r_1 + R_x + r_4), \end{cases}$$

где I_2, I_3, I_4 - токи, протекающие через соответствующие резисторы.

Решение системы уравнений приводит к результату

$$I_0 = \frac{U_0 R_1 R_4}{(R_1 R_4 - R_2 R_3)(r_1 + R_x + r_4) + R_1 R_3 R_4}. \quad (1)$$

Для того чтобы I_0 не зависел от сопротивлений ПП и проводов линии, необходимо выполнение равенства

$$R_1 R_4 = R_2 R_3. \quad (2)$$

Тогда из (1) следует $I_0 = U_0 / R_3$. При практической реализации схемы целесообразно выбрать $R_3 = R_1$, $R_4 = R_2$. Отметим, что если в этой схеме подавать U_0 через резистор R_1 на И-вход ОУ, а левый зажим резистора R_3 заземлить, то при выполнении равенства (2) изменится только знак тока в нагрузке. Чтобы сопротивление провода r_4 не влияло на значение потенциала нижнего зажима ПП, в схему вводится ОУ2 (рис.2б), который поддерживает нулевой потенциал этого зажима вне зависимости от сопротивлений проводов r_3 и r_4 , благодаря чему напряжение U_x между проводом r_2 и землей поддерживается равным $U_x = I_0 R_x$ и отпадает необходимость в использовании выходного дифференциального усилителя.

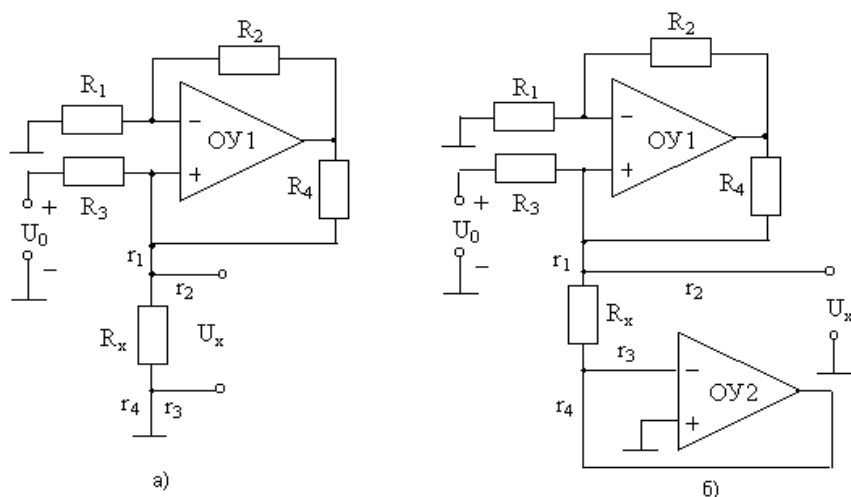


Рис. 2. Принципиальные схемы стабилизаторов тока: а - с заземленной нагрузкой; б - с виртуально заземленной нагрузкой

В результате сравнительного анализа существующих схем ПНТ в работе синтезирована оптимальная схема цепи для измерения малых приращений сопротивления стандартных металлических терморезисторов, содержащая минимально возможное число элементов (рис.3а), где в одном резисторе (R_0) совмещены две функции: источника опорного напряжения для ООС СТ и резистора сравнения для подавления нуля выходного напряжения U_x измерительной цепи. Значение R_0 выбирается равным начальному сопротивлению $R_x = R_0 + \Delta R_x$ ПП. Благодаря применению полевого транзистора через резисторы R_0 и R_x протекает один и тот же ток I_0 , поэтому выходное напряжение цепи

$$U_x = I_0 (R_x - R_0) = I_0 \Delta R_x \quad (3)$$

изменяется линейно от измеряемого приращения сопротивления ΔR_x и практически не зависит от сопротивлений соединительных проводов. В случае, когда требуется заземленная нагрузка, можно поменять местами резисторы R_x и R_0 .

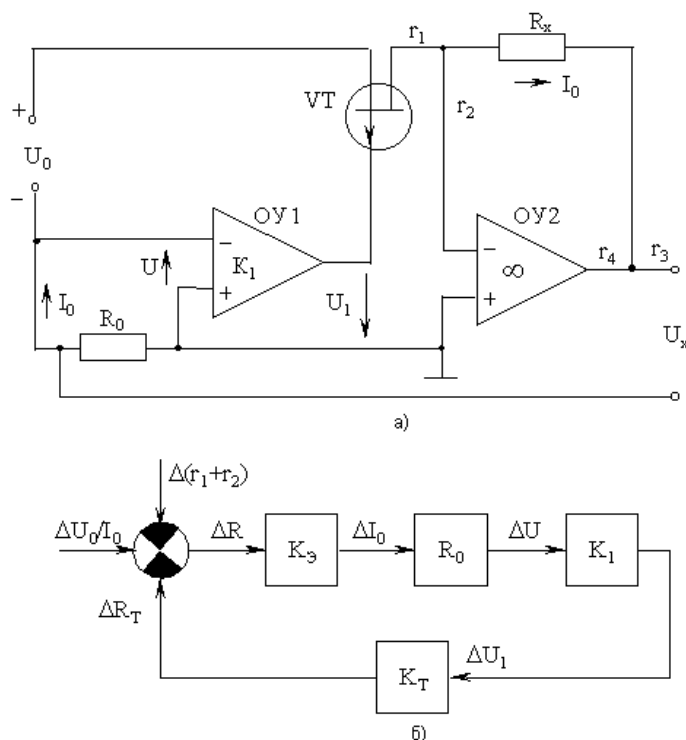


Рис. 3. Принципиальная схема цепи: а - для измерения приращения сопротивления; б - структурная схема стабилизатора тока

Как следует из (3), рассматриваемая цепь обладает максимально возможной чувствительностью при заданном значении измерительного тока I_0 , протекающего через ПП. Стабильность нуля цепи определяется только стабильностью резистора R_0 и напряжения смещения нуля усилителя ОУ2 ($U_{см2}$), а стабильность чувствительности – только стабильностью тока I_0 , значение которого не зависит от сопротивления ПП. Резистор R_0 изготавливается из высокостабильных материалов (обычно, манганин) и подгоняется с высокой точностью (0,001 Ом), поэтому реальная функция преобразования цепи с учетом возможных погрешностей имеет вид

$$U'_x = U_x + \Delta U_x = (I_0 + \Delta I_0) \Delta R_x + U_{см2}, \quad (4)$$

где $\Delta U_x = U_{см2} + \Delta I_0 \Delta R_x$ – абсолютная погрешность преобразования.

В выражении измерительного тока

$$I_0 = U_0 / R_\Sigma = U_0 / (R_0 + R_T + r_1 + r_2)$$

переменными являются U_0 , R_T и $(r_1 + r_2)$, поэтому полное приращение тока равно

$$\begin{aligned}\Delta I_0 &= \frac{\partial I_0}{\partial U_0} \Delta U_0 + \frac{\partial I_0}{\partial R_T} \Delta R_T + \frac{\partial I_0}{\partial (r_1 + r_2)} \Delta (r_1 + r_2) = \\ &= \frac{\Delta U_0}{R_\Sigma} - I_0 \frac{\Delta R_T + \Delta (r_1 + r_2)}{R_\Sigma}.\end{aligned}\quad (5)$$

Если $\Delta(r_1 + r_2) = 0$ и изменяется только U_0 , то для обеспечения условия $I_0 = 0$ СТ должен автоматически поддерживать равенство $I_0 \Delta R_T = \Delta U_0$ соответствующим изменением сопротивления R_T участка исток-сток транзистора VT. Если же $U_0 = \text{const}$ и изменяется только сопротивление $(r_1 + r_2)$ проводов линии связи, изготавливаемых обычно из меди и меняющих свое сопротивление под действием температуры окружающей среды, то СТ должен поддерживать равенство $\Delta R_T = -\Delta(r_1 + r_2)$. Очевидно, что СТ обеспечивает указанные требования с некоторой погрешностью (погрешность статизма). Для количественной оценки степени стабилизации составлена структурная схема СТ относительно приращений параметров и сигналов цепи (рис.3б), где $K_\Sigma = U_0 / R_\Sigma^2$ – коэффициент преобразования электрического звена СТ; $K_T = \Delta R_T / \Delta U_1$ – коэффициент преобразования транзистора. Из структурной схемы следует

$$\Delta I_0 = \frac{[\Delta U_0 - I_0 \Delta(r_1 + r_2)] / R_\Sigma}{1 + K_\Sigma K_T K_1 R_0}.\quad (6)$$

Сравнение выражений (5) и (6) показывает, что обратная связь в цепи СТ в $K = 1 + K_\Sigma K_T K_1 R_0$ раз ослабляет влияние изменения значений U_0 и $(r_1 + r_2)$ на ток I_0 .

Реализованный опытный образец преобразователя (рис.3а) предназначен для измерения температуры в узких пределах $t = 35 \dots 45^\circ \text{C}$ с использованием промышленного медного термопреобразователя сопротивления (ТС) градуировки 100 М с чувствительностью $W_{100} = 1,4280$ и со значениями сопротивления в крайних точках предела измерения $R_0 = R_{35} = 114,97 \text{ Ом}$, $R_{45} = 119,25 \text{ Ом}$ ($\Delta R_{\text{шк}} = 4,28 \text{ Ом}$). СТ реализован на прецизионном инструментальном ОУ АД524С фирмы Analog Devices (США) и полевом транзисторе КП312А. Исходя из требуемой чувствительности цепи, выбран измерительный ток $I_0 = 2,34 \text{ мА}$, при котором максимальная мощность рассеивания на ТС составляет $P_{\text{max}} = I_0^2 R_{45} = 0,653 \text{ мВт}$. При этом самонагревом ТС практически можно пренебречь.

Если пределы измерения температуры, марка ТС и ток I_0 заданы, то в выражении К оказываются фиксированными R_0 и $U = I_0 R_0$. Номинальные значения напряжения U_1 , а следовательно, и коэффициента усиления K_1 ОУ1 могут при этом изменяться лишь в небольших пределах, исходя из необходимости обеспечения работы транзистора на линейном участке выходных характеристик. При токе $I_0 = 2,34 \text{ мА}$ это значение напряжения $U_0 = 2,69 \text{ В}$, с учетом чего получаем $K_1 = U_1 / U = 10$. Практически фиксированным оказывается также коэффициент преобразования K_T транзистора, определяемый по его характеристикам: $K_T = 2564 \text{ Ом/В}$. Таким образом, варьируемым параметром в выражении К оказывается лишь коэффициент $K_\Sigma = U_0 / R_\Sigma^2 = I_0 / R_\Sigma$, при

этом по характеристикам транзистора КП312А значение U_0 должно находиться в диапазоне от 4,5 до 15 В. В таблице приведены значения параметров СТ при $(r_1 + r_2) = 10 \text{ Ом}$ и различных значениях U_0 . Видно, что в рассматриваемой цепи степень стабилизации тока I_0 тем выше, чем меньше U_0 . Например, при изменении температуры окружающей среды на $\Delta t = \pm 10^\circ\text{C}$ относительно градуировочной сопротивление медных соединительных проводов изменяется на $\Delta(r_1+r_2) = \pm 0,428 \text{ Ом}$, что вызывает относительную погрешность измерения (при $U_0=5 \text{ В}$, $I_0=2,34 \text{ мА}$)

$$\delta_t = \frac{\Delta(r_1 + r_2)}{R_\Sigma} \cdot 100 = \pm 0,2\%$$

при отсутствии стабилизации тока и $\pm 0,043\%$ - при ее наличии.

Таблица

$U_0, \text{ В}$	5	6	7	8	10	12	15
$R_\Sigma, \text{ Ом}$	2137	2564	2991	3419	4274	5128	6410
$U_{СИ}, \text{ В}$	4,71	5,71	6,71	7,71	9,71	11,71	14,71
$R_T, \text{ Ом}$	2012	2439	2866	3294	4149	5003	6285
$K_\Sigma \times 10^6, \text{ А/Ом}$	1,095	0,9126	0,7822	0,6844	0,5476	0,4563	0,3650
K	4,23	3,69	3,30	3,02	2,61	2,35	2,08

Что касается стабильности нуля рассматриваемой измерительной цепи, то, как следует из (4), она определяется только значением и стабильностью аддитивной погрешности $U_{см2}$. Поэтому в качестве ОУ2 следует применять прецизионные ОУ, у которых напряжение смещения нуля лежит в пределах 5...100 мкВ, и использовать внешнюю цепь установки нуля этого напряжения [7]. Подобным способом в нормальных условиях градуировки можно исключить аддитивную погрешность. В условиях эксплуатации аддитивная погрешность будет возникать главным образом при отклонениях температуры окружающей среды. Температурная зависимость напряжения смещения нуля прецизионных ОУ составляет $\Delta U_{см} = 0,05 \dots 3,0 \text{ мкВ} / ^\circ\text{C}$ [7, 8]. В этой связи следует отметить одну особенность рассматриваемой цепи: ОУ2 здесь работает в режиме, близком режиму повторителя напряжения, а большинство высококачественных прецизионных ОУ, к сожалению, не могут работать устойчиво при коэффициенте усиления $K < 25 \dots 20$. В связи с этим в рассматриваемой цепи в качестве ОУ2 использован ОУ марки КР14ОУД7 с $K_u = 50 \cdot 10^3$, $U_{см}=4 \text{ мВ}$, $\Delta U_{см}= 6 \text{ мкВ} / ^\circ\text{C}$ [8]. Поэтому аддитивная составляющая дополнительной температурной погрешности при $\Delta t = \pm 10^\circ\text{C}$ составит (приведенное значение)

$$\gamma_t = \frac{\Delta U_{см}(\pm 10)}{I_0 \Delta R_{шк}} \cdot 100 = \pm 0,6\%,$$

что считается приемлемым для узкопредельного термокомплекта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Лейтман М.Б.** Нормирующие измерительные преобразователи электрических сигналов. - М.: Энергоатомиздат, 1986. - 144 с.
2. **Мамиконян Б.М.** Особенности построения узкопределных измерителей температуры с использованием термопреобразователей сопротивления // Доклады НАН Армении. - 1999. - ¹ 1. - С.56-63.
3. **Новиков О.П.** Функциональные преобразователи напряжение-ток // Приборы и системы управления. - 1990. - ¹ 7. - С.21-22.
4. **Гутников В.С.** Тенденции развития электронных измерительных преобразователей для датчиков // Приборы и системы управления. - 1990. - ¹ 10. - С.32-35.
5. **Парамзин Ю.П., Петров А.Н.** Измерительный преобразователь напряжение-ток с незаземленной нагрузкой // Приборы и системы управления. - 1990. - ¹ 7. - С.19-21.
6. **Гутников В. С.** Интегральная электроника в измерительных устройствах. - Л.: Энергоатомиздат, 1988. - 304 с.
7. **Алексенко А.Г., Коламбет Е.А., Стародуб Г.И.** Применение прецизионных аналоговых микросхем. - М.: Радио и связь, 1985. - 255 с.
8. Цифровые и аналоговые интегральные микросхемы: Справочник / Под ред. **С.В. Якубовского.** - М.: Радио и связь, 1989. - 496 с.

Гюмрийский образоват. компл. ГИУА. Материал поступил в редакцию 16.01.1999.

Բ.Մ. ՄԱՄԻԿՈՆՅԱՆ, Խ.Բ. ՄԱՄԻԿՈՆՅԱՆ, Ե.Խ.ՆԱԶԱՐՅԱՆ

**ԼԱՐՈՒՄ - ՀՈՍԱՆՔ ՉԱՓՈՂԱԿԱՆ ՁԵՎԱՓՈԽԻՉՆԵՐԻ ՀԱՄԵՄԱՏԱԿԱՆ
ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆԸ**

Կատարված է ներկայումս առավելագույն տարածում գտած հաստատուն հոսանքի կայունարարների համեմատական վերլուծություն, նշված են նրանց առավելություններն ու թերությունները, և գնահատված են չափագիտական բնութագրերը՝ դիմադրական առաջնային ձևափոխիչների չափիչ շղթաների սնման տեսանկյունից: Մինթեզվել է մետաղե ջերմառեգիստորի դիմադրության աճի չափման շղթա, որը տարբերվում է իր պարզությամբ և բարձր չափագիտական ցուցանիշներով:

B.M. MAMIKONYAN, Kh.B. MAMIKONYAN, E.Kh. NAZARYAN

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE MEASURING VOLTAGE-TO-CURRENT CONVERTERS

A comparative analysis of the most wide-spread at present direct current regulators is carried out, their advantages and disadvantages are pointed out, the metrological characteristics are evaluated for applying them in power supply of measuring circuits with resistive primary converters. The measuring circuit of resistance increment in metallic temperature - sensitive resistors is synthesized. It is distinguished by simplicity and high metrological indexes.

С.М. МАРТИРОСЯН

ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СЛОЖНЫХ ШИРОКОПОЛОСНЫХ СИГНАЛОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

Рассмотрены вопросы повышения эффективности измерений распределений электромагнитных полей сверхвысокочастотных антенн в дальней и ближней зонах путем использования сложных широкополосных сигналов. Проанализированы измерения распределений полей остронаправленных антенн в зоне раскрыва. Показано, что использование сложных сигналов приводит к существенному ускорению измерений и более корректно, чем традиционное использование монохроматических сигналов.

Ключевые слова: антенная решетка, зона раскрыва, широкополосный сигнал, преобразование Фурье, дискрет измерения.

До настоящего времени в радиофизических измерениях в основном использовались монохроматические сигналы. Это было обусловлено легкостью генерации и излучения таких сигналов, поэтому приходилось мириться с их ограниченной информационной емкостью. Однако в связи с развитием современных радиосистем (локационных, навигационных и др.), использующих для работы сверхширокополосные сигналы, описание антенн (и измерение их характеристик) с помощью классического понятия диаграммы направленности (ДН) для монохроматического сигнала стало не совсем корректным. Такие антенны характеризуются комплексом многомерных импульсных и частотных характеристик в зависимости от пространственных координат, например, угловых. Кроме того, растущие требования по повышению точности, информативности и эффективности измерений распределений электромагнитных полей не могут быть удовлетворены на монохроматическом сигнале. Это особенно сильно проявляется при использовании фазированных антенных решеток (ФАР) с электрическим сканированием, находящихся все более широкое применение в современной радиолокации.

В связи с этим возникли и в настоящее время интенсивно развиваются новые методы и аппаратура для радиофизических измерений с использованием простых широкополосных сигналов. К их числу относятся антенные измерения в дальней зоне во временной области [1]. Однако использование при этом простого короткого радиоимпульса неэффективно, поскольку неравномерная форма спектра этого сигнала (типа $\sin x/x$) ведет к существенным энергетическим потерям. Поэтому в качестве измерительных следует использовать сложные сигналы, база которых значительно больше единицы и форма спектра является почти прямоугольной, что позволяет получать ДН на всех частотах в одинаковом, достаточном для измерений динамическом диапазоне [2].

Другим аспектом применения сложных сигналов являются измерения динамических характеристик фазированных антенных решеток (ФАР) с быстрым электрическим сканированием в ближней зоне [3,4,9]. При этих измерениях пользуются тем обстоятельством, что поле излучения ФАР в режиме быстрого электрического сканирования в фиксированном направлении по своей структуре фактически является сложным сигналом, характеристики которого (фазочастотный спектр) зависят от расстояния до раскрыва ФАР. Следовательно, для определения сигнала ФАР в дальней зоне (динамической ДН) можно измерить его сигнал вблизи от раскрыва и затем, отфильтровав с помощью радиочастотного фильтра с необходимой частотной характеристикой, получить искомую динамическую ДН [3,4].

В настоящее время широко распространен метод измерения характеристик остронаправленных антенн в зоне раскрыва [5,6]. Остановимся на одной, эффективной возможности улучшения характеристик измерительной аппаратуры благодаря использованию сложных широкополосных сигналов, которая до сих пор еще не применялась. Для определенности рассмотрим измерения на плоскости, параллельной раскрыву, в узлах прямоугольной сетки координат с некоторым шагом и определение ДН антенны с помощью эффективного алгоритма быстрого преобразования Фурье (БПФ). Для ускорения измерений и обработки результатов величину дискрета измерений желательно по возможности увеличить, что, однако, ограничивается допустимой точностью определения ДН. Эта величина определяется по формуле [6,7]

$$d \leq \lambda / 2 \sin \theta_c, \quad (1)$$

где λ - длина волны; θ_c - угловой спектр определения ДН (в обе стороны от 0°).

Глубина неравенства определяется допустимой погрешностью определения ДН в области боковых лепестков.

Выражение для ДН антенны [6]:

$$f(\theta, \varphi) = \sum_{n=-N}^N A_n \exp[jk(x_n \sin \theta \cos \varphi + y_n \sin \theta \sin \varphi) + j\phi_n], \quad (2)$$

где A_n, ϕ_n - измеренные амплитуды и фазы поля в зоне раскрыва; x_n, y_n - координаты измерительного зонда в n -й точке,

совпадает с выражением для ДН ФАР, у которой излучатели расположены в точках измерений и возбуждаются амплитудами и фазами, равными соответствующим измеренным значениям.

Согласно принципу пространственно-частотной эквивалентности [8], возможно уменьшение числа излучателей ФАР с соответствующим увеличением расстояния между ними при ее возбуждении широкополосным сигналом и согласованной фильтрацией. Полученная при этом ДН совпадает с ДН ФАР на монохроматическом сигнале и полным количеством излучателей. Следовательно, при возбуждении испытуемой антенны широкополосным сигналом возможно увеличение дискрета измерений без потери точности определения ДН. Величина увеличения дискрета зависит от ширины спектра зондирующего сигнала.

Рассмотрим этот вопрос подробнее. Как следует из результатов [8], эквивалентное распределение поля антенны в раскрыве $A(y)$, дающее на монохроматическом сигнале частоты ω_0 такую же ДН, как и сложный широкополосный сигнал со спектральной плотностью $g(\omega)$ и измеренным распределением поля в раскрыве $A(x_n)$, определяется выражением

$$A(y) = \sum_{n=-N}^N [A(x_n) / x_n] g(\omega_0 y / x_n), \quad (3)$$

где x_n - координата измеренного поля в раскрыве в дискретных точках n ; y - эквивалентная координата поля в раскрыве.

Для простоты примем спектр сигнала $g(\omega)$ прямоугольным в пределах $\omega_H \dots \omega_B$ с центром ω_0 . Относительная ширина спектра сигнала имеет вид $\chi = (\omega_B - \omega_H) / \omega_0$. Из (3) видно, что эквивалентное распределение поля в раскрыве представляет собой последовательность непрерывно “измеренных” в точках “ y ” распределений полей в пределах $\omega_H x_n / \omega_0 < y < \omega_B x_n / \omega_0$. Следовательно, при измерениях на широкополосном сигнале дискрет между точками измерений $x_{n+1} - x_n$ должен выбираться не из условия (1), а из выражения $\omega_H x_{n+1} / \omega_0 - \omega_B x_n / \omega_0 < \lambda_0 / 2 \sin \theta_c$.

Отсюда получим

$$\Delta x_n = x_{n+1} - x_n \leq \frac{\lambda_0}{(2 - \chi) \sin \theta_c} + \frac{x_n 2\chi}{(2 - \chi)} = \frac{\lambda_0}{2 \sin \theta_c} + x_{ncp} \chi, \quad (4)$$

где λ_0 - длина волны, соответствующая центральной частоте ω_0 , $x_{ncp} = (x_{n+1} + x_n) / 2$.

Для монохроматического сигнала ($\chi = 0$) это выражение переходит в (1). Отсюда видно, что с увеличением широкополосности сигнала можно увеличить величину дискрета измерений и, тем самым, уменьшить количество точек измерений в раскрыве и, соответственно, время измерений. Следует отметить, что дискрет измерений зависит от координаты точек измерений, следовательно, для достижения максимальной экономии в количестве измерений их надо проделать в неравноотстоящих точках. Это обстоятельство затрудняет использование алгоритма БПФ для определения ДН, что, однако, в связи с бурным развитием вычислительной техники уже не столь актуально.

Подсчитаем величину выигрыша в количестве измеряемых точек. Из (4) можно получить очевидное соотношение:

$$x_N = \left(\frac{\omega_B}{\omega_H} \right)^{N-1} x_1 + \frac{d\omega_0}{\omega_H} \frac{(\omega_B / \omega_H)^{N-1} - 1}{\omega_B / \omega_H - 1}. \quad (5)$$

Рассмотрим практический пример измерения распределения поля в раскрыве антенны на плоскости размером 3×3 м при длине волны 3 см и

угловом секторе восстанавливаемой ДН $\theta_c = \pm 10^\circ$. Тогда величина дискрета, согласно (1), не должна превышать 86 мм при измерениях на монохроматическом сигнале. Если задаться величиной $d=80$ мм, то количество точек измерений составит $38 \times 38 = 1444$. При использовании широкополосного сигнала с $\chi=0,1$, согласно (5), получим $N=11$, т.е. количество точек измерения будет равно $(2N+1)^2 = 529$. Выигрыш в этом примере, взятый из практики, составил почти 3 раза.

Интересно отметить, что в теоретически предельном случае использования сверхширокополосного сигнала со спектром $\omega = 0 \dots 2\omega_0$ ($\chi = 2$) измерения можно производить всего в трех точках — $x_N, 0, x_N$, тем самым использовать три неподвижных зонда и вообще обойтись без механического сканера, перемещающего измерительный зонд.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Воронин Е.Н., Нечаев Е.Е.** Современные методы антенных измерений // Зарубежная радиоэлектроника. - 1984. - ¹1. - С. 26-41.
2. **Геруни П.М., Мартиросян С.М.** Применение сложных широкополосных сигналов в антенных измерениях // Тез. докл. конф. "Метрологическое обеспечение антенных измерений." – Ереван, 1981. - С. 62-63.
3. **Мартиросян С.М., Кулешов В.И.** Использование радиочастотного моделирования для измерения динамических ДН антенных решеток в ближней зоне // Электронное моделирование.- 1984.- Т. 6 , ¹1 - С . 87-90.
4. **Мартиросян С.М., Кулешов В.И.** Использование фазоманипулированных сигналов для обработки результатов измерения динамической ДН в ближней зоне // Тез. докл. конф. "Метрологическое обеспечение антенных измерений".- Ереван, 1981. - С. 162-164.
5. **Геруни П.М.** Вопросы измерения параметров больших антенн //Тр. семинара "Метрология в радиоэлектронике".- М.,1970. - С. 82.
6. **Геруни П.М.** Радиоголография и современные методы антенных измерений // Радио и акустическая голография.- Л.: Наука, 1976. - С. 85-98.
7. **Геруни П.М.** Автоматический комплекс аппаратуры для аттестации СВЧ антенн // Метрология и измерительная техника. - 1974.- ¹9. -С. 16-19.
8. **Skolnik M.** Application of space frequency equivalence to radar // IEEE Conv. Rec. – 1962. - Pt. V. - P. 87-91.
9. Մարտիրոսյան Ս.Մ. Գերլայնաշերտ ազդանշանների կիրառումը էլեկտրամագնիսական ալիքների չափման համար // Զեկուցում ՀԴՃՀ-ի տարեկան գիտաժողովում. - Երևան, 1997.

НИИРИ. Материал поступил в редакцию 07.05.1998.

Ս.Մ. ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ

**ԲԱՐԴ ԼԱՅՆԱՇԵՐՏ ԱԶԴԱՆՇԱՆՆԵՐԻ ԿԻՐԱՌՈՒՄԸ ԷԼԵԿՏՐԱՄԱԳՆԻՏԱԿԱՆ
ԴԱՇՏԵՐԻ ԲԱՇԽՎԱԾՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՉԱՓՄԱՆ ՀԱՄԱՐ**

Դիտարկված են բարդ, լայնաշերտ ազդանշանների կիրառմամբ գերբարձր հաճախականային անտենաների հեռավոր և մոտակա գոտիներում էլեկտրամագնիսական դաշտերի բաշխվածությունների չափման արդյունավետության բարձրացման հարցերը: Քննարկված են սուր ուղղված անտենաների բացվածքում դաշտերի բաշխվածությունների չափումները: Ցույց է տրված, որ բարդ ազդանշանների օգտագործումը զգալիորեն արագացնում է չափումները և ավելի կորեկտ է, քան մոնոխրոմատիկ ազդանշանների ավանդական օգտագործումը:

S.M. MARTIROSSYAN

**APPLICATION OF COMPLICATED WIDE-BAND SIGNALS
ON MEASUREMENTS OF ELECTROMAGNETIC
FIELD DISTRIBUTIONS**

The problems of microwave antennas far and near electromagnetic field distribution measurement efficiency increasing are considered by applications of wide-band signals. The measurements of aperture field distributions of narrow beam antennas are analysed. It is shown that the use of complicated signals results in essential acceleration of measurements and it is more correct than traditional use of monochromatic signals.

Т.С. ГНУНИ, Л.В. ЕГИАЗАРЯН, В.О. САРКИСЯН

ОЦЕНКА ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ВЕЛИЧИНУ ПОТЕРЬ ОТ РЕАЛИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ГОРОДСКИХ СЕТЯХ

Описывается метод экспертных оценок определения уровней потерь в отдельных узлах существующей системы учета, контроля и реализации, а также эффекта от внедрения новых систем учета расхода электроэнергии. Приведены результаты экспертных оценок. Выявлено, что основной потенциал снижения потерь сосредоточен в сети 0,4 кВ и составляет порядка 70,2%. Основное предпочтение отдано автоматизированной системе учета и контроля, обеспечивающей снижение уровня потерь электроэнергии на 54,1%.

Ключевые слова: потери электроэнергии, экспертные оценки, учет, контроль, автоматизированная система.

Достигнутые в настоящее время уровни реализации электроэнергии имеют тенденцию к стабилизации. Это, прежде всего, объясняется сохранением традиционного физически и морально устаревшего парка электросчетчиков. Дальнейшее повышение уровня платежей и снижения потерь может быть достигнуто за счет принятия и внедрения качественно новой концепции по организации системы измерения, учета и реализации, адаптированной к местным условиям. Решение поставленной задачи связано с определенными трудностями - выявлением основных факторов, влияющих на потери, выбором наиболее эффективной стратегии достижения цели, которые обостряются отсутствием надежной и достоверной информации об объемах потерь в отдельных участках сетей, а также опыта эксплуатации в Армении систем, отвечающих современным требованиям. Для решения поставленной задачи предложена одна из модификаций метода экспертных оценок, в частности, метод упорядочения [1,2]. Суть метода заключается в учете предложенных со стороны экспертов субъективных предпочтений с последующим определением количественных соотношений между ними.

На первом этапе исследования был выделен перечень основных узлов (факторов), влияющих на величину потерь от реализации электроэнергии. В качестве значимых были предложены следующие факторы: в сети 0,4 кВ – безнадёжная дебиторская задолженность, хищения на абонентских счетчиках, хищения в обход абонентских счетчиков, хищения на счетчиках ТП 10(6)/0,4 кВ, махинации с платежами, погрешность измерительного тракта; в сети 10(6) кВ – хищения на абонентских счетчиках, хищения на счетчиках п/ст 10(6) кВ, погрешность измерительного тракта; в сети 35 кВ – хищения на счетчиках п/ст 35 кВ, погрешность измерительного тракта. Экспертам было предложено ранжировать указанные факторы по одиннадцатибальной шкале, принимая за высший ранг единицу.

Ниже приводится формальное описание модифицированного метода с использованием дробной реплики.

- Фактор с высшим рангом V_1 выбирается в качестве эталонного.
- Оставшийся набор факторов случайным образом разбивается на группы примерно одинакового размера, содержащие не более пяти элементов. С целью обеспечения надежности конечных оценок каждому из экспертов был предложен свой, случайным образом сгруппированный набор факторов.

Далее экспертам предлагалось определить предпочтения в группах.

1. Для первой группы:

1.1. Совместное влияние на величину потерь суммы факторов первой группы по сравнению с наиболее значимым.

1.2. Исключается наименее значимый фактор V_{11} , и повторяется шаг 1.1.

1.3. Исключается следующий по значимости фактор V_7 , и повторяется шаг 1.1.

2. После определения предпочтений в первой группе по фактору с высшим рангом последний исключается, и процедура в группе повторяется для второго по рангу фактора V_2 и т.д.

- Процедура определения предпочтений повторяется для второй и третьей групп.

Как видно из вышеизложенного, на данном этапе реализации метода в процедурах участвуют только логические переменные. Определение количественных соотношений между факторами осуществляется на основе последовательной корректировки числовых оценок. Исходные числовые оценки учитывают ранжировку факторов со стороны экспертов с присвоением им некоторых числовых значений в соответствии со следующими выражениями:

$$V_k^{(0)} = (n + 1 - k)100 / \sum (n + 1 - k), \quad (1)$$

$$V_{кн}^{(0)} = V_k^{(0)} / \sum V_k^{(0)}, \quad (2)$$

где $V_k^{(0)}$ - исходная числовая оценка фактора с рангом k ; n - общее число факторов; n - индекс, указывающий на нормированное значение.

Корректировка оценок осуществлялась на основе итерационного процесса в соответствии с заданным алгоритмом (табл.1).

Таблица 1

Номер группы	Шаг процедуры	Предпочтения
I	I.1.1	$V_1 < V_2 + V_4 + V_7 + V_{11}$
	I.1.2	$V_1 = V_2 + V_4 + V_7$
	I.1.3	$V_1 > V_2 + V_4$
	I.2.1	$V_2 < V_4 + V_7 + V_{11}$
	I.2.2	$V_2 = V_4 + V_7$
	I.3.1	$V_4 > V_7 + V_{11}$
II	II.1.1	$V_1 < V_5 + V_6 + V_9$
	II.1.2	$V_1 > V_5 + V_6$
	II.2.1	$V_5 < V_6 + V_9$
III	III.1.1	$V_1 < V_3 + V_8 + V_{10}$
	III.1.2	$V_1 = V_3 + V_8$
	III.2.1	$V_3 > V_8 + V_{10}$

Программная реализация описанного алгоритма была осуществлена при помощи Microsoft Excel. Сходимость результатов корректировки обеспечивалась на 5-6 шаге итерации. Окончательное определение количественных соотношений между приведенными факторами осуществлялось на основе нормирования осредненных по числу экспертов скорректированных оценок. Результаты опроса 25-и независимых экспертов – специалистов из Министерства энергетики РА, Армянского НИИ энергетики, сетевых предприятий – позволили для действующей системы учета, контроля и реализации получить количественные оценки основных факторов, влияющих на величину потерь и хищений электроэнергии (табл. 2). Как видно из таблицы, наиболее отрицательное влияние на величину неплатежей оказывают махинации с платежами – 15,7%, безнадежная дебиторская задолженность – 13,4% и хищения в обход счетчиков – 13,3%. Более того, хотя и является очевидным тот факт, что основной потенциал снижения потерь сосредоточен в сети 0,4 кВ, реализация предложенного метода позволила определить количественную оценку этого потенциала, равную 70,2%. В сетях 6(10) и 35 кВ основной потенциал снижения потерь сосредоточен в уменьшении погрешности измерительных трактов.

Таблица 2

Напряжение сети, кВ	Фактор	Ранг	Оценка, %
0,4	Безнадежная дебиторская задолженность	2	13,4
	Хищения на абонентских счетчиках	6	8,1
	Хищения в обход абонентских счетчиков	3	13,3
	Хищения на счетчиках ТП 10(6)/0,4 кВ	4	10,6
	Махинации с платежами	1	15,7
	Погрешность измерительного тракта	5	9,1
10(6)	Хищения на абонентских счетчиках	9	6,1
	Хищения на счетчиках п/ст 10(6) кВ	8	6,8
	Погрешность измерительного тракта	7	7,5
35	Хищения на счетчиках п/ст 35 кВ	11	4,5
	Погрешность измерительного тракта	10	4,9

Следующий этап исследований был связан с оценкой ожидаемых эффектов от реализации различных сценариев мероприятий, направленных на снижение потерь электроэнергии. Рассматривались, в частности, такие сценарии, как: сохранение существующей системы учета (А); замена счетчиков на новые того же типа (Б); административно-хозяйственные мероприятия (В); повышение класса точности измерительных трансформаторов (Г); повышение класса точности счетчиков и измерительных трансформаторов (Д); новые счетчики с дистанционным съемом показаний (Е); автоматизированная система учета (Ж); счетчики с предоплатой для жилищного и коммерческого секторов (З).

Экспертам было предложено оценить уровни снижения потерь от реализации электроэнергии для каждого из сценариев по предложенным факторам. После проведенной экспертизы полученные оценки были осреднены по числу экспертов (табл. 3).

Как следует из таблицы, наибольшее предпочтение отдано полной автоматизации системы учета и контроля, которая в первый же год внедрения позволит на 54,1% снизить уровень существующих потерь.

Ожидается также, что повышение культуры эксплуатации за счет внедрения такой системы обеспечит в течение 5-6 лет дополнительное снижение потерь в среднем ежегодно еще на 2%. Очевидными преимуществами такой системы являются уменьшение влияния человеческого фактора и возможность составления электроэнергетических балансов в темпе процесса и в любой промежуток времени. Следующим по значимости сценарием является переход на счетчики с предоплатой, обеспечивающий в первый год внедрения снижение потерь на 34,5%. Несмотря на то, что этот сценарий почти в 1,5 раза уступает по уровню снижения потерь автоматизированной системе, он может быть конкурентоспособным с точки зрения затрат на внедрение. Поэтому принятие окончательного решения должно быть основано на анализе экономической эффективности реализации того или иного сценария.

Таблица 3

U, кВ	Фактор	А, %	Б, %	В, %	Г, %	Д, %	Е, %	Ж, %	З, %
0,4	Безнадежная дебитор- ская задолженность	13,4	12,5	8,8	12,8	12,4	11,6	7,3	5,3
	Хищения на абонентских счетчиках	8,1	7,1	4,9	7,8	7,5	6,0	3,0	6,9
	Хищения в обход або- нентских счетчиков	13,3	12,9	8,2	12,8	12,9	10,9	4,2	9,7
	Хищения на счетчиках ТП 10(6)/0,4 кВ	10,6	10,2	7,1	10,3	10,4	6,9	3,8	8,6
	Махинации с платежами	15,7	15,4	14,2	15,4	15,4	11,6	7,8	4,3
	Погрешность измери- тельного тракта	9,1	8,6	8,8	7,5	6,4	7,2	5,5	7,5
10(6)	Хищения на абонентских счетчиках	6,1	5,3	4,8	5,7	5,5	5,1	2,4	4,6
	Хищения на счетчиках п/ст 10(6) кВ	6,8	6,6	5,4	6,6	6,5	6,0	3,4	5,2
	Погрешность измери- тельного тракта	7,5	7,0	7,5	6,6	5,9	6,0	3,3	5,8
35	Хищения на счетчиках п/ст 35 кВ	4,5	4,1	3,8	4,1	4,0	3,9	2,6	3,7
	Погрешность измери- тельного тракта	4,9	4,5	4,9	4,2	3,5	4,1	2,6	3,9
ИТОГО		100	94,2	78,4	93,8	90,4	79,3	45,9	65,5

Реализация остальных сценариев оказывает настолько незначительное влияние на снижение уровня потерь, что они могут быть практически игнорированы в ходе принятия решения. Тем не менее, целесообразно обратить внимание на сценарий административно-хозяйственных мероприятий, который позволяет практически без затрат снизить уровень потерь на 21,6%. Недостатком сценария является высокий уровень потерь, обусловленных махинациями с платежами, так как сохраняется влияние человеческого фактора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Черчмен А., Акоф Р., Арноф Л. Введение в исследование операций. - М.: Наука, 1967.- 488 с.
2. Хикс Ч. Основные принципы планирования эксперимента.- М.: Мир, 1967.- 406 с.

ЗАО “Институт энергетики”. Материал поступил в редакцию 14.07.1998.

S.U. ԳՆՈՒՆԻ, L.V. ԵՂԻԱԶԱՐՅԱՆ, V.H. ՍԱՐԳՍՅԱՆ

ՔԱՂԱՔԱՅԻՆ ՑԱՆՑԵՐՈՒՄ ԷԼԵԿՏՐԱԷՆԵՐԳԻԱՅԻ ԻՐԱՑՄԱՆ ԿՈՐՈՒՍՏՆԵՐԻ ՎՐԱ ԱԶԴՈՂ ԳՈՐԾՈՆՆԵՐԻ ԳՆԱՀԱՏՈՒՄ

Նկարագրվում է գոյություն ունեցող հաշվառման, հսկման և իրացման համակարգի առանձին հանգույցներում կորուստների չափի որոշման փորձագիտական գնահատումների մեթոդը, ինչպես նաև ցույց է տրվում էլեկտրաէներգիայի ծախսի հաշվառման նոր համակարգերի ներդրման արդյունավետությունը: Բերված են փորձագիտական գնահատումների արդյունքները: Բացահայտված է, որ կորուստների նվազեցման հիմնական պոտենցիալը կենտրոնացված է 0,4 կՎ ցանցում և կազմում է մոտ 70,2%: Հիմնական նախապատվությունը տրվում է հաշվառման և հսկման ավտոմատացված համակարգին, որն ապահովում է կորուստների նվազեցումը 54,1%-ով:

T.S. GNUNI, L.V. YEGHIAZARYAN, V.H. SARGSYAN

EVALUATION OF FACTORS AFFECTING THE VALUE OF POWER LOSSES THROUGH ELECTRIC POWER REALIZATION IN INTERCITY NETWORKS

The method of the expert evaluation of loss levels in certain nodes for existing account systems as well as the impact of new account system implementation for electric power consumption is described. The results of expert evaluations carried out by 25 energy sector specialists from Armenia are given. It is revealed that the main loss reduction potential in the network is 0,4 kV, constituting about 70, 2%. The preference is given to the computer-aided account and control system allowing to decrease the amount of losses up to 54,1 %.

И.А. ТЕР-АЗАРЬЕВ, Г.Б. БАГДАСАРЯН, Г.И. ТЕР-АЗАРЯН

ЗАВИСИМОСТЬ ИЗНОСА РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ПО ЗАДНЕЙ ГРАНИ
ПРИ ОБРАБОТКЕ ЖАРОПРОЧНОЙ СТАЛИ

Приведены данные по износу твердосплавного инструмента при резцовой обработке жаропрочной стали ХН55ВМТЮК10. В отличие от имеющихся в литературе данных учтено взаимовлияние действующих факторов при принятии их варьирования на трех уровнях. Получено уравнение, связывающее износ по задней грани инструмента с условиями резания и степенью воздействия каждого из факторов на этот показатель. Проведена оптимизация при принятии среднего значения износа $\Delta=0,15$ мм, на основе чего выявлены значения всех действующих факторов.

Ключевые слова: матрица, планирование эксперимента, дробная реплика, ортогональный.

В настоящей работе рассматривается влияние режимов резания и геометрии инструмента на износ Δ при точении жаропрочной стали ХН55ВМТЮК10 твердосплавным резцом ТТК12В методом планирования, что дает возможность комплексного учета действующих факторов.

Все факторы взяты на трех уровнях (табл.1) с соответствующими кодовыми обозначениями, т.е. задача сводится к планированию типа 3^{10} , которая значительно отличается от методов планирования типа 2^n и дает значительно большую информацию.

Таблица 1

Кодовые обозначения факторов и уровни их варьирования

Факторы	F_i	Уровни варьирования факторов		
		0	1	2
Скорость резания V , м/мин	F_1	20	40	60
Подача S , мм/об	F_2	0,1	0,3	0,5
Глубина резания t , мм	F_3	0,5	1,0	1,5
Передний угол γ , град	F_4	-10	0	10
Главный угол в плане ϕ , град	F_5	30	60	90
Угол наклона реж. кромки λ , град	F_6	-5	0	5
Задний угол α , град	F_7	3	6	9
Радиус закругления r , мм	F_8	0,5	1,5	2,5
Радиус округления ρ , мм	F_9	0,1	0,15	0,2
Длина пути резания ℓ , м	F_{10}	1000	2000	3000

Однако для уменьшения количества опытов с 59049 до 9 выбирается $1/6561$ дробной реплики, т.е. $3^{10-8}=9$ (табл.2). Перечисленные факторы образуются из следующих эффектов взаимодействий:

$$F_4 \equiv F_1 F_2, F_5 \equiv F_1 F_3, F_6 \equiv F_2 F_3, F_7 \equiv F_1 F_2 F_3, F_8 \equiv F_1^2 F_2, \\ F_9 \equiv F_1^2 F_3, F_{10} \equiv F_2^2 F_1. \quad (1)$$

Таблица 2

Дробная реплика 3^{10-8}

Номер опыта	F ₀	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	F ₅	F ₆	F ₇	F ₈	F ₉	F ₁₀
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	1	1	1	1	2	2	1	1	2
3	0	0	2	2	2	2	1	1	2	2	1
4	0	1	0	1	1	2	1	2	2	0	1
5	0	1	1	2	2	0	0	1	0	1	0
6	0	1	2	0	0	1	2	0	1	2	2
7	0	2	1	0	0	2	1	0	2	1	1
8	0	2	2	1	1	0	0	2	0	2	0
9	0	2	0	2	2	1	2	1	1	0	2

Обобщающий определяющий контраст, необходимый для расчетов коэффициентов уравнения регрессии, имеет вид

$$0 \equiv F_1 F_2 F_4^2 \equiv F_1 F_3 F_5^2 \equiv F_1 F_2 F_6^2 \equiv F_1^2 F_2 F_8^2 \equiv F_9^2 F_1^2 F_3 \equiv \\ \equiv F_2^2 F_1 F_{10}^2 \equiv F_1^2 F_2^2 F_4 \equiv F_1^2 F_3^2 F_5 \equiv F_1 F_2^2 F_8 \equiv F_2^2 F_3 F_6 \equiv F_1^2 F_2^2 F_3 F_7. \quad (2)$$

В табл. 3 приведены матрица планирования, которая построена с учетом ортогональных полиномов Чебышева, и результаты опытов [2]. Для линейных взаимодействий уровни 0, 1, 2 заменяются соответственно -1, 0, +1, а для квадратичных - +1, -2, +1.

Математическая модель для выбранного плана дает возможность выявления коэффициентов уравнения регрессии, представленного в виде

$$h_r = \sum_{\substack{0 \leq \alpha' \leq 2 \\ 0 \leq \beta' \leq 2 \\ \vdots \\ 0 \leq \omega' \leq 2}} b_{1\alpha' 2\beta' \dots 10\omega'} X_1^{\alpha'} X_2^{\beta'} \dots X_{10}^{\omega'} \quad (3)$$

Таблица 3

Матрица планирования экспериментов и результаты опытов

Номер опыта	F ₀	V	S	t	γ	φ	λ	α	г	ρ	ℓ	ℓnΔ,
		F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	F ₅	F ₆	F ₇	F ₈	F ₉	F ₁₀	мм/10 ³ см ²
1	+1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	0,34
2	+1	-1	0	0	0	0	+1	+1	-2	-2	+1	0,13
3	+1	-1	+1	+1	+1	+1	0	0	+1	+1	-2	0,04
4	+1	0	-1	0	0	+1	0	+1	+1	+1	-2	0,49
5	+1	0	0	+1	+1	-1	-1	0	+1	-2	+1	0,23
6	+1	0	+1	-1	-1	0	+1	-1	-2	+1	+1	0,17
7	+1	+1	0	-1	-1	+1	0	-1	+1	-2	-2	0,25
8	+1	+1	+1	0	0	-1	-1	+1	+1	+1	+1	0,64
9	+1	+1	-1	+1	+1	0	+1	0	-2	+1	+1	0,29

Учитывая, что квадратичные взаимодействия не оказывают существенного влияния на износ, а также фиксируя значения Δ в виде логарифма полученного опытного значения, можно потенцированием получить математическую модель, которая адекватно описывает искомую зависимость:

$$\Delta = \frac{3 \cdot 10^{-3} V^{1,2} \alpha^{0,4} \lambda_1^{0,2} \ell^{0,3}}{t^{0,7} S^{0,76} \rho^{0,02} r^{0,25} \varphi^{0,33} \gamma_1^{0,6}}, \quad (4)$$

где $\lambda_1 = 90 - \lambda$, $\gamma_1 = 90 - \gamma$.

Дисперсионным анализом установлено ($S_y = 24,3 \cdot 10^{-3}$, $S_{bi} = 9,14 \cdot 10^{-3}$), что полученная модель (4) адекватна при $\alpha_0 = 0,05$ дисперсии и ошибка не превосходит 5%-й значимости, что вполне допустимо. Из (4) видно, что наиболее интенсивное влияние на износ оказывают скорость резания V , задний угол α и путь резания ℓ .

Необходимо отметить, что все влияющие на износ параметры, находящиеся в знаменателе зависимости (4), действуют благоприятно. Весьма существенна роль подачи S , глубины резания t и переднего угла γ . Вместе с тем, сопоставление полученной зависимости с имеющимися данными [1, 2] показало, что степень влияния каждого из факторов при изучении их комплексного воздействия отличается от известных.

Полученная зависимость (4) позволяет определить оптимальные значения влияющих факторов, учитывая, что в нормальных условиях работы износ колеблется в пределах 0,1...0,3 мм. Выбрав для расчета его среднее значение $\Delta = 0,15$ мм, методом линейного программирования можно определить оптимальные значения факторов. Решение данной задачи на ЭВМ дало следующие значения влияющих факторов:

$V = 37$ м/мин, $S = 0,2$ мм/об, $t = 1,0$ мм, $\gamma = 10^\circ$, $\varphi = 60^\circ$, $\lambda = 5^\circ$, $\alpha = 6^\circ$,
 $r = 1,5$ мм, $\rho = 0,15$ мм, $\ell = 1500$ м.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Макаров А.Д. Оптимизация процессов резания. - М.: Машиностроение, 1976. - 222 с.
2. Касьян М.В., Багдасарян Г.Б., Арутюнян Г.А. Оптимизация технологических факторов при резании методом многофакторного планирования экспериментов. - Ереван: Айастан, 1990. - 161 с.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 26.01.1999.

Ի.Ա. ՏԵՐ-ԱԶԱՐԵՎ, Հ.Բ. ԲԱԴԴԱՍՏԱՐՅԱՆ, Գ.Ի. ՏԵՐ-ԱԶԱՐՅԱՆ

ԿՏՐՈՂ ԳՈՐԾԻՔԻ ՀԵՏԵՎԻ ՆԻՍՏՈՎ ՄԱՇՄԱՆ

ԿԱԽՎԱԾՈՒԹՅՈՒՆԸ ՀՐԱԿԱՅՈՒՆ ՊՈՂՊԱՏՆԵՐ ՄՇԱԿԵԼԻՍ

Բերված են տվյալներ կարծր համաձուլվածքային գործիքի հետին նիստի մաշման վերաբերյալ՝ հրակայուն XH55BMTIO պողպատը մշակելիս: Ի տարբերություն գրականության մեջ եղած տվյալների, այստեղ հաշվի են առնված 10 գործոնների փոխազդեցությունները, երբ այդ գործոնները հետազոտման մեջ փոփոխվում են երեք արժեքներով (մակարդակներով): Արդյունքում ստացվել է հավասարում, որը կապ է ստեղծում մաշման մեծության և յուրաքանչյուր գործոնի ներազդեցության չափի միջև: Կատարվել է գործոնների լավարկված արժեքների որոշում՝ որպես չափանիշ ընդունելով $\Delta t = 0,15$ մ/մ մաշման չափը:

I.A. TER-AZARYEV, G.B. BAGHDASSARYAN, G.I. TER-AZARYAN

TOOL WEAR DEPENDENCE ON BACK SIDE IN TREATING HIGH-TEMPERATURE STEEL

Information on hard-carbide tipped tools for high-temperature steel $\Phi P55BTOKIO$ cutting treatment is given. Apart from the data present in the literature, the interaction of acting factors on their variation option on three levels is taken into account. An equation connecting the wear on the back side of the tool with cutting conditions and the action degree for each of the factors on this index are obtained. The optimization for adopting the average wear value $\Delta t = 0,15$ mm is conducted and the value of all the acting factors is revealed.

В.М. АРУТЮНЯН, В.А. ВАГАРШАКЯН, А.И. ВАГАНЯН,
С.А. МИНАСЯН, Н.В. ШАЛАЕВ

О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕРМОГЕНЕРАТОРОВ В АВТОМОБИЛЕСТРОЕНИИ

Термогенераторы, как преобразователи тепловой энергии в электрическую, широко применяются в разных областях народного хозяйства (электроника, энергетика, сельское хозяйство, машиностроение, космонавтика и т.д.). Приведены теоретические и технические обоснования о возможности внедрения термогенераторов в области будущего автомобилестроения.

Ключевые слова: термогенератор, температурный градиент, термопластины, твердые растворы.

В настоящее время преобразователи тепловой энергии в электрическую (термогенераторы) нашли широкое применение в различных областях народного хозяйства. Расширение областей внедрения термогенераторов в основном зависит от улучшения технических характеристик этих приборов, в частности, от параметров (η и z , определяемых выражениями [1, 2])

$$\eta = \frac{T_1 - T_0}{T_1} \frac{\sqrt{1 + zT} - 1}{\sqrt{1 + zT} + T_0 / T_1}, \quad z = \frac{\alpha_{12}^2}{(\sqrt{\chi_1 \rho_1} + \sqrt{\chi_2 \rho_2})^2},$$

где z – эффективность термоэлемента; η – КПД; T_0 и T_1 – температуры горячего и холодного концов; $\chi_1, \chi_2, \rho_1, \rho_2$ – теплопроводности и удельные сопротивления вещества ветвей; α_{12} – коэффициент термоЭДС.

С целью увеличения КПД термоэлемента необходимо выбрать материалы, которые имеют большую эффективность и выдерживают высокую температуру в горячих точках. В настоящее время твердые растворы $\text{Bi}_2\text{Te}_3 - \text{Bi}_2\text{Se}_3$ п типа наряду с твердыми растворами $\text{Bi}_2\text{Te}_3 - \text{Sb}_2\text{Te}_3$ р типа являются основными материалами для термоэлементов, работающих в интервале температур 200...600 К.

Учитывая, что в транспортных средствах с двигателями внутреннего сгорания существуют система отработанных газов с температурой $T=800$ К и система жидкостного охлаждения с температурой ниже 100 °С, можно подтвердить, что температурный градиент порядка 200 °С между вышеуказанными системами технически реализуем и создает реальные условия для эксплуатации термогенераторов, работающих в указанном диапазоне температур. В данной работе показана возможность применения полупроводниковых термогенераторов в качестве источника тока для зарядки кислотных аккумуляторов в транспортных средствах.

Приведем некоторые количественные оценки, характерные для двигателей внутреннего сгорания. Известно, что КПД двигателей указанного типа порядка 30%, следовательно, остальные 70% теряются в виде тепловой энергии отработавших газов. Часть этой энергии можно использовать для подогрева соответствующих пластин термоэлементов с одновременным охлаждением пластин с помощью циркулирующей жидкости системы охлаждения двигателя. Температура системы охлаждения регулируется термостатом в пределах 80...90 °С. При этих условиях можно обеспечить необходимый температурный градиент порядка 200 °С между пластинами термопары. КПД термогенератора составляет 15%, следовательно, для получения электрической мощности порядка 300 Вт, необходимой для зарядки аккумуляторов, объем тепловой энергии, полученной за счет отработанных газов, должен быть в пределах 2000 Вт, что эквивалентно мощности ≈ 3 л.с. Если учесть, что реальные потери в виде тепловой энергии автомобильных двигателей эквивалентны мощности в сотни л.с., то с энергетической точки зрения, работоспособность вышеописанной системы не вызывает сомнений. Что касается конструктивных решений, то оптимальные результаты могут быть получены путем длительных испытаний на конкретных транспортных средствах.

Физические размеры современных термогенераторов, обеспечивающие мощность порядка 300 Вт, можно определить на основе существующих реальных оценок, при которых мощность 15 Вт получается от термопластины площадью 150 см², а стоимость термоматериалов на единицу мощности 1 Вт приблизительно равна 1 долл. США. Однако приведенные технические и экономические оценки основных параметров термогенераторов постоянно улучшаются.

Работа предлагаемой конструкции осуществляется следующим образом. Труба глушителя после выхода коллектора обматывается теплопроводящей гибкой лентой, с помощью которой тепловая энергия от системы выпуска отработанных газов передается греющей пластине термогенератора, к которой с двух сторон прижаты обогреваемые поверхности термопластин. Противоположные поверхности пластин охлаждаются радиатором как воздушного, так и жидкостного охлаждения. При компоновке термогенератора рядом с двигателем, когда охлаждающие радиаторы закрепляются вплотную с поверхностью шасси, вопрос жидкостного охлаждения автоматически отпадает. Удачное решение этой задачи в основном зависит от КПД термогенераторов, повышение которого может привести к уменьшению габаритов термопластин.

Решение ряда задач по созданию термогенераторов нового поколения с повышенным КПД и низкой ценой позволит заменить электрогенераторы термогенераторами, что обусловлено нижеприведенными преимуществами:

а) в объеме потребляемой мощности электрогенератора уменьшается нагрузка на валу двигателя, что приводит к уменьшению расхода топлива в течение всего срока эксплуатации транспортных средств;

б) напряжение на выходе термогенератора постоянное и не требует дополнительных преобразований;

в) работа термогенератора в данном случае не требует дополнительных источников тепла, так как он функционирует за счет потерянной тепловой энергии отработанных газов двигателей внутреннего сгорания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Иоффе А.Ф.** Полупроводниковые термоэлементы. – Л.: Изд. АН СССР, 1960. – 300 с.
2. **Иорданашвили Е.К.** Термоэлектрические источники питания. – М.: Сов. радио, 1968. – 500 с.

ЕГУ, Мин-во образования и науки. Материал поступил в редакцию 22.02.1999.

Վ.Մ. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ, Վ.Ա. ՎԱՂԱՐՇԱԿՅԱՆ, Ա.Ի. ՎԱՀԱՆՅԱՆ, Ս.Ա. ՄԻՆԱՍՅԱՆ, Ն.Վ. ՇԱԼԱԵՎ

ԱՎՏՈՄՈԲԻԼԱՇԽՆՈՒԹՅԱՆ ԲՆԱԳԱՎԱՌՈՒՄ ԹԵՐՄՈԳԵՆԵՐԱՏՈՐՆԵՐԻ ՕԳՏԱԳՈՐԾՄԱՆ ՀՆԱՐԱՎՈՐՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՄԱՍԻՆ

Թերմոգեներատորները, որպես ջերմային էներգիան էլեկտրականի ձևափոխող կիսահաղորդչային սարքեր, լայն կիրառում են ստացել ժողովրդական տնտեսության ամենատարբեր ոլորտներում (էլեկտրոնիկա, էներգետիկա, գյուղատնտեսություն, մեքենաշինություն, տիեզերագնացություն և այլն): Աշխատանքում բերված են տեսական և տեխնիկական հիմնավորումներ վերը նշված սարքերը ապագա ավտոմոբիլաշինության բնագավառում օգտագործելու վերաբերյալ:

V.M. AROUTUNYAN, V.A. VAGHARSHAKYAN, A.I. VAHANYAN, S.A. MINASSYAN, N.V. SHALAEV

ON POSSIBILITY FOR APPLICATION OF THERMOGENERATORS IN THE MOTOR-CAR INDUSTRY

Thermoconverters as transformers of thermal energy into electric energy are widely used in different spheres of national economy (electronics, energetics, agriculture, mechanical engineering, cosmonautics, etc.). Theoretical and technical grounds for possibilities of implementing thermogenerators in the future automobile industry are proposed.

ՀՏԴ 621.879.44.001.2

ՀԱՄԱՌՈՏ ՀԱՂՈՐԴՈՒՄ

Է.Հ. ՋՀԱՆԳՈՒԼՅԱՆ

ԲԱԶՄԱՇԵՐԵՓ ՇՂԹԱՅԱՎՈՐ ԷՔՄԿԱՎԱՏՈՐԻ ԱՐՏԱԴՐՈՂԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՎՐԱ ԱԶՐՈՂ ՀԻՄՆԱԿԱՆ ԳՈՐԾՈՆՆԵՐԸ

Ընդգրկված են էքսկավատորաշինության բնագավառում հեղինակի՝ երկարամյա հետազոտությունների արդյունքով բացահայտած որոշակի օրինաչափություններ: Արտածված են վերլուծական բանաձևեր, որոնց օգնությամբ հնարավոր է դառնում որոշել բազմաշերտի շղթայավոր խրամատավոր էքսկավատորի առավելագույն արտադրողականությունն ապահովող շերտերի օպտիմալ չափը:

Առանցքային բառեր. նվազագույն քայլ, բեռնաթափումների թիվ, տեսական արտադրողականություն:

Եթե պարբերական գործողության միաշերտի էքսկավատորների օգտակար աշխատանքի (փորման) տևողությունը կազմում է վերջինիս լրիվ աշխատանքային ցիկլի տևողության ընդամենը 15...30%-ը, բազմաշերտի շղթայավոր էքսկավատորներին բնորոշ է փորման անընդհատությունը:

Ի թիվս վերջիններիս մի շարք առավելությունների, օգտակար աշխատանքի անընդհատությունը համարվում է էքսկավատորի արտադրողականության բարձրացման հիմնական գործոնը:

Անկախ շերտերի բեռնաթափման եղանակից (գրավիտացիոն, իներցիոն) էքսկավատորի տեսական-հաշվարկային Q_0 արտադրողականությունը արտահայտվում է մեկ ընդհանուր բանաձևով՝

$$Q_0 = 1/6 \cdot 10^{-4} qZ, \text{ մ}^3/\text{վ},$$

որտեղ q – ն շերտի տարողությունն է; Z – ը՝ շերտերի բեռնաթափման թիվը, $Z = 60V_2 / T$; V_2 – ը շերտի շարժման արագությունը, $\text{մ}/\text{վ}$; T – ն՝ շերտերի քայլը, մ :

Ստացվում է, որ արտադրողականությունը բարձրացնելու համար անհրաժեշտ է կամ մեծացնել q – ն և V_2 – ը, կամ փոքրացնել T – ն:

Սակայն.

1. Շերտի q տարողության մեծացումը սահմանափակվում է նրա եզրաչափերի երկրաչափական պարամետրերի՝ b լայնքի, h բարձրության կախվածությամբ այլ պարամետրերից. օրինակ՝ $b=B-a$, որտեղ B – ն փորվող խրամատի լայնքն է (մ), a – ն պայմանավորված է գրունտի տեսակով,

$$a = 0,06 \dots 0,1 \text{ մ},$$

$h \leq (1,1 \dots 1,2) r_0$, որտեղ r_0 –ն տանող աստղանիվին կամ բազմանիստին ներգծված շրջանի շառավիղն է:

2. Շերտի շարժման V_2 արագության առավելագույնս մեծացումը առաջ է բերում P_Φ կենտրոնախույս ուժ, որը նպաստում է բնահողի մասնիկների այս ու այն կողմ նետվելուն: M մասնիկի վրա (նկ. 1ա) ազդում են. ծանրության ուժը՝ $q_0 = mg$,

$$\text{իներցիայի ուժը } P_u = mr \frac{\partial \omega}{\partial t},$$

$$\text{կենտրոնախույս ուժը } P_\delta = mr \omega^2,$$

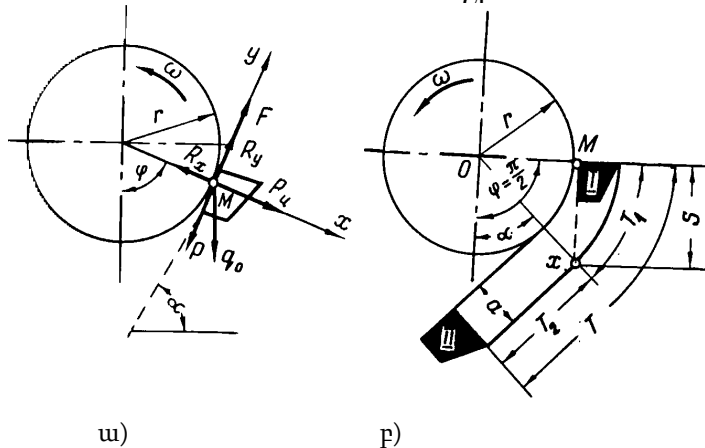
$$\text{շփման } F \text{ ուժը } F = R_x f \text{ (} f \text{ - ը շփման գործակիցն է),}$$

շոշափող բաղադրիչը:

Համաձայն ընդունված կոորդինատային համակարգի՝

$$\sum x = 0, mg \cos \varphi + m\omega^2 r - R_x = 0,$$

$$\sum y = 0, R_x f + R_y - mg \sin \varphi - mr \frac{\partial \omega}{\partial t} = 0:$$



Նկ. 1. Շերեփների քայլի և անկյունային արագության որոշման սխեմա

Համատեղ վճռելով այս երկու հավասարումները (M մասնիկը դիտարկվում է առանձնացված, հետևաբար $R_x = 0$), կստանանք.

$$f \cos \varphi - \sin \varphi - \frac{r}{g} \cdot \frac{\partial \omega}{\partial t} + \frac{r}{g\omega^2} \cdot f = 0,$$

$$\text{քանի որ } \omega = \frac{\partial \varphi}{\partial t}, \frac{\partial \omega}{\partial t} = \omega \frac{\partial \omega}{\partial \varphi}, \text{ ապա } \omega \frac{\partial \omega}{\partial \varphi} - \frac{g}{r(f \cos \varphi - \sin \varphi)} = f\omega^2:$$

Դիֆերենցիալ հավասարումը պատկանում է Բեռնուլիի հավասարման տիպին, որի լուծումը հանգեցնում է հետևյալ վերջնական տեսքին.

$$V_2 = \sqrt{\frac{2gr}{(1-4f^2)(1-e^{2f(\varphi-\alpha)}) \cdot 3[\sin \varphi - \sin \alpha \cdot e^{2f(\varphi-\alpha)}]}} \cdot \sqrt{\frac{1}{(1-2f^2)[\cos \varphi + \cos \alpha \cdot e^{2f(\varphi-\alpha)}]}}:$$

3. Շերեփների T քայլի նվազագույնս փոքրացման դեպքում բնահողը բեռնաթափվող շերեփից կլցվի նրան հաջորդող շերեփի մեջ: Վերջինս կանխելու նպատակով անհրաժեշտ է, որպեսզի բեռնաթափող I շերեփին հաջորդող II շերեփի եզրակետի շարժման t_2 ժամանակը մինչև երևակայական x կետը լինի ավելի մեծ, քան բնահողի M մասնիկի անկման t_1 ժամանակը մինչև այդ նույն x կետը (նկ. 1բ):

Համաձայն ընդունված հաշվարկային սխեմայի և նրանում ընդունված նշանակումների՝

$$t_1 = \sqrt{\frac{2S}{g}}, \quad t_2 = \frac{T_2}{v_2}, \quad S = (r + a) \cdot \cos \alpha,$$

$$t_1 = \sqrt{\frac{2(r + a) \cos \alpha}{g}}, \quad T = T_1 + T_2,$$

$$T_1 = \frac{\pi(r + a)(90 - \alpha)}{180}, \quad T_2 = v_2 t_2,$$

$$t_2 = \frac{T - \pi(r + a)(90 - \alpha)}{180 v_2}:$$

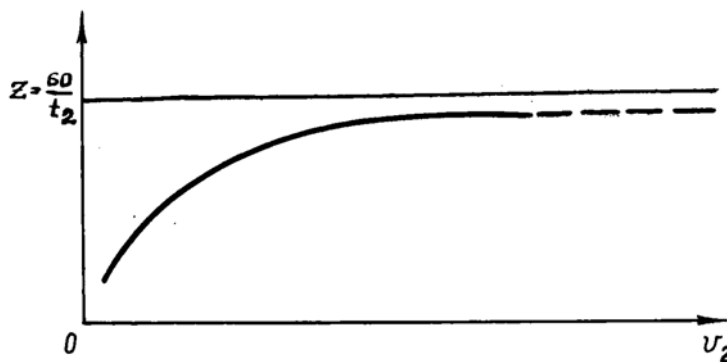
Դիտարկելով սահմանային դեպք, երբ $t_1 = t_2$, շերեփների նվազագույն քայլը՝

$$T_{\min} = v_2 \sqrt{\frac{2(r + a) \cos \alpha}{g}} + \frac{\pi(r + a)(90 - \alpha)}{180}:$$

Անդրադառնալով շերեփների բեռնաթափման Z թվին, դժվար չէ նկատել, որ նույնիսկ V_2 արագության անսահման մեծացման դեպքում ($V_2 \rightarrow \infty$), Z - ը, հասնելով ինչ-որ սահմանի, մնում է անփոփոխ՝

$$Z = \frac{60}{\frac{T_1}{V_2} + t_2}, \quad \text{այսինքն՝} \quad Z = \frac{60}{t_2} = \text{const}:$$

Կառուցելով $Z = f(V_2)$ գրաֆիկը, կհամոզվենք (նկ. 2), որ այն կոտորակագծային ֆունկցիա է, որի կորը հիպերբոլ է, ասիմպտոտը զուգահեռ աբսցիսների առանցքին:



Նկ. 2. Շերեփների բեռնաթափման կախվածությունը v_2 արագությունից

Այսպիսով, էքսկավատորի աշխատանքային նորմալ պայմաններ ստեղծելու համար անհրաժեշտ է V_2 - ը որոշելիս ելնել ճիշտ ընտրված T_1 - ից և t_2 - ից, այսինքն՝

$$V_2 = T_1 / \sqrt{2s/g}:$$

Կախված բնահողի տեսակից, ժամանակակից բազմաշերտի շղթայավոր էքսկավատորի Z – ը առաջարկվում է ընտրել՝ $Z = 40 \dots 100$ բեռնաթափում ըուպելում:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Джангулян Э.А.** Землеройные машины. - Ереван: Луйс, 1978.- 341 с.

ՀՊՃՀ. Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 28.02.1999թ.:

Э.А. ДЖАНГУЛЯН

ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ МНОГОКОВШОВОГО ЦЕПНОГО ЭКСКАВАТОРА

Обобщены закономерности, выявленные в результате исследований в области экскаваторостроения. Выведены аналитические зависимости для определения оптимального шага ковшей многоковшовых цепных траншейных экскаваторов.

E.H. JANGULYAN

MAIN FACTORS AFFECTING PRODUCTIVITY OF MULTI-BUCKET CHAIN EXCAVATOR PRODUCTIVITY

Regularities revealed as a result of many years studies in excavator building are generalized. Analytical dependences for determining the optimal bucket step of multibucket chain ditcher excavators are deduced providing the maximum excavator productivity.

Հ. Ի. ԿԱՐԱՊԵՏՅԱՆ

ԳՐՈՒՆՏԱՅԻՆ ՄԱՍՆԻԿՆԵՐԻ ԿՈՆՑԵՆՏՐԱՑԻԱՅԻ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ
ՄԱԿԵՐԵՎՈՒԹԱՅԻՆ ՀՈՍՔԻ ՈՐԱԿԻ ԵՎ ՀԻՐԴԱՎԼԻԿԱԿԱՆ ԲՆՈՒԹԱԳՐԵՐԻ
ՎՐԱ

Բերված են ջրային էրոզիայի մոդելավորման բնագավառում հեղինակի հետևությունները՝ կատարված լաբորատոր, փորձնական և բնական հետազոտությունների հիման վրա, որոնք ցույց են տալիս, որ մակերևութային հոսքի մեջ բնահողային մասնիկների՝ մինչև 15μ կոնցենտրացիայի դեպքում դրանց ազդեցությունը մակերևութային հոսքի հիդրավլիկական պարամետրերի վրա կարելի է անտեսել:

Առանցքային բառեր. հայեցակարգային մոդել, կինեմատիկ մոդել, ծծանցման արագություն, մակերևութային հոսք, բնահողի մասնիկների կոնցենտրացիա:

Գյուղատնտեսության ինտենսիվացումը կապված է ինտենսիվ քիմիացման հետ, որը սխալ կիրառման դեպքում կարող է հանգեցնել ջրամբարներում ջրի որակի վատացմանը: Քիմիական տարրերի կոնցենտրացիայի մեծացումը հանգեցնում է ջրամբարի էկոհամակարգի խանգարմանը:

Մակերևութային ջրերի աղտոտումը կոշտ բերվածքներով պայմանավորված է գյուղատնտեսական հողատարածքներից և ջրհավաք ավազանից կատարվող էրոզիոն պրոցեսներով:

Մակերևութային հոսքի հետ տեղափոխվող գրունտային մասնիկների և քիմիական տարրերի քանակը գնահատելու համար օգտագործվում են մակերևութային հոսքի մոդելներ և կատարվում բնական ու լաբորատոր փորձեր:

1977թ. չեխ գիտնականներ Մ. Հոլլիի և Յ. Մլսի [1(կողմից առաջարկվել էր մակերևութային հոսքի հայեցակարգային մոդել՝ անխզելիության և շարժման հավասարումների տեսքով.

$$\frac{\partial(vh)}{\partial x}(x, t) + \frac{\partial h}{\partial t}(x, t) = r(t) - i(t), \quad (1)$$

$$\begin{aligned} h(x, t) \frac{\partial v}{\partial t}(x, t) + h(x, t) \cdot v(x, t) \cdot \frac{\partial v}{\partial x}(x, t) = g \sin \alpha \cdot h(x, t) - \\ - g \cos \alpha \cdot h(x, t) \cdot \frac{\partial h}{\partial x}(x, t) - g \cos \alpha \cdot h^*(t) \cdot \frac{\partial h}{\partial x}(x, t) - \\ - \frac{\tau(h, v)}{\rho} + r(t) \cdot v^*(t) \cdot \sin \alpha, \end{aligned} \quad (2)$$

որտեղ α – ն լանջի թեքությունն է ($^\circ$); h –ը մակերևութային հոսքի խորությունն է (u); v –ն մակերևութային հոսքի միջին արագությունն է լանջի երկարությամբ (u/u); r –ը տեղումների ինտենսիվությունն է (u/u); i –ն բնահողի մեջ ծծանցման արագությունն է (u/u); h^* –ը անձրևի ընկնող կաթիլների ստեղծած ճնշման բարձրությունն է (u); v^* –ն՝ անձրևի

կաթիլների անկման միջին արագությունը (u/μ); g -ն ազատ անկման արագացումն է (u/μ^2); t -ն ժամանակն է (μ); τ - ն շոշափող լարումն է (μ/μ^2); ρ - ն՝ ջրի խտությունը (kg/μ^3): Ընդունելով, որ մակերևութային հոսքի q էլքը և h խորությունը կարելի է ներկայացնել $q = ah^b$ կապով [2], կստանանք մակերևութային հոսքի կինեմատիկ մոդելը.

$$h(x, t) \frac{\partial v}{\partial x}(x, t) + v(x, t) \frac{\partial h}{\partial x}(x, t) + \frac{\partial h}{\partial t}(x, t) = r(t) - i(t), \quad (3)$$

$$v(x, t) - ah^{b-1}(x, t) = 0, \quad (4)$$

որտեղ a - ն և b - ն մոդելի պարամետրերն են:

Բնահողի մակերևութով հոսող ջուրը, քայքայելով այն, իր հետ տանում է բնահողի մասնիկները: Մակերևութային հոսքի մեջ բնահողի մասնիկների կոնցենտրացիան փոփոխվում է՝ կախված ժամանակից, կտրվածքի տեղից և լանջի թեքությունից:

Մակերևութային հոսքի խորության և շարժման վրա բնահողի մասնիկների կոնցենտրացիայի ազդեցությունը պարզելու համար $10,5 \times 1,0$ μ չափերով հիդրավլիկական վաքի մեջ (որի թեքությունը փոփոխվում է մինչև 10%) կատարվել են լաբորատոր հիդրավլիկական հետազոտություններ: Վաքի հատակին կպցված էին կավավազին համապատասխանող մասնիկներ: Փորձերը կատարվում էին $1;2;5;10;15$ և $20\mu/\mu$ ծավալային էլքերի համար՝ ավելացնելով ավազակավային բնահողի կախույթ, այնպես, որ գրունտային մասնիկների կոնցենտրացիան ջրի մեջ հասնի $1;5;10$ և 15 q/μ արժեքների: Յուրաքանչյուր փորձի ժամանակ երեք պրոֆիլներում որոշվում էր մակերևութային հոսքի խորությունը:

150 տարբերակներով (ծավալային էլքի 6 արժեքներ, գրունտային մասնիկների 5 կոնցենտրացիաներ և լանջի 5 թեքություններ) կատարված լաբորատոր չափումների վերլուծության միջոցով ստացվեցին մակերևութային հոսքի կինեմատիկ մոդելի a և b պարամետրերի արժեքները՝ կախված մակերևութային հոսքի մեջ բնահողի մասնիկների c կոնցենտրացիայից (%) և լանջի I թեքությունից.

$$a = \left[\frac{30893,234 \cdot I}{0,264^c} \right]^{\frac{0,593}{0,191c+1}}, \quad (5)$$

$$b = 1,8674 - 0,0892c: \quad (6)$$

Այսպիսով, մակերևութային հոսքի հիդրավլիկական պարամետրերի վրա գրունտային մասնիկների կոնցենտրացիայի ազդեցության լաբորատոր հետազոտությունները ցույց տվեցին, որ մինչև 15 q/μ կոնցենտրացիան այդ ազդեցությունը կարելի է անտեսել:

Մակերևութային հոսքի որակի վրա էրոզիոն պրոցեսների ազդեցությունն ուսումնասիրելու համար կատարվել են փորձնական և բնական հետազոտություններ Չելիսիայի Ժելիվկա գետի վրա գտնվող Շվիհով ջրամբարում, Նեղամով քաղաքի մոտ գտնվող փորձնական տեղամասում և ՀՀ Ազատ գետի ջրահավաք ավազանի վերին մասում՝ Գեղաղիր գյուղի մոտ: Այս հետազոտությունների արդյունքում հանգել ենք հետևյալ հետևությունների [3].

ա/ սննդատու նյութերի տարեկան տեսակարար հոսքի և ջրի տարեկան հոսքի միջև գոյություն ունի գծայինին մոտ կապ, կալիումի, ազոտի և նիտրատների համար հարաբերակցության գործակիցը՝ $r = 0,9$:

Նիտրիտների և ամոնիումի համար գծային կապը թույլ է ($r = 0,6$) նրանց անկայունության պատճառով:

Ֆոսֆորի համար հարաբերակցության գործակիցն ավելի փոքր է, քանի որ ֆոսֆորը կաչում է բնահողի մասնիկների մակերևույթին և տեղափոխվում նրանց հետ,

բ/ մակերևութային հոսքի մեջ պարունակվող սննդատու նյութերի քանակն ուղիղ համեմատական է տվյալ ջրահավաք ավազանում կիրառվող պարարտանյութերի քանակին, ընդ որում՝ ազոտի համար $r = 0,975$, կալիումի համար $r = 0,778$:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Holy M.** Erosion and environment. - Oxford: Pergamon Press, 1980.- 243 p.
2. **Karapetjan H.I.** Model erozniho procesu z kvantitativniho a kvalitativniho hlediska. - Praha, 1982.– 174 s.
3. **Карапетян Г.И., Саруханян А.А.** О влиянии водноэрозионных процессов на качество поверхностных вод // Тез. докл. V Всесоюз. гидрологического съезда. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. - С 41-43.

ՀՊՃՀ. Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 20.01.1999թ. :

Г.И. КАРАПЕТЯН

ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ПОЧВЕННЫХ ЧАСТИЦ НА КАЧЕСТВО И ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА

Приведены результаты натурных, экспериментальных и лабораторных исследований в области моделирования процессов водной эрозии. Доказано, что при концентрациях до *15 г/л* влияние почвенных частиц на гидравлические характеристики поверхностного стока пренебрежимо мало.

H.I. KARAPETYAN

INFLUENCE OF SOIL CONCENTRATION ON THE QUALITY AND HYDRAULIC CHARACTERISTICS OF SURFACE FLOW

The results of natural, experimental and laboratory researches in water erosion process modeling are given. It is proved that in concentrations up to *15 gr/l* the influence of soil particles on the hydraulic surface flow parameters is negligible.

ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

Պետրոսյան Գ. Լ., Սաֆարյան Մ.Բ., Համբարձումյան Ա.Ֆ., Պետրոսյան Վ.Գ.

ԽՈՂՈՎԱԿՆԵՐԻ ԴԵՖՈՐՄԱՑՄԱՆ ԻՐԱԿԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՑՆԵՐԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒԹՅՈՒՆԸ ՆՐԱՆՑ ԸՆԴԱՐՁԱԿՄԱՄԲ ՓՈՐՁԱՐԿՄԱՆ ՏՎՅԱԼՆԵՐԻ ՀԻՄԱՆ ՎՐԱ 135

Շեկյան Հ.Գ., Խալաթյան Հ.Պ., Խալաթյան Է.Պ., Խալաթյան Ռ.Պ.

ՌՈՏՈՐԱՅԻՆ ՄԵՔԵԼԱՆԵՐԻ ՎԻԲՐՈԱԿՏԻՎՈՒԹՅԱՆ ՎՐԱ ԱԶԴՈՂ ԳՈՐԾՈՆՆԵՐԸ 142

Գրիգորյան Մ.Ա.

ԱԼՄԱՍՏԵ ՀԱՏԻԿԻ ԴԻՆԱՄԻԿ ԱՇԽԱՏԱՆՔԻ ՌԻՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆԸ ՈՒՂՂՄԱՆ ԺԱՄԱՆԱԿ 147

Կնյազյան Ռ.Վ., Ղուկասյան Վ.Հ.

ԳԼԱՆԱՅԻՆ ՖՐԵԶՈՎ ԳԼԱՆԱՅԻՆ ՄԱԿԵՐԵՎՈՒՅԹՆԵՐԻ ՄՇԱԿՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՅԻ ՌԵԺԻՄԱՅԻՆ ՊԱՐԱՄԵՏՐԵՐԸ 152

Մարգարյան Ն.Ն.

ՊԱՏԱՀԱԿԱՆ ԲԵՌՆՎԱԾՈՒԹՅԱՆԸ ՀԱՄԱՐԺԵՔ ԾՐԱԳՐԱՎՈՐՄԱՆ ՄԵԹՈԴԻ ՄՇԱԿՈՒՄ ԵՎ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆ 158

Ալայան Ա.Ա., Սուլեյման Ա.Յու.

ՓՈՇԵՄԵՏԱԼՈՒՐԳԻԱԿԱՆ ԵՂԱՆԱԿՈՎ ՍՏԱՅՎԱԾ ՊՂՆՁԱԱԼՅՈՒՄԻՆԱՅԻՆ ՀԱՄԱԶՈՒԼՎԱԾՔՆԵՐ 164

Հովհաննիսյան Ա. Մ. , Ղուկասյան Ժ.Հ., Մարգարյան Լ.Ե.

ՆԱՏՐԻՈՒՄԻ ՍՈՒԼՖԻԴԻ ՍՏԱՅՈՒՄԸ ՍՈԼԻԲԴԵՆԱՅԻՆ ԽՏԱՆՅՈՒԹԵՐԻ ԲՈՎՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՅՈՒՄ ԳՈՅԱՅՈՂ ԾՕՄԲԱՅԻՆ ԳԱԶԵՐԻՅ 170

Սուլեյմանյան Ս.Հ., Աբրահամյան Մ.Ս.

ՄԵՂՐԱԶՈՐԻ ՈՍԿՈՒ ՀԱՆՔԱՎԱՅՐԻ ՕԳՏԱԿԱՐ ԲԱՂԱԴՐԱՄԱՍԵՐԻ ՄԻՋԻՆ ՊԱՐՈՒՆԱԿՈՒԹՅԱՆ ՀԱՇՎԱՐԿԻ ՄԵԹՈԴԻԿԱՅԻ ՄԱՍԻՆ 175

Խաչատրյան Վ.Ս., Հակոբյան Ս.Հ., Թամրազյան Մ.Գ.,

Նաչատ Ա.Ա.

ԷԼԵԿՏՐԱԷԼԵՐԳԵՏԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ՀԱՄԱԼԻՐ ԼԱՎԱՐԿՈՒՄԸ ԴԱՍԱԿԱՆ ԾՐԱԳՐԱՎՈՐՄԱՆ ՄԵԹՈԴՈՎ 181

Բաբեղանյան Գ.Վ.

ԿԻՍԱԿԱՄՐՁԱԿԱՅԻՆ ԻՆՎԵՐՏՈՐԻ ՀԱՄԱԶԱՓՎԱԾ ՄԽԵՄԱՅԻ ՌԻՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆԸ 185

Սուլսիսյան Վ. Մ.

ԲԱՐԵԼԱՎՎԱԾ ԶԱՆԳՎԱԾԱԶԱՓԱՅԻՆ ՑՈՒՑԱՆԻՇՆԵՐՈՎ ԵԷՄԱ-

Ի ՆԱԽԱԳԾՈՒՄ	191
Կիրակոսյան Ա.Ա., Ներսեսյան Ս.Գ., Հովհաննիսյան Յու.Ա. Զերմամբություններում չեն ընդգրկվում ՏՐԱՆՍՖՈՐՄԱՏՈՐՆԵՐՈՒՄ	200 197
.....	
Գրիգորյան Վ.Ա., Կարապետյան Ս.Ա., Կարախանյան Լ.Հ., Վարդանյան Վ.Վ. ԱՐՏԱՔԻՆ ՀԱՄԱՍԵՌ ԴԱՇՏՈՒՄ ՅՈՒՂ – ԶՈՒՐ ԲԱԶՄԱԴԻՍՊԵՐՍ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ՓՈՐՁԱԿԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՎԵՐԼՈՒ- ԾՈՒԹՅՈՒՆԸ ..	201
Մանուկյան Ս. Հ., Ղամբարյան Ար. Ա. ԶԳՄԱՆ ԵՐԿՉՈՓԱՆԻ ՄԱԳՆԻՍԱԾԿՈՒՆ ԿԵՐՊՈՓՈԽԻՉԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒԹՅՈՒՆ	206
.....	
Հակոբջանյան Գ.Դ., Սաֆարյան Վ. Ս. ԳԾԱՅԻՆ ՊԱՍՄԻՎ ՎԵՅԱԲԵՎԵՌԱՇՂԹԱՆԵՐԻ ՄԻՆԹԵԶԻ ՄԱՍԻՆ	212
.....	
Բեգոյան Կ.Վ. ԷՐԳԱՏԻԿ ԱՐՏԱԴՐԱԿԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՑՆԵՐԻ ՎԻՃԱԿԱԳՐԱԿԱՆ ՄՈԴԵԼԱՎՈՐՄԱՆ ՄԻ ՔԱՆԻ ՀԱՐՑԵՐԻ ՄԱՍԻՆ	217
.....	
Դանիելյան Ս.Վ. ԱՂՏՈՏՎԱԾՈՒԹՅԱՆ ԿԵՏԱՅԻՆ ԱՂԲՅՈՒՐԻ ՀԱՅՏՆԱԲԵՐՄԱՆ ՄԵԹՈԴԻ ՄԱՍԻՆ	221
Մնացականյան Զ. Ռ., Մնացականյան Վ. Ռ. ԼՈՒԾՄԱՆ ԱՂՅՈՒՍԱԿՆԵՐԻ TABLE ՆԱԽԱՊՐՈՑԵՍՈՐ	225
.....	
Մամիկոնյան Բ. Մ., Մամիկոնյան Խ. Բ., Նազարյան Ե. Խ. ԼԱՐՈՒՄ - ՀՈՍԱՆՔ ՉԱՓՈՂԱԿԱՆ ԶԵՎԱՓՈԽԻՉՆԵՐԻ ՀԱՄԵ- ՄԱՏԱԿԱՆ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆԸ	232
Մարտիրոսյան Ս.Ս. ԲԱՐԴ ԼԱՅՆԱՇԵՐՏ ԱԶԴԱՆՇԱՆՆԵՐԻ ԿԻՐԱՌՈՒՄԸ ԷԼԵԿՏՐԱՄԱԳՆԻՍԱԿԱՆ ԴԱՇՏԵՐԻ ԲԱՇԽՎԱԾՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՉԱՓՄԱՆ ՀԱՄԱՐ...	239
Գևորգի Տ.Ս., Եղիազարյան Լ.Վ., Սարգսյան Վ.Հ. ՔԱՂԱՔԱՅԻՆ ՑԱՆՑԵՐՈՒՄ ԷԼԵԿՏՐԱԷՆԵՐԳԻԱՅԻ ԻՐԱՑՄԱՆ ԿՈՐՈՒՍՏՆԵՐԻ ՎՐԱ ԱԶԴՈՂ ԳՈՐԾՈՆՆԵՐԻ ԳՆԱՀԱՏՈՒՄ	244
.....	
Տեր-Ազարեյ Ի. Ա., Բաղդասարյան Հ. Բ., Տեր-Ազարյան Գ. Ի. ԿՏՐՈՂ ԳՈՐԾԻՔԻ ՀԵՏԵՎԻ ՆԻՍՏՈՎ ՄԱՇՄԱՆ ԿԱԽՎԱԾՈՒ- ԹՅՈՒՆԸ ՀՐԱԿԱՅՈՒՆ ՊՈՂՊԱՏՆԵՐ ՄՇԱԿԵԼԻՍ	249
.....	
Հարությունյան Վ.Ս., Վաղարշայան Վ.Ա., Վահանյան Ա.Բ., Մինասյան Ս.Ա., Շալաեյ Լ.Վ. ԱՎՏՈՄՈԲԻԼԱՇԽՆՈՒԹՅԱՆ ԲՆԱԳԱՎԱՌՈՒՄ	

ԹԵՐՄՈԳԵՆԵՐԱՏՈՐՆԵՐԻ	ՕԳՏԱԳՈՐԾՄԱՆ	253
ՀՆԱՐԱՎՈՐՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՄԱՍԻՆ		
Ջհանգույան Է. Հ.		
ԲԱԶՄԱՇԵՐԵՓ	ՇՂԹԱՅԱՎՈՐ	ԷՔՄԿԱՎԱՏՈՐԻ
ԱՐՏԱԴՐՈՂԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ	ՎՐԱ	ԱԶԴՈՂ
ԳՈՐԾՈՆՆԵՐԸ	ՀԻՄՆԱԿԱՆ	256
Կարապետյան Հ. Ի.		
ԳՐՈՒՆՏԱՅԻՆ ՄԱՍՆԻԿՆԵՐԻ ԿՈՆՑԵՆՏՐԱՑԻԱՅԻ		
ԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ ՄԱԿԵՐԵՎՈՒԹՅԱՅԻՆ ՀՈՍՔԻ ՈՐԱԿԻ ԵՎ		
ՀԻԴՐԱՎԼԻԿԱԿԱՆ ԲՆՈՒԹԱԳՐԵՐԻ ՎՐԱ		260
.....		

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Петросян Г.Л., Сафарян М.Б., Амбарцумян А.Ф., Петросян В.Г.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ТРУБ НА ОСНОВАНИИ ДАННЫХ ИХ ИСПЫТАНИЯ РАЗДАЧЕЙ	135
<i>Шекян Г.Г., Халатян А.П., Халатян Э.П., Халатян Р.П.</i> ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ВИБРОАКТИВНОСТЬ РОТОРНЫХ МАШИН	142
<i>Григорян М.А.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ РАБОТЫ АЛМАЗНОГО ЗЕРНА ПРИ ПРАВКЕ	147
<i>Князян Р.В., Гукасян В.Г.</i> РЕЖИМНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ ПОВЕРХ- НОСТЕЙ ВРАЩЕНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ФРЕЗОЙ	152
<i>Саркисян Н.Н.</i> РАЗРАБОТКА И АНАЛИЗ МЕТОДА ЭКВИВАЛЕНТНОГО ПРОГ- РАММИРОВАНИЯ СЛУЧАЙНОЙ НАГРУЖЕННОСТИ	158
<i>Алаян А.А., Сулейман А.Ю.</i> МЕДНОАЛЮМИНИЕВЫЕ СПЛАВЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ МЕТОДОМ ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ	164
<i>Оганесян А. М., Гукасян Ж. Г., Саркисян Л. Е.</i> ПОЛУЧЕНИЕ СУЛЬФИДА НАТРИЯ ИЗ СЕРНИСТЫХ ГАЗОВ, ОБРАЗУЮЩИХСЯ В ПРОЦЕССЕ ОБЖИГА МОЛИБДЕНОВЫХ КОНЦЕНТРАТОВ	170
<i>Сулейманян С.А., Абрамян М.С.</i> О МЕТОДИКЕ ПОДСЧЕТА СРЕДНЕГО СОДЕРЖАНИЯ ПОЛЕЗНЫХ КОМПОНЕНТОВ НА МЕГРАДЗОРСКОМ ЗОЛОТОРУДНОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ	175
<i>Хачатрян В.С., Акопян С.Г., Тамразян М.Г., Напат А.А.</i> КОМПЛЕКСНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМА ЭЭС МЕТОДОМ КЛАССИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ	181
<i>Барегамян Г.В.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ СИММЕТРИРОВАННОЙ СХЕМЫ ПОЛУ- МОСТОВОГО ИНВЕРТОРА	185
<i>Мовсесян В. М.</i> ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИВЭП С УЛУЧШЕННЫМИ МАССОГАБА- РИТНЫМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ	191
<i>Киракосян А.А., Нерсисян С.Г., Оганесян Ю.А.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА В СУХИХ ТРАНСФОРМАТОРАХ	197
<i>Григорян В.А., Карапетян М.А., Караханян Л.О., Варданян В.В.</i> АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДО-	

ВАНИЙ ПОЛИДИСПЕРСНОЙ СИСТЕМЫ, НАХОДЯЩЕЙСЯ ВО ВНЕШНЕМ ОДНОРОДНОМ ПОЛЕ	201
Манукян С.А., Гамбарян Ар.А.	
ИССЛЕДОВАНИЕ ДВУХКООРДИНАТНОГО МАГНИТОУПРУГОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ НАТЯЖЕНИЯ	206
<i>Акопджанян Г.Д., Сафарян В.С.</i>	
О СИНТЕЗЕ ЛИНЕЙНЫХ ПАССИВНЫХ ШЕСТИПОЛЮСНИКОВ	212
Бегоян К.В.	
О НЕКОТОРЫХ ВОПРОСАХ СТАТИСТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭРГАТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ	217
Даниелян С.В.	
О МЕТОДЕ ОБНАРУЖЕНИЯ ТОЧЕЧНОГО ОЧАГА ЗАГРЯЗНЕНИЯ	221
Мнацаканян З.Р., Мнацаканян В.Р.	
ПРЕПРОЦЕССОР ТАБЛИЦ РЕШЕНИЙ TABLE	225
Мамиконян Б.М., Мамиконян Х.Б., Назарян Е.Х.	
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЯ В ТОК	232
Мартиросян С.М.	
ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СЛОЖНЫХ ШИРОКОПОЛОСНЫХ СИГНАЛОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ.....	239
Гнуни Т.С., Егиазарян Л.В., Саркисян В.О.	
ОЦЕНКА ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ВЕЛИЧИНУ ПОТЕРЬ ОТ РЕАЛИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ГОРОДСКИХ СЕТЯХ	244
Тер-Азарьев И.А., Багдасарян Г.Б., Тер-Азарян Г.И.	
ЗАВИСИМОСТЬ ИЗНОСА РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ПО ЗАДНЕЙ ГРАНИ ПРИ ОБРАБОТКЕ ЖАРОПРОЧНОЙ СТАЛИ	249
Арутюнян В.М., Вагаршакян В.А., Ваганян А.И., Минасян С.А., Шалаев Н.В.	
О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕРМОГЕНЕРАТОРОВ В АВТОМОБИЛЕСТРОЕНИИ	253
Джангулян Э.А.	
ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ МНОГОКОВШОВОГО ЦЕПНОГО ЭКСКАВАТОРА	256
Карапетян Г.И.	
ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ПОЧВЕННЫХ ЧАСТИЦ НА КАЧЕСТВО И ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА	260

CONTENTS

Petrosyan G.L., Safaryan M.B., Hambardzumyan A.F., Petrossyan V.G.	
INVESTIGATION OF REAL TUBE DEFORMATION PROCESSES ON THE BASIS OF THEIR TESTING DATA BY EXPANSION	135
Shekyan H.G., Khalatyan H.P., Khalatyan E.P., Khalatyan E.P.	
FACTORS AFFECTING THE VIBROACTIVITY OF ROTOR MACHINES	142
Grigoryan M.A.	
DYNAMIC OPERATION STUDIES OF DIAMOND GRAINS DURING DRESSING	147
Knyazyan R.V., Ghukassyan V.G.	
OPERATING CONDITIONS OF ROTATION SURFACE PROCESSING BY A CYLINDRICAL MILLING CUTTER	152
Sargsyan N.N.	
ANALYSIS AND ELABORATION OF EQUIVALENT PROGRAMMING METHOD OF RANDOM LOADING	158
Alayan A.A., Suleyman A.Y.	
ALUMINIUM BRONZES MADE BY METHOD OF POWDER METALLURGY.....	164
Hovhannissyan A. M., Ghukasyan Zh. H., Sarkissyan L.E.	
OBTAINING OF SODIUM SULPHIDE FROM SULPHURIC DIOXIDE FORMING IN THE PROCESS OF MOLYBDENUM CONCENTRATE ROASTING	170
Suleimanyan S.H., Abrahamyan M.S.	
ON METHODS OF USEFUL COMPONENT MEDIUM CONTENT COUNT AT THE MEGHRADZOR GOLD ORE FIELD	175
Khachatryan V.S., Hakopyan S.H., Tamrazyan M.G., Nashat Abo Amash	
COMPLEX MODE OPTIMIZATION OF THE ELECTRICAL POWER ENGINEERING SYSTEM BY THE CLASSICAL PROGRAMMING METHOD	181
Bareghamyan G.V.	
INVESTIGATION ON SYMMETRIZING HALF-BRIDGE INVERTER	185
Movsessyan W.M.	
DESIGN OF POWER SUPPLIES WITH IMPROVED SIZE-WEIGHT CHARACTERISTICS	191
Kirakossyan A.A., Nersessyan S.G., Hovhannissyan Yu.A.	
INVESTIGATION OF THERMOEXCHANGE IN DRY TRANSFORMERS	197
Grigoryan V.A., Karapetyan M.A., Karakhanyan L.H., Vardanyan V.V.	
ANALYSIS OF EXPERIMENTAL INVESTIGATION RESULTS OF THE	

POLYDISPERSIVE SYSTEM IN THE OUTER HOMOGENEOUS FIELD Manukyan S. H., Ghambaryan Ar. A.	201
EXPLORATION OF TWO-DIMENSIONAL MAGNETO-ELASTIC STRENGTH	206
Hakopjanyan G.D., Safaryan V.S.	
SYNTHESIS OF LINEAR PASSIVE HEXAHEDRONS	212
Begoyan K.V.	
SOME STATISTICAL MODELING PROBLEMS OF ERGATIC INDUS- TRIAL PROCESSES	217
Danielyan S.V.	
ON THE METHOD OF POLLUTION SOURCE DETECTION	221
Mnatsakanyan Z.R., Mnatsakanyan V.R.	
DECISION TABLES PREPROCESSOR «TABLE»	225
Mamikonyan B.M., Mamikonyan Kh.B., Nazaryan E.Kh.	
COMPARATIVE ANALYSIS OF THE MEASURING VOLTAGE-TO- CURRENT CONVERTERS	232
Martirosyan S.M.	
APPLICATION OF COMPLICATED WIDE-BAND SIGNALS ON MEASUREMENTS OF ELECTROMAGNETIC FIELD DISTRIBUTIONS	239
Gnuni T.S., Yeghiazaryan L.V., Sargsyan V.H.	
EVALUATION OF FACTORS AFFECTING THE VALUE OF POWER LOSSES THROUGH ELECTRIC POWER REALIZATION IN INTER- CITY NETWORKS	244
Ter-Azarev I.A., Baghdasaryan G.B., Ter-Azaryan G.I.	
TOOL WEAR DEPENDENCE ON BACK SIDE IN TREATING HIGH- TEMPERATURE STEEL	249
Aroutunyan V.M., Vagharshakyan V.A., Vahanyan A.I., Minassyan S.A., Shalaev N.V.	
ON POSSIBILITY FOR APPLICATION OF THERMOGENERATORS IN THE MOTOR-CAR INDUSTRY.....	253
Jangulyan E.H.	
MAIN FACTORS AFFECTING PRODUCTIVITY OF MULTI-BUCKET CHAIN EXCAVATOR PRODUCTIVITY	256
Karapetyan H.I.	
INFLUENCE OF SOIL CONCENTRATION ON THE QUALITY AND HYDRAULIC CHARACTERISTICS OF SURFACE FLOW	260
.....	