

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 4 раза в год

ԽՄԲԱԳՐԱԿԱՆ ԿՈԼԵԳԻԱ

Ռ.Մ. ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ (գլխավոր խմբագիր), Հ.Ա. ԹԵՐԶՅԱՆ (գլխ. խմբ. տեղակալ),
Զ.Կ. ՍՏԵՓԱՆՅԱՆ (պատասխանատու քարտուղար), Ս.Գ. ԱԴԲԱԼՅԱՆ, Ռ.Վ. ԱՌՈՅԱՆ,
Վ.Վ. ԲՈՒՆԻԱՏՅԱՆ, Ա.Խ. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ, Ժ.Դ. ԴԱՎԻԴՅԱՆ, Ս.Պ. ԴԱՎԹՅԱՆ,
Ս.Ս. ՂԱԶԱՐՅԱՆ, Ռ.Զ. ՄԱՐՈՒԽՅԱՆ, ՅՈՒ.Լ. ՄԱՐԳՍՅԱՆ, Վ.Ս. ՄԱՐԳՍՅԱՆ,
Վ.Ս. ՍԱՖԱՐՅԱՆ, Ս.Հ. ՍԻՄՈՆՅԱՆ, Մ.Գ. ՍՏԱԿՅԱՆ, Ա.Թ. ՔՈՒՉՈՒԿՅԱՆ

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Р.М. МАРТИРОСЯН (главный редактор), А.А. ТЕРЗЯН (зам. глав. редактора),
З.К. СТЕПАНЯН (ответственный секретарь), С.Г. АГБАЛЯН, Р.В. АТОЯН,
В.В. БУНИАТЯН, А.Х. ГРИГОРЯН, Ж.Д. ДАВИДЯН, С.П. ДАВТЯН, С.М. КАЗАРЯН,
А.Т. КУЧУКЯН, В.З. МАРУХЯН, Ю.Л. САРКИСЯН, В.С. САРКИСЯН,
В.С. САФАРЯН, С.О. СИМОНЯН, М.Г. СТАКЯН

EDITORIAL BOARD

R.M. MARTIROSSYAN (editor-in-chief), H.A. TERZYAN (vice-editor-in-chief),
Z.K. STEPANYAN (executive secretary), S.G. AGHBALYAN,
R.V. ATOYAN, V.V. BUNIATYAN, Zh.D. DAVIDYAN,
S.P. DAVTYAN, S.M. GHAZARYAN, A.Kh. GRIGORYAN, A.T. KUCHUKYAN,
V.Z. MARUKHYAN, YU.L. SARGSYAN, V.S. SARKISSYAN, V.A. SAFARYAN,
S.H. SIMONYAN, M.G. STAKYAN

Հրատ. խմբագիր՝

Ժ.Ս. ՍԵՅՐԱՆՅԱՆ

Խմբագիրներ՝

Հ.Յ. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ

Հ.Զ. ՂԱԶԱՐՅԱՆ

Г.Л. ПЕТРОСЯН, А.А. БАРСЕГЯН, А.Г. ПЕТРОСЯН

**МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОРИСТОСТИ ГИДРОПРЕССОВАННОЙ
ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ СПЕЧЕННОЙ ЗАГОТОВКИ С МАЛЫМ ПРОХОДОМ**

Разработан инженерный метод определения величины пористости спеченной цилиндрической спеченной заготовки, гидропрессованной в конической матрице с малыми проходами. Задача решается на основе деформационной теории пластичности пористых материалов с использованием безразмерных параметров гидропрессования. Получены численные данные для различных величин противодействия. Показано, что при использовании малых проходов гидропрессования задача решается достаточно просто - без исследования напряженного состояния заготовки.

Ключевые слова: гидропрессование, противодействие, малые проходы, напряженное состояние, пористость, безразмерные параметры.

Введение. Известно, что эффективным методом обработки твердых материалов и брикетов из металлических порошков является гидропрессование [1, 2]. В ряде случаев внедрение данного метода наряду с высокими технико-экономическими показателями обеспечивает также улучшение параметров эксплуатации и структуры продукции [3].

Процесс гидропрессования заготовки круглого поперечного сечения представляет собой одну из основных задач обработки давлением и имеет важное практическое значение. Для правильного отбора технических характеристик оборудования процесса гидропрессования, а также усовершенствования технологического процесса получения стержня круглого сечения с заданными физико-механическими и эксплуатационными свойствами предусматривается аналитическое исследование напряженно-деформированного состояния деформируемой заготовки.

В результате анализа работ [1-3], посвященных процессу гидропрессования заготовки круглого сечения, были выявлены основные особенности гидропрессования как обычных металлов, так и изготовленных из металлического порошка составных заготовок. При изучении методов исследования напряженно-деформированного состояния процесса прессования осесимметричных заготовок выявлено, что основным инженерным методом решения задачи является метод тонких сечений [2,3]. В случае, когда не учитывается упрочнение материала, решение задачи значительно упрощается: получается одно дифференциальное уравнение первого порядка, в результате интегрирования которого выводится аналитическая формула для определения напряжений. В [2] представлена теория совместного

воздействия процесса волочения и гидропрессовки заготовок круглого сечения методом тонких сечений. В [3] методом тонких сечений исследовано напряженно-деформированное состояние деформируемой заготовки круглого сечения при ее гидропрессовании с противодавлением. Для разных значений противодействия в программной среде MS EXCEL произведены численные вычисления. Экспериментально гидропрессование с противодавлением порошковых заготовок осуществлялось их размещением в пористых оболочках.

Целью работы является аналитическое исследование процесса гидропрессования с противодавлением спеченной цилиндрической заготовки в конической матрице и разработка инженерного метода определения величины ее пористости в случае малых проходов технологического процесса.

Теоретические исследования. В [3] получена следующая формула для определения величин безразмерных осевых давлений $\overline{p_z} = p_z / \sigma_T$ по безразмерной длине (радиуса r/a) конической части заготовки круглого сечения:

$$\overline{p_z} = \frac{(1+B)}{B} \left[-1 + \left(\frac{r}{a} \right)^{2B} \right] + \bar{t} \left(\frac{r}{a} \right)^{2B}, \quad (1)$$

где φ, f - коэффициент трения; φ - угол конусности матрицы; a - радиус выходного сечения заготовки (рис.1); $\bar{t} = t/\sigma_T$ - безразмерная величина противодействия.

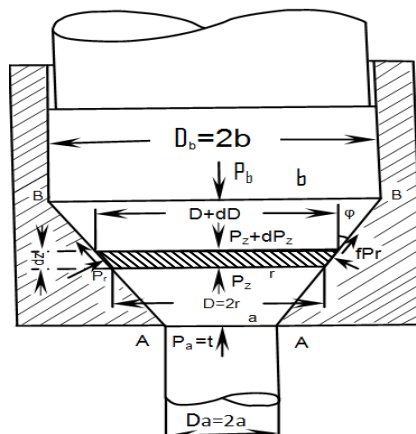


Рис. 1. Схема процесса гидропрессования с противодавлением

Отметим, что для решения поставленной задачи необходимо также знать величины остальных компонентов напряженного состояния. К ним относятся радиальное и окружное напряжения. При этом согласно [1-3] допускается, что

окружное и радиальное напряжения равны ($\sigma_\theta = \sigma_r$), и для их определения используется условие пластичности материала. В данном случае при главных нормальных напряжениях ($\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$)

$$\sigma_1 = \sigma_z = -p_z, \quad \sigma_2 = \sigma_3 = \sigma_r = \sigma_\theta = -p_r \quad (2)$$

условие пластичности Мизеса примет следующий вид [3]:

$$p_r = p_z + \sigma_T, \quad (3)$$

где σ_T - предел текучести материала.

Условие пластичности (3) с безразмерными величинами $\overline{p_r} = p_r / \sigma_T$ и $\overline{p_z} = p_z / \sigma_T$ имеет вид

$$\overline{p_r} = \overline{p_z} + 1. \quad (4)$$

В [3] на основании формулы (1) были выполнены численные вычисления $\overline{p_z}$ в случаях параметров технологического процесса $f = 0,1$; $\varphi = 20^\circ$, $B = f \operatorname{ctg} \varphi = 0,2747$ и величин противодавления $\bar{t} = t / \sigma_T = 0; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8$ для значений конической матрицы $r/a = 1,1; 1,2; 1,3; 1,4; 1,5$ и $1,6$. На рис. 2 для этих значений безразмерного противодавления построены графики $\overline{p_z} - A/A_a$, где $A = \pi r^2$ и $A_a = \pi a^2$ – площади текущих поперечных и АА (рис. 1) сечений заготовки.

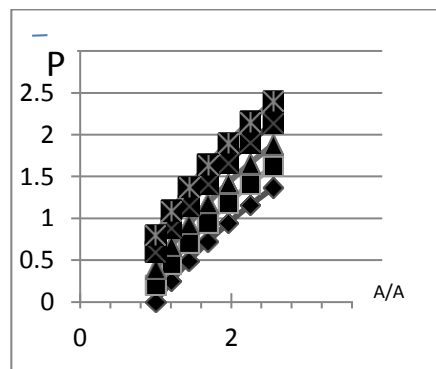


Рис. 2. Графики $\overline{p_z} - A/A_a$ для величин $\bar{t} = t / \sigma_T = 0; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8$.

Случаю $\bar{t}_1 = 0$ соответствует кривая, проходящая через точку 1

Данные $\overline{p_z}$ на рис. 2 соответствуют начальным точкам кривых (близких абсциссе 1). При этом случаю $\bar{t}_1 = 0$ соответствует нижняя кривая.

Для определения текущей пористости ν деформированной заготовки используем следующую формулу деформационной теории пластичности пористых материалов [4]:

$$\nu = 1 - (1 - \nu_0) \exp \left(- \frac{9\nu_0^m \sigma_0 \varepsilon_{eq}}{(1 - \nu_0)^{3n} \sigma_{eq}} \right), \quad (5)$$

где ε_{eq} и σ_{eq} - эквивалентные деформации и напряжения; $\sigma_0 = (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)/3$ - среднее напряжение; ν_0 - начальная пористость материала; m и n - параметры пористости.

Для решения задачи используется метод [5]. С учетом (2) и (4) для неупрочняющего материала ($\sigma_{eq} = \sigma_T$) формула определения безразмерного среднего напряжения сводится к следующему виду:

$$\overline{\sigma_0} = (\overline{\sigma_1} + \overline{\sigma_2} + \overline{\sigma_3})/3 = -(3\overline{p_z} + 2)/3 = -\overline{p_z} - 0,67. \quad (6)$$

Формула для определения текущей пористости ν (5) с учетом (6) имеет вид

$$\nu = 1 - (1 - \nu_0) \exp \left(\frac{9\nu_0^m}{(1 - \nu_0)^{3n}} \cdot (\overline{p_z} + 0,67) \cdot \varepsilon_{eq} \right). \quad (7)$$

Следует отметить, что в формуле (7), аналогично [5], имеет место произведение трех основных параметров технологического процесса: функция от начальной пористости материала $f_1(\nu_0) = 9\nu_0^m / (1 - \nu_0)^{3n}$, безразмерный параметр напряженного состояния (функция напряжений) $f_2(\sigma) = (\overline{p_z} + 0,67)$ и степень деформации заготовки ε_{eq} . Из них для данной начальной пористости материала могут быть переменными второй и третий параметры. Величину степени деформации заготовки можно выбрать, а для определения функции напряжений необходимо использовать данные исследования ее напряженного состояния.

Отметим, что функция напряжений $f_2(\sigma) = (\overline{p_z} + 0,67)$ фактически является абсолютной величиной безразмерного среднего напряжения

$$|\overline{\sigma_0}| = \overline{p_z} + 0,67,$$

и ее можно связать с безразмерной величиной противодавления:

$$|\overline{\sigma_{01}}| = \bar{t} + \overline{\Delta p_z} + 0,67, \quad (8)$$

где $\overline{\Delta p_z}$ - приращение $\overline{p_z}$ и соответствует концу первого малого прохода. При этом в начале этого прохода $\overline{p_z} = \bar{t}$.

Численные вычисления. Результаты численных вычислений $\overline{p_z}$ и $\overline{\sigma_{01}}$, установленные по формулам (1) и (6) при малых проходах, т.е. малых значениях r/a , приведены в табл.1. На основании этих данных на рис. 3 показаны соответствующие кривые $\overline{\sigma_{01}}$.

Таблица 1

Данные изменения величин $\overline{p_z}$ и $\overline{\sigma_{01}}$ по высоте конической части матрицы при $f = 0,1$; $\varphi = 20^\circ$, $B = f \operatorname{ctg} \varphi = 0,2747$ в случаях $\bar{t}_1 = 0$ и $\bar{t}_2 = 0,2$

r/a	A/A_0	$\overline{p_z}$	$-\overline{\sigma_{01}}$
1,0	1,0	0	0,67
1,025	1,051	0,06	0,73
1,05	1,103	0,12	0,79
1,075	1,156	0,18	0,85
1,10	1,210	0,25	0,92

r/a	A/A_0	$\overline{p_z}$	$-\overline{\sigma_{01}}$
1,0	1,0	0,20	0,87
1,025	1,051	0,26	0,93
1,05	1,103	0,32	0,99
1,075	1,156	0,38	1,05
1,10	1,210	0,46	1,13

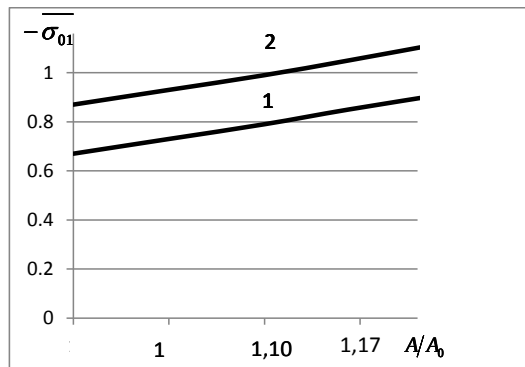


Рис. 3. Кривые $\overline{\sigma_{01}} - A/A_0$ при малых проходах: кривая 1 соответствует $\bar{t}_1 = 0$, а кривая 2 - $\bar{t}_2 = 0,2$

Анализ табл.1 и рис. 3 показывает, что при $A/A_0 = 1,05$, т.е. при логарифмической деформации $\overline{\varepsilon_{eq}} = \ln(A/A_0) = 0,05$ (или 5%), величина $\overline{\Delta p_z}$ является достаточно малой, в данном случае она приблизительно равна 0,06. При этом формула (8) примет следующий вид:

$$|\overline{\sigma_{01}}| = \bar{t} + 0,73. \quad (9)$$

В случае пренебрежения величиной $\overline{\Delta p_z}$ по сравнению с остальными членами формулы (8) имеем

$$|\overline{\sigma_{02}}| = \bar{t} + 0,67. \quad (10)$$

Следовательно, при определении по формуле (10) абсолютной величины безразмерного среднего напряжения (функции напряжений) в случае гидропрессования в конической матрице цилиндрической заготовки с малыми проходами задача решается без исследования напряженного состояния заготовки.

С использованием формул (7)-(10) были выполнены численные вычисления текущей пористости v цилиндрической заготовки, гидропрессованной в конической матрице при различных степенях деформирования (ε_{eq}) и противодействия ($\bar{t}$).

В случае $\overline{\varepsilon_{eq}} = 0,05$; $m = 1,0$; $n = 0,25$ и начальных пористостей $v_0 = 0,1; 0,2; 0,3$ и $0,4$ сначала по формуле $f_1(v_0) = 9v_0^m / (1 - v_0)^{3n}$ устанавливаются $f_1(v_{01}) = 0,974$; $f_1(v_{02}) = 2,128$; $f_1(v_{03}) = 3,529$ и $f_1(v_{04}) = 5,279$. Далее по (7)-(10) для различных начальных пористостей получаются формулы определения текущих значений деформированных заготовок. При использовании формул (7) и (10) имеем

$$\begin{aligned} \text{при } v_0 = 0,1 - v_{12} &= 1 - 0,9 \exp(0,974(\bar{t} + 0,67) \overline{\varepsilon_{eq}}); \\ \text{при } v_0 = 0,2 - v_{22} &= 1 - 0,8 \exp(2,128(\bar{t} + 0,67) \overline{\varepsilon_{eq}}); \\ \text{при } v_0 = 0,3 - v_{32} &= 1 - 0,7 \exp(3,529(\bar{t} + 0,67) \overline{\varepsilon_{eq}}); \\ \text{при } v_0 = 0,4 - v_{42} &= 1 - 0,6 \exp(5,279(\bar{t} + 0,67) \overline{\varepsilon_{eq}}). \end{aligned} \quad (11)$$

При гидропрессовании в конической матрице цилиндрической заготовки с противодавлениями $\bar{t} = t/\sigma_T = 0; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8$ и пористостями 10; 20; 30; 40%

и с одним малым проходом при логарифмической деформации $\overline{\varepsilon_{eq}} = \ln (A/A_0) = 0,05 = 5\%$ по формулам с учетом и без учета величины $\overline{\Delta p_z}$ были вычислены текущие значения пористостей, данные которых приведены в табл. 2, а графики их изменения в зависимости от величин противодействия показаны на рис. 4.

Таблица 2

Данные силовых параметров и пористостей v , вычисленные с учетом и без учета величины $\overline{\Delta p_z}$, в зависимости от величин противодействия $\overline{t}$

$\overline{t}$	0	0,2	0,4	0,6	0,8
$\overline{p_z}$	0,06	0,26	0,46	0,66	0,86
$\overline{\sigma_{01}}$	0,73	0,93	1,13	1,33	1,53
$\overline{\sigma_{02}}$	0,67	0,87	1,07	1,27	1,47
v_{11}	0,067	0,058	0,049	0,039	0,030
v_{12}	0,070	0,060	0,050	0,043	0,033
v_{21}	0,134	0,116	0,097	0,077	0,058
v_{22}	0,141	0,122	0,100	0,084	0,065
v_{31}	0,202	0,174	0,144	0,113	0,081
v_{32}	0,212	0,184	0,154	0,124	0,093
v_{41}	0,271	0,231	0,189	0,145	0,099
v_{42}	0,284	0,245	0,204	0,161	0,116

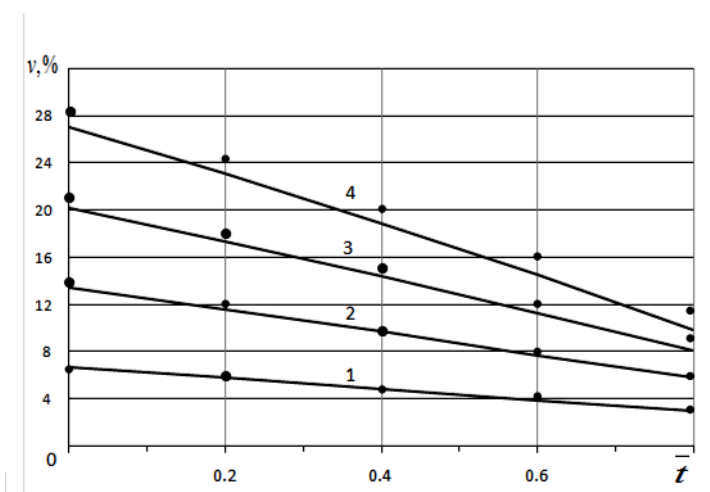


Рис. 4. Графики изменения текущих значений пористостей v деформированной заготовки, вычисленных с учетом (кривые 1-4 при $v_0=10; 20; 30$ и 40%) и без учета величины $\overline{\Delta p_z}$ (точки), в зависимости от величин противодействия $\overline{t}$

Сопоставление полученных данных показывает, что:

- при гидропрессовании с противодавлением спеченной заготовки круглого сечения в конической матрице увеличение безразмерной величины противодействия приводит к быстрому уменьшению пористости материала;
- наклон кривых больших начальных пористостей v_0 значительно выше, чем малых v_0 . Это означает большую эффективность уплотнения высокопористых заготовок;
- величины текущих значений пористостей v деформированной заготовки, вычисленные с учетом (кривые 1-4 при $v_0=10; 20; 30$ и 40% соответственно) и без учета величины Δp_z (точки), достаточно хорошо согласуются друг с другом. Разница между ними при малых величинах противодействия $\bar{t}$ для всех начальных пористостей v_0 не превышает 5% , а при высоких значениях $\bar{t}$ зависит от v_0 ; с ее возрастанием разность эта повышается и составляет $9,3; 10,8; 12,9$ и $14,7\%$ соответственно.

Отметим, что полученные формулы позволяют определить также величины безразмерного противодействия или степень деформирования (предельные их значения) цилиндрической заготовки, когда ее материал становится беспористым. В случае начальной пористости материала $v_0 = 0,1$ предельные значения безразмерного противодействия и степень деформирования имеют следующий вид:

$$(\bar{\varepsilon}_{eq})_{пр.} = 0,108/(\bar{t} + 0,67), (\bar{t})_{пр.} = 0,108/\bar{\varepsilon}_{eq} - 0,67. \quad (12)$$

Заключение. Разработан инженерный метод определения величины пористости спеченной цилиндрической заготовки, гидропрессованной в конической матрице определенной начальной пористости с малыми проходами. Решение этой задачи осуществляется на основе современной деформационной теории пластичности пористых материалов. Показано, что при использовании малых проходов (что чаще используется в практике) задача решается достаточно просто - без исследования напряженного состояния заготовки.

Исследование выполнено при финансовой поддержке ГКН МОН РА в рамках научного проекта N13-2D161.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колпашников А.И., Вялов В.А., Федоров А.А., Петров А.П. Горячее гидропрессование металлических материалов. – М.: Машиностроение, 1977. – 271 с.
2. Пью Х.Л. Механические свойства материалов под высоким давлением. Выпуск 2: Применение высоких давлений в технологических процессах. - М.: Мир, 1973.- 374 с.
3. Петросян Г.Л., Петросян А.С., Барсегян А.А. Особенности моделирования процесса гидропрессования заготовки круглого сечения // Вестник ГИУА. Серия “Механика, машиноведение, машиностроение”. - 2013.- Вып. 16, N 2.- С. 30-38.

4. **Петросян Г.Л.** Пластическое деформирование порошковых материалов.- М.: Металлургия, 1988.-153с.
5. **Петросян Г.Л., Моталлеби С.Р., Саакян В.А.** Исследование реального процесса прокатки плоской полосы с учетом влияния пористости материала и числа оборотов валков // Проблемы динамики и взаимодействия деформируемых тел: Труды 7-й Международной конференции, сентябрь 19-23, 2011.- Горис-Степанакерт, 2011.- С. 333-338.

ГИУА (ПОЛИТЕХНИК). Материал поступил в редакцию 16.12.2013.

Գ.Լ. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ, Ա.Ա. ԲԱՐՍԵՂՅԱՆ, Հ.Գ. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ

**ՓՈՔՐ ԵՐԹԱՆՑՔՈՎ ՀԻՂՐՈՄԱՄԼՎԱԾ ԳԼԱՆԱԿԱՆ ԵՌԱԿԱԼՎԱԾ
ՆԱԽԱՊԱՏՐԱՍՏՎԱԾՔԻ ԾԱԿՈՏԿԵՆՈՒԹՅԱՆ ՈՐՈՇՄԱՆ ՄԵԹՈԴ**

Մշակվել է կոնական մամլամայրում փոքր երթանցքներով հիդրոմամլված գլանական նախապատրաստվածքի ծակոտկենության որոշման ճարտարագիտական մեթոդ: Խնդիրը լուծվել է ծակոտկեն նյութերի պլաստիկության դեֆորմացիոն տեսության բանաձևով: Օգտագործվել են հիդրոմամլման չափում չունեցող պարամետրեր: Ստացվել են թվային տվյալներ հակաճնշման տարբեր մեծությունների համար: Ցույց է տրվել, որ հիդրոմամլման փոքր երթանցքների օգտագործման դեպքում խնդիրը լուծվում է բավականին պարզ՝ առանց հետազոտելու նախապատրաստվածքի լարվածային վիճակը:

Առանցքային բառեր. հիդրոմամլում, հակաճնշում, փոքր երթանցքներ, լարվածային վիճակ, ծակոտկենություն, չափում չունեցող պարամետրեր:

G.L. PETROSYAN, A.A. BARSEGHYAN, H.G. PETROSYAN

**PECULIARITIES OF DETERMINING THE POROSITY BY A FINE PITCH OF A
HYDROPPRESSED CYLLINDRICAL SINTERED BAR**

An engineering method for determining the porosity value of a sintered cylindrical bar hydroppressed by fine pitches into the conic die is developed. The problem is solved by the formula of deformation theory of porous material plasticity. The nondimensional parameters of hydraulic pressing are used. For different values of backpressure, numerical data are obtained. It is shown that by using fine pitches of hydraulic pressing, the problem is solved quite simply without investigation of the bar stress state.

Keywords: hydraulic pressing, backpressure, fine pitches, deformation theory, stress state, porosity, nondimensional parameters.

Л.А. МУТАФЯН, Р.Е. АВАКЯН, А.Б. БАЛАСАНЯН

**ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ
МАТЕРИАЛА ПРИ ПРЕРЫВИСТОМ РЕЗАНИИ НА КАЧЕСТВО
ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ**

Рассматриваются вопросы протекания пластических деформаций в зоне стружкообразования при прерывистом резании металлов. Разработано специальное приспособление для качественной оценки поверхностного слоя, позволяющее получить объем материала срезаемого слоя и стружки без дополнительного деформирования.

Ключевые слова: прерывистое резание, пластическая деформация, качество поверхности, корень стружки.

Введение. Исследованиям процесса резания металлов посвящено достаточно много работ. Однако, несмотря на то, что отечественными и зарубежными исследователями представлена физическая суть процесса резания металлов, многие вопросы еще требуют детального изучения. Если в исследованиях процесса свободного резания достигнуты определенные успехи, то относительно процессов прерывистого резания, где превалируют явления врезания инструмента с ударами, холостых пробегов с охлаждением, наличие переменности сечения стружки и других факторов, достижения гораздо скромнее. С другой стороны, с учетом наличия значительной доли прерывистого резания в общем объеме резания металлов изучение его основных проблем становится актуальным.

Теоретическое исследование. В процессе прерывистого резания пластическая деформация срезаемого слоя протекает в чрезвычайно сложных условиях. Так, например, в случае фрезерования плоскостей цилиндрической фрезой при отсутствии упругих отжатию обрабатываемого материала, стола станка и оправки траектория зуба фрезы изобразилась бы кривой PP_2 , а линия среза – прямой XX (рис. 1а). Однако под действием силы резания оправка, стол станка и заготовка отжимаются. Возникаемые упругие отжатия по мере увеличения площади срезаемого слоя все больше возрастают и к моменту выхода зуба из заготовки достигают своего максимального значения. При этом относительная траектория зуба фрезы уже изобразится кривой PP_1 . Следующий зуб начинает врезаться в материал уже в точке q ($pq = S_z$) и соответственно выйдет из него в точке q_1 . Траектория второго зуба изобразится qq_1 , эквидистанта - кривой PP_1 . Однако в случае, когда количество одновременно участвующих в работе зубьев больше одного, картина полностью меняется. При этом (установившемся процессе) зуб уже входит в материал не при нулевом, а при каком-то отжатии PP' , что и определяется

положением предыдущего зуба. Траектория зуба изобразится кривой $P'P_1$, а линия среза - $X'X'$ (рис. 1а). Не принимая во внимание упругие свойства обрабатываемого материала, нельзя выявить многие вопросы процесса фрезерования. Так, например, на протяжении участка ab резание не происходит (см. рис. 1б) вследствие упругих отжатию обрабатываемого материала, производимых зубом фрезы. По мере передвижения зуба на участке bb' , помимо упругих, появляются также пластические деформации. Затем с какой-то точки b' начинается процесс резания. Траектория зуба, благодаря упругому отсеснению обрабатываемого материала, изобразится кривой $abb'm_1$ вместо am_2 . На участке ab , пока толщина срезаемого слоя меньше радиуса округления лезвия зуба фрезы, резание не происходит, поверхностный слой материала по мере передвижения зуба из-за упругих отсеснений перемещается вверх. В случае, когда напряжение на контакте превышает $H \approx c\sigma_T$ (H - твердость материала, c - коэффициент упрочнения, σ_T - предел текучести), упругое отсеснение постепенно переходит к пластическому, которое будет происходить до тех пор, пока слой материала не затормозится относительно внедряющего материала.

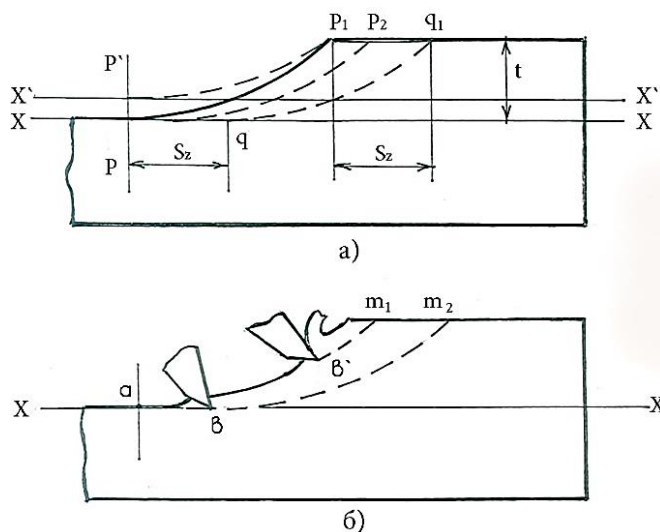


Рис. 1. Влияние упругих отжатию на процесс фрезерования

Указанные условия работы инструмента, переменность толщины и ширины срезаемого слоя материала, вызывающая переменное значение сил, моментов и мощности, должны своеобразно влиять на процесс пластического деформирования срезаемого слоя материала.

Пластическая деформация под воздействием высоких гидростатических давлений, температур и интенсивного охлаждения приводит к структурным измене-

ниям, наклепу поверхностного слоя, оказывающих существенное влияние на эксплуатационные свойства деталей машин.

Постановка вопроса. Физическое состояние поверхностного слоя металла можно количественно и качественно оценить металлографическими снимками, которые в увеличенном масштабе дают картину внутренних сдвигов и разрушений пластически деформированного материала, раскрывая механизм образования новых поверхностей, наростов и трещин. Металлографические исследования дают полную информацию для выявления общих закономерностей протекания пластических деформаций в зоне стружкообразования [1,2]. При этом объектом съемки является объем материала срезаемого слоя и стружки, прилегающей к лезвию режущего инструмента, получивший название “корень стружки”. Для получения корня стружки необходимо с помощью специального приспособления прекратить процесс резания. При этом такие приспособления должны обеспечить прекращение процесса резания без нарушения картины деформации в корне стружки. Последнее достигается за счет отбрасывания инструмента со скоростью, превышающей скорость резания, по траектории, обеспечивающей отсутствие взаимодействия режущего инструмента со стружкой и обрабатываемой поверхностью заготовки, после прекращения процесса резания. Для некоторых видов обработки (особенно при цилиндрическом фрезеровании) в настоящее время не существует приспособлений для получения корня стружки, не приводящих к нарушению картины деформации в корне стружки. Недостатком известных способов получения корня стружки [3] является то, что при выключении главного движения инструмент с зафиксированной стружкой находится в контакте с заготовкой. Вследствие этого заготовка и детали приспособления из состояния покоя начинают ускоренно вращаться до скорости вращения инструмента. При этом корень стружки испытывает дополнительное действие силы инерции и подвергается дополнительной деформации, что приводит к искажению действительной картины зоны стружкообразования.

Хотя известная конструкция приспособления для получения корня стружки при фрезеровании [4] характеризуется достаточной точностью, к сожалению, ее фиксация возможна только при определенном взаимном расположении зуба фрезы и заготовки. Для их иного расположения требуется изменение траектории дополнительным движением образца относительно фрезы. Это существенно усложняет конструкцию приспособления, требует его частых трудоемких переналадок и не позволяет получение корня стружки для всех одновременно режущих зубьев фрезы.

Результаты. Нами разработана конструкция приспособления для получения корня стружки, обеспечивающая его получение при дисковом и цилиндрическом фрезеровании без нарушения картины зоны пластического деформирования.

Скорость их вращения выбирают из условия

$$V_f > R_f \left[\arccos \left(\frac{R_f^2 + a^2 - R_0^2}{2aR_f} \right) - \arccos \left(\frac{(R_f - r)^2 + a^2 - R_0^2}{2a(R_f - r)} \right) + \right. \\ \left. + r/(R_f - r) \right],$$

r – радиус стружки [5].

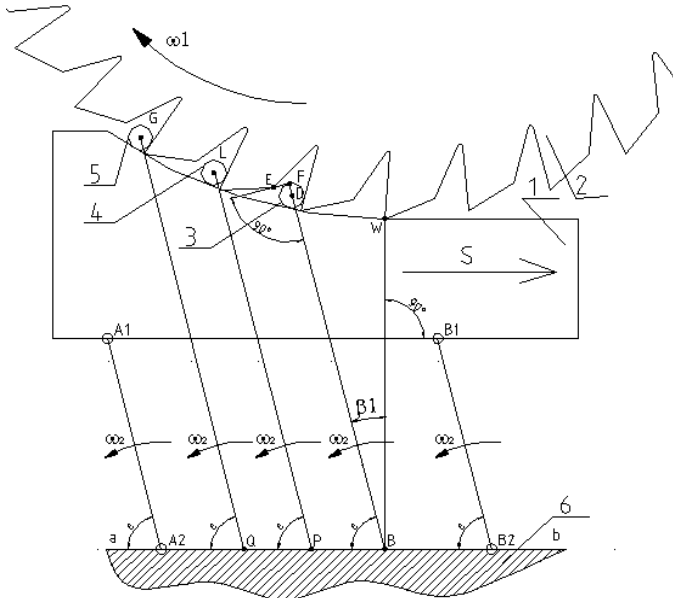


Рис. 2. Схема устройства с четырехзвенным шарнирным механизмом

На рис. 2 представлена схема устройства для получения корня стружки с применением четырехзвенного шарнирного механизма, где $A_1 A_2$, $A_1 B_1$ и $B_1 B_2$ - подвижные звенья четырехзвенного механизма, а 6 – неподвижное звено.

При этом $A_1 A_2 = B_1 B_2$, которые имеют возможность вращения вокруг соответствующих осей A_2 и B_2 , а звено $A_1 B_1$ совершает плоскопараллельное движение с круговой траекторией всех ее точек, что позволяет практически реализовать процесс получения корня стружки.

На рис. 3 представлен металлографический снимок корня стружки и его шлифов, полученный вышеизложенным методом.

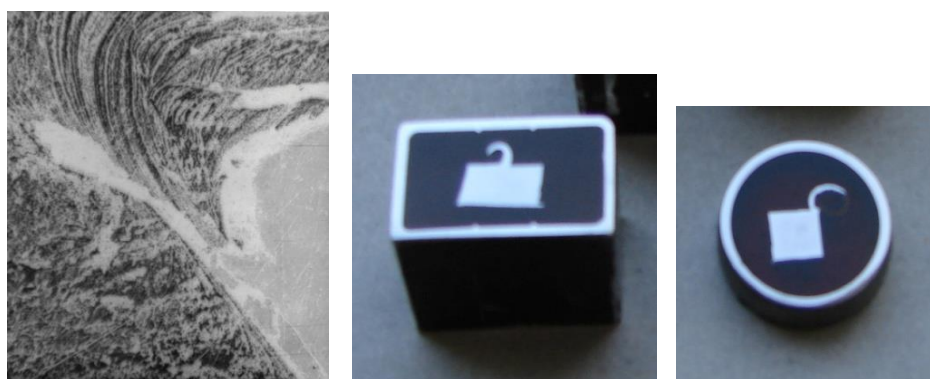


Рис. 3. Корень стружки, полученный описанным методом

Заключение. Результаты исследования показывают, что разработанная конструкция приспособления обеспечивает возможность фиксации корня стружки без его дополнительного деформирования при скорости вращения центра стружки, превышающей в 1,12 раза скорость вращения ее вершины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грановский Г.И., Грановский В.Г. Резание металлов.-М.: Высшая школа, 1985. – 304 с.
2. Ташлицкий Н.И. Особенности изнашивания твердосплавного инструмента при прерывистом резании // Вестник машиностроения. – 2005. - № 7 – С. 55-56.
3. А.с. СССР №439354, кл. B231349/00.- 1973.
4. А.с. СССР №629016, кл. B23C9/00.- 1977.
5. А.с. РА №2475.- 2011.

ГИУА (ПОЛИТЕХНИК). Материал поступил в редакцию 11.05.2014.

Լ.Հ. ՄՈՒԹԱՖՅԱՆ, Ռ.Ե. ԱՎԱԳՅԱՆ, Ա.Բ. ԲԱԼԱՍԱՆՅԱՆ

**ՄՇԱԿՎԱԾ ՄԱԿԵՐԵՎՈՒՅԹԻ ՈՐԱԿԻ ՎՐԱ ՊԼԱՍՏԻԿ ԴԵՖՈՐՄԱՑԻԱՅԻ
ԱԶԴԵՑՈՒԹՅԱՆ ԱՌԱՆՁՆԱՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ ԸՆԴՀԱՏ ԿՏՐՄԱՆ ԴԵՊՔՈՒՄ**

Դիտարկված են ընդհատ կտրման գործընթացում տաշեղագոյացման գոտում պլաստիկ դեֆորմացիայի ընթացքի առանձնահատկությունները: Մշակված մակերևույթի որակի ճշգրիտ գնահատման եղանակներից մեկը տաշեղի արմատի ստացումն է՝ առանց լրացուցիչ դեֆորմացման:

Առանցքային բառեր. ընդհատ կտրում, պլաստիկ դեֆորմացիա, մակերևույթի որակ, տաշեղի արմատ:

L.H. MUTAFYAN, R.E. AVAGYAN, A.B. BALASANYAN

**THE INFLUENCE PECULIARITIES OF PLASTIC DEFORMATION OF A
MATERIAL ON THE MACHINED SURFACE QUALITY AT INTERRUPTED
CUTTING**

Issues concerning the behavior of plastic deformations in the area of chip formation at interrupted metal cutting are considered. For a qualitative evaluation of the surface layer, it is necessary to obtain the volume of the material of the cut layer and chip without its additional deformation that provides a special device developed by the authors.

Keywords: interrupted cutting, plastic deformation, surface quality, root of the chip.

А.О. АБОЯН

**РЕНТГЕНОИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ
ДИСЛОКАЦИЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ НАПРАВЛЕНИЯ ПАДЕНИЯ
ПЕРВИЧНОГО ПУЧКА В КРАТНЫХ ИНТЕРФЕРОМЕТРАХ**

Топографическим и интерферометрическим методами исследовано изображение дислокаций в зависимости от направления падения первичного пучка от семейства и ориентации отражающих плоскостей. Теоретическими расчетами подтверждены экспериментальные результаты. Показано, что периоды муаровых картин, созданных дислокацией, зависят от направления падения первичного пучка.

Ключевые слова: топографические и интерферометрические картины, кристалл кремния, трехкристальный двукратный интерферометр, дислокация, муаровые картины, полосы сегрегации.

Введение. Как известно [1-4], рентгеновские интерферометры чрезвычайно чувствительны к структурным ориентационным нарушениям в кристаллах. Однако однозначная интерпретация рентгеноинтерферометрических изображений структурных несовершенств в кристаллах в общем случае представляет собой довольно сложную задачу. Сложность расшифровки этих картин обусловлена не только тем, что они сильно зависят от условий эксперимента, а именно – спектрального состава, коллимации первичного излучения и параметров интерферометра, но и тем, что высокая чувствительность рентгеноинтерферометрических приборов способствует тому, что даже ничтожные деформации различного рода и ориентационные изменения кристаллических решеток приводят к заметным изменениям рентгеноинтерферометрических картин. Из-за наложения друг на друга различных элементарных интерференционных картин общая интерференционная картина осложняется.

Необходимо различать топографические изображения несовершенств в кристаллах от рентгеноинтерферометрических картин этих несовершенств.

Топографические картины, позволяющие прямое наблюдение дефектов в кристаллах, являются прямыми изображениями несовершенств, а интерферометрические картины представляют собой интерференционные узоры, вызванные полем деформации нарушений кристаллической решетки; будучи внешне не похожими на области искажений, эти картины дают возможность судить о них. Однако разрешение и чувствительность интерферометрических методов гораздо больше, чем топографических, более того, топографическими методами трудно обнаружить однородные деформации в отдельных кристаллах. С другой

стороны, кроме перечисленных зависимостей, интерферометрические картины несовершенств зависят от того, падает ли первичный пучок со стороны первого или последнего кристалла, и от ориентации данного семейства отражающих плоскостей, что также сильно осложняет однозначную интерпретацию этих картин.

Целью настоящей работы является исследование топографических и интерферометрических изображений дислокаций в зависимости от направления падения первичного пучка в кратных интерферометрах и ориентации отражающих плоскостей кристалла.

Кратность интерферометра, как увидим ниже, определяется числом семейств отражающих плоскостей, принадлежащих одному и тому же комплексу симметрично эквивалентных плоскостей, удобно расположенных (ориентированных) для получения отражений.

1. Экспериментальное исследование изображений несовершенств кристаллов в зависимости от направления падения первичного пучка в кратных интерферометрах. Изображения дислокаций были исследованы в изготовленном из кристаллов кремния трехкристальном ЛЛЛ интерферометре, взаимно перпендикулярные семейства отражающих плоскостей (110) и $(1\bar{1}0)$ которого были ориентированы так, как показано на рис. 1. Исследовано изображение дислокаций в зависимости от направления падения первичного пучка и ориентации отражающих плоскостей. Получены интерферометрические топограммы отражения 220 , когда первичная волна падает на первый (рис. 1а, 2а) и третий кристаллы (рис. 1б, 2б). Получены также интерферометрические топограммы отражением $2\bar{2}0$, когда первичная волна падает на первый (рис. 1в, 2в) и третий кристаллы (рис. 1г, 2г). Для получения интерферометрических топограмм были закрыты (задержаны) все пучки, выходящие из интерферометра, за исключением пучка T (рис. 1а–г).

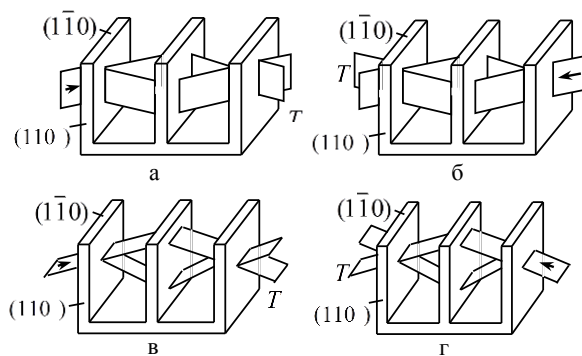


Рис. 1. Трехкристальный двукратный интерферометр: отражение 220 , первичный пучок падает: а – слева, б – справа; отражение $2\bar{2}0$, первичный пучок падает: в – слева, г – справа

Как видно из рис. 2а–г, изображения дислокаций сильно зависят как от направления падения первичного пучка, так и от ориентации отражающих плоскостей. Более того, из этих картин трудно восстановить вид, ориентацию и месторасположение дислокаций. Из рис. 2а, б видно, что дислокации создали как дилатационные, так и ротационные искажения относительно плоскости (110), а изображения на рис. 2в и г показали, что они создали очень сложную деформационную картину относительно плоскости $(1\bar{1}0)$.

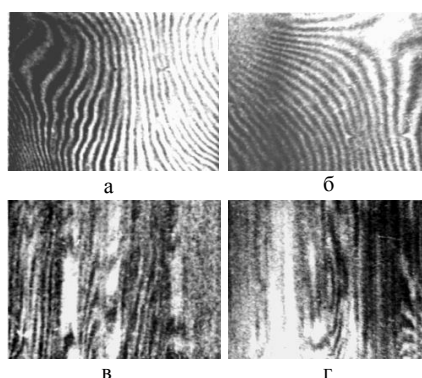


Рис. 2. Интерферометрические топограммы отражения 220 и $(2\bar{2}0)$:
отражение 220 , первичный пучок падает: а – слева, б – справа; отражение $(2\bar{2}0)$,
первичный пучок падает: в – слева, г – справа

Для определения вида и места нахождения дислокаций нами использован простой топографический метод. С целью выяснения, в каком блоке расположены дислокации, и определения их вида нами получены топограммы после первого, второго и третьего кристаллов. В случае, когда первичная волна падает на первый кристалл, предварительно закрыв (задержав) ее после прохождения через первый кристалл, получены топограммы после первого, второго и третьего кристаллов; когда первичная волна падала на третий кристалл, предварительно закрыв ее после прохождения через третий кристалл, получены топограммы после третьего, второго и первого кристаллов (рис. 3а, 4а).

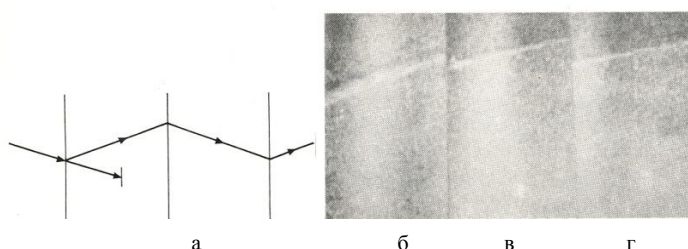


Рис. 3. Изображение дислокации, полученной отражением 220 (а – первичный пучок падает на первый кристалл): б, в и г – после первого, второго и третьего кристаллов соответственно

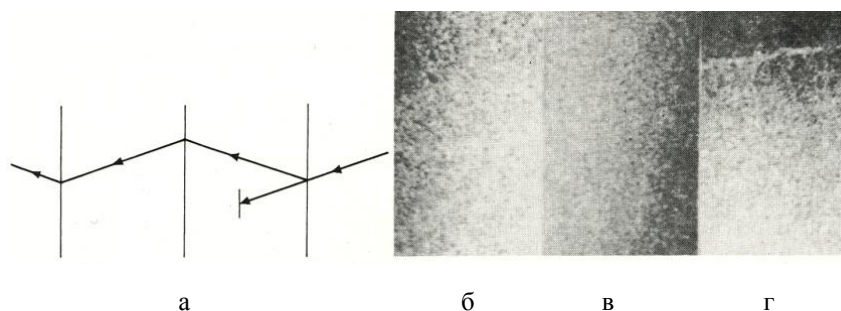


Рис. 4. Изображение дислокации, полученной отражением 220 (а - первичный пучок падает со стороны третьего кристалла): б, в и г - после третьего, второго и первого кристаллов соответственно

Эти топограммы, приведенные на рис. 3б – г и рис. 4б – г, показывают, что когда первичная волна падает на первый кристалл, то изображение дислокаций получается как после первого, так и после второго и третьего кристаллов (рис. 3б – г), а когда падает на третий кристалл, то изображение дислокаций получается только после первого кристалла (рис. 4б – г). Таким образом, можем считать однозначно доказанным, что в нашем интерферометре есть только одна дислокационная линия, и то она расположена в первом кристалле (в первом блоке).

Неинтерферометрические топограммы были получены и с помощью плоскостей $(1\bar{1}0)$. В этом случае как на интерферометрических (рис. 2в, г), так и на неинтерферометрических топограммах картины осложняются тем, что на изображение дислокаций налагаются линии сегрегации (рис. 2в, г; 5б – г; 6б – г).

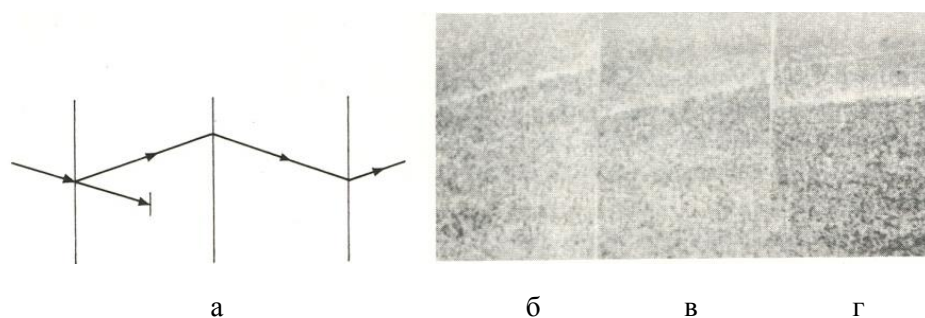


Рис. 5. Изображение дислокации, полученной отражением $2\bar{2}0$ (а - первичный пучок падает со стороны первого кристалла): б, в и г – после первого, второго и третьего кристаллов соответственно

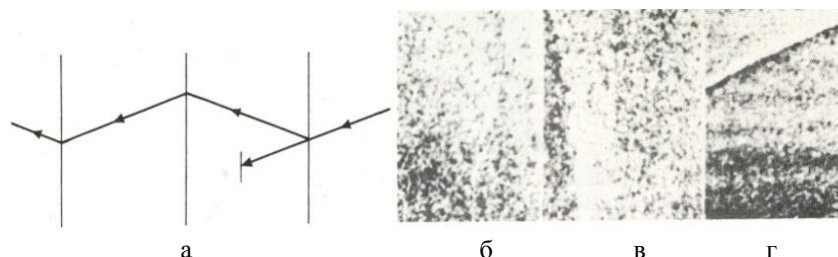


Рис. 6. Изображение дислокации, полученной отражением $2\bar{2}0$ (а - первичный пучок падает со стороны третьего кристалла): б, в и г – после третьего, второго и первого кристаллов соответственно

Для дальнейшего обсуждения вопроса полезно учесть следующие факторы [5-9]:

- контраст (видимость) дислокационной линии сильно зависит от ориентации вектора Бюргерса относительно отражающих плоскостей: дислокация дает максимальный контраст, когда вектор Бюргерса перпендикулярен отражающим плоскостям, и она невидима, когда этот вектор параллелен отражающим плоскостям;
- контраст полос сегрегации зависит от ориентации отражающих плоскостей относительно оси роста кристалла: они наблюдаются с максимальным контрастом, когда дифракционный вектор параллелен оси роста кристалла; когда же дифракционный вектор перпендикулярен оси роста, то полосы сегрегации невидимы;
- когда в сегрегированных областях кристалла одновременно имеются и выделения, то полосы сегрегации наблюдаются независимо от величины угла между дифракционным вектором и осью роста кристалла.

Как видно из рис. 2а - г, интерференционные картины, полученные от плоскостей (110) и $(1\bar{1}0)$ во втором порядке отражения, зависят от того, падает ли первичная волна на первый или третий кристалл. Казалось бы, при симметричных Лауэ-отражениях интерферометрическая картина не должна зависеть от падения первичной волны на первый или третий кристалл, так как в обоих случаях облучаются одни и те же места кристаллов интерферометра, однако при наличии дефектов в блоках интерферометра происходит смещение дифрагированных пучков, зависящих от направления падения первичной волны. В таких случаях интерференционная картина зависит от направления падения, как это показано экспериментально на рис. 2а – г. В этом легко убедиться при помощи графического способа исследования расположения волновых векторов в обратном пространстве.

2. Теоретическое (графическое) исследование зависимости изображения несовершенств кристаллов от направления первичного пучка. Рассмотрим двухкристальный ЛЛ интерферометр с симметричными отражениями, межплос-

Покажем, что в таком интерферометре при обращении направления первичного пучка, т.е. в зависимости от того, падает ли первичный пучок на первый кристалл (рис. 7 слева) или второй (рис. 7 справа), для периодов муаровых картин получаем разные значения, причем если $d_1 > d_2$, то при падении первичного пучка со стороны первого кристалла периоды муаровых полос Δ_1 получаются меньше, чем при падении со стороны второго кристалла Δ_2 .

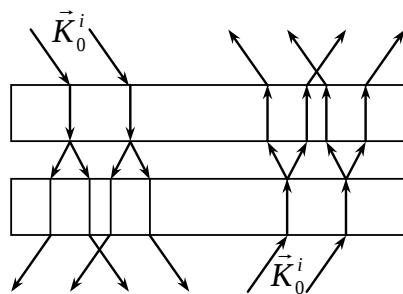


Рис. 8. Расположение волновых векторов в двухкристальном интерферометре в случае $d_1 > d_2$ при падении первичного пучка: а – со стороны первого кристалла, б – со стороны второго кристалла

Этот важный результат, впервые полученный нами, дает возможность найти знак разности $d_1 - d_2 = \Delta d$, измерив Δ_1 и Δ_2 , и, следовательно, величину и месторасположение дилатационного искажения.

Перейдем к доказательству этого положения. Допустим, что первичная волна с волновым вектором $\vec{K}_0^{1i}$ падает со стороны первого кристалла под точным углом Брэгга на отражающие плоскости первого кристалла (см. рис. 8а и 11).

Тогда из первого кристалла выходят волны с волновыми векторами $\vec{K}_0^{1t}$ и $\vec{K}_h^{1t}$, которые отчасти налагаются друг на друга на входной поверхности второго кристалла. Однако, так как межплоскостные расстояния отражающих плоскостей второго кристалла отличаются от межплоскостных расстояний первого кристалла, то волны с волновыми векторами $\vec{K}_0^{1t}$ и $\vec{K}_h^{1t}$ падают на отражающие плоскости второго кристалла под углами скольжения, отличающимися от точного угла Брэгга отражающих плоскостей второго кристалла. В рассматриваемом случае из второго кристалла в направлении падения выходят волны с волновыми векторами $\vec{K}_{00}^{1t}$ и $\vec{K}_{hh}^{1t}$, а в направлении отражения – волны с волновыми векторами $\vec{K}_{0h}^{1t}$ и $\vec{K}_{h0}^{1t}$.

Таким образом, для периода муаровых картин, когда первичная волна падает со стороны первого кристалла, получим

$$\Delta_2 = \frac{\cos \theta_2}{\Delta H}. \quad (1)$$

Действительно, как видно из рис. 8а и 12, в этом случае период муаровых полос равен

$$\Delta_2 = \frac{1}{|\vec{K}_{h0}^{1t} - \vec{K}_{0h}^{1t}|} = \frac{1}{|\vec{K}_{00}^{1t} - \vec{K}_{hh}^{1t}|},$$

что с помощью рис. 12 можно привести к виду

$$\Delta_2 = \frac{1}{EF} = \frac{\cos \theta_2}{AB} = \frac{\cos \theta_2}{\Delta H},$$

где

$$\Delta H = H_2 O_2 - H_1 O_1.$$

Теперь допустим, что первичная волна $\vec{K}_0^{2i}$ падает со стороны второго кристалла под точным углом Брэгга. Тогда из второго кристалла выходят волны с волновыми векторами $\vec{K}_0^{2t}$ и $\vec{K}_h^{2t}$, которые падают на отражающие плоскости первого кристалла под углами скольжения, отличающимися от точного угла Брэгга отражающих плоскостей первого кристалла (см. рис. 8б). В этом случае из первого кристалла выходят в направлении падения волны с волновыми векторами $\vec{K}_{00}^{2t}$ и $\vec{K}_{hh}^{2t}$, а в направлении отражения – волны с волновыми векторами $\vec{K}_{h0}^{2t}$ и $\vec{K}_{h0}^{2t}$. Таким образом, когда первичная волна падает на двухкристальный интерферометр со стороны второго кристалла, для периода муаровых картин получаем (см. рис. 12)

$$\Delta_1 = \frac{\cos \theta_1}{\Delta H}. \quad (2)$$

Как видно из (1) и (2), при разных межплоскостных расстояниях отражающих плоскостей первого и второго кристаллов двухкристального интерферометра период муаровых картин, полученных от этого интерферометра, действительно зависит от направления падения первичной волны, т.е. от того, какое из межплоскостных расстояний этих двух кристаллов больше.

На рис. 9 показано расположение волновых векторов для случая, когда точки O_1 и O_2 обратных решеток первого и второго кристаллов совпадают друг с другом. Как видно из этого рисунка, и в этом случае для Δ_1 и Δ_2 получаются значения (1) и (2).

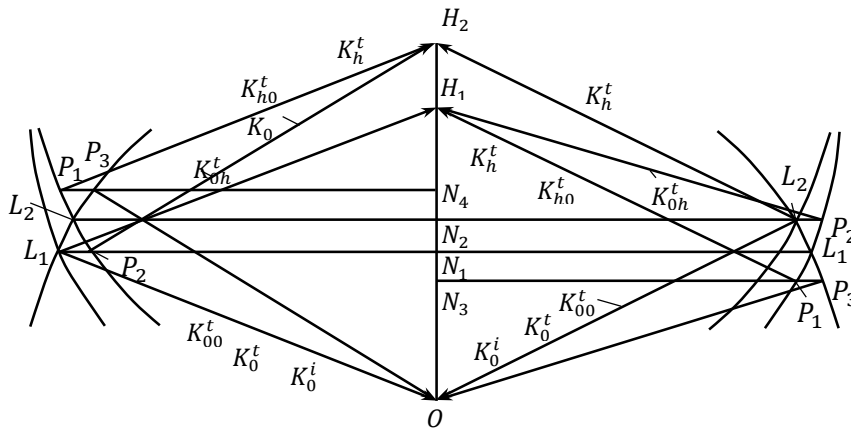


Рис. 9. Расположение волновых векторов для случая, когда точки O_1 и O_2 обратных решеток первого и второго кристаллов совпадают друг с другом

Теперь перейдем к рассмотрению трехкристального интерферометра. Исследуем случаи, когда:

а) межплоскостные расстояния первого и второго кристаллов одинаковы, а расстояние третьего кристалла – отличается от них: $d_1 = d_2 \neq d_3$;

б) межплоскостные расстояния второго и третьего кристаллов одинаковы, а расстояние первого кристалла – отличается от них: $d_1 \neq d_2 = d_3$;

в) межплоскостные расстояния первого и третьего кристаллов одинаковы, а расстояние второго кристалла – отличается от них: $d_1 = d_3 \neq d_2$.

Нетрудно убедиться в том, что случаи “а” и “б” соответствуют двухкристальному интерферометру, когда межплоскостные расстояния отражающих плоскостей его первого и второго кристаллов отличаются друг от друга, причем если случай “а” соответствует тому, что первичная волна падает со стороны первого кристалла, то случай “б” соответствует падению первичной волны со стороны второго кристалла. Можно показать, что и в случаях “а” и “б” двухкристального интерферометра период муаровых картин зависит от того, падает ли первичная волна со стороны первого или третьего кристалла (см. рис. 10). На рис. 10а показан случай, когда межплоскостные расстояния отражающих плоскостей первого и второго кристаллов одинаковы, а расстояние третьего кристалла – меньше их: $d_1 = d_2 > d_3$, а на рис. 11 – расположение волновых векторов волн, дифрагированных в трехкристальном интерферометре. Как видно из этих рисунков, когда на первый кристалл точно под углом Брэгга падает волна с волновым вектором $\vec{K}_0^i$, то из этого кристалла выходят волны с волновыми векторами $\vec{K}_0^t$ и $\vec{K}_h^t$, которые под точным углом Брэгга падают на второй кристалл, откуда также под углом Брэгга выходят волны с волновыми векторами $\vec{K}_{0h}^t$ и $\vec{K}_{hh}^t$, налагающиеся друг на друга на входной поверхности третьего кристалла, из которого выходят волны с волновыми векторами $\vec{K}_{0hh}^t$, $\vec{K}_{hh0}^t$, $\vec{K}_{hhh}^t$ и $\vec{K}_{0h0}^t$. Так как межплоскостные расстояния третьего кристалла отличаются от межплоскостных расстояний первого и второго кристаллов, то волны $\vec{K}_{0h}^t$ и $\vec{K}_{hh}^t$ падают на отражающие плоскости третьего кристалла под углами, отличающимися от точного угла Брэгга этих плоскостей.

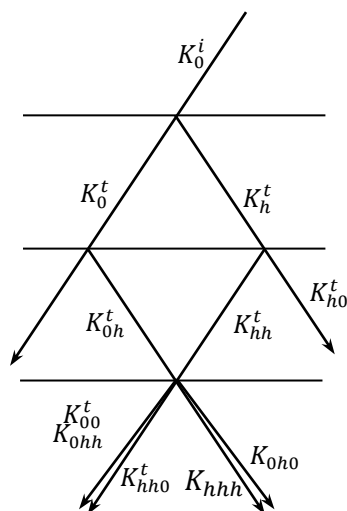
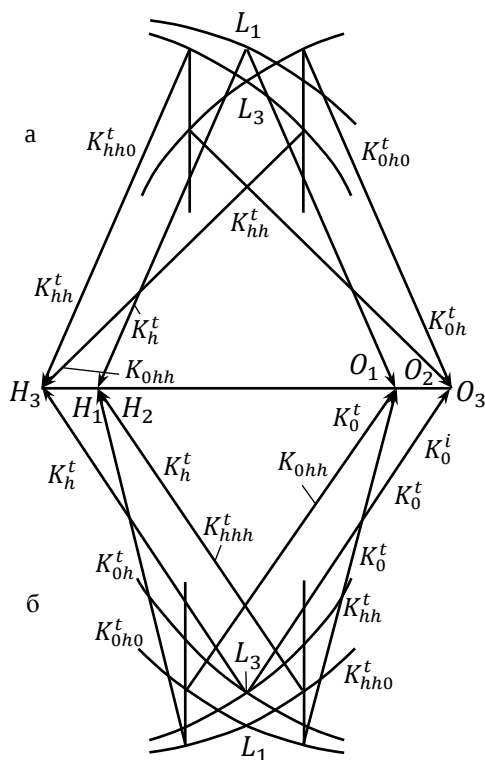


Рис. 10. Расположение волновых векторов в трехкристальном интерферометре в случае $d_1 = d_2 > d_3$ при падении первичного пучка: а – со стороны первого кристалла, б – со стороны третьего кристалла

Рис. 11. Расположение волновых векторов в трехкристальном интерферометре в случае $d_2 = d_3 > d_1$

В результате волновые векторы $\vec{K}_{0hh}^t$ и $\vec{K}_{hh0}^t$ несколько отличаются направлениями, что приводит к возникновению муаровых картин. Аналогичная картина возникает между волновыми векторами $\vec{K}_{0h0}^t$ и $\vec{K}_{hhh}^t$.

На рис. 10б показан случай, когда межплоскостные расстояния второго и третьего кристаллов одинаковы, а расстояние первого – меньше их: $d_1 < d_2 = d_3$.

Нетрудно убедиться в том, что рассматриваемый случай соответствует случаю “а”, когда первичная волна падает со стороны третьего кристалла (рис. 10б). Поэтому здесь мы рассмотрим геометрию, когда первичная волна в случае “а” падает со стороны третьего кристалла. Расположение волновых векторов для этого случая показано на рис. 10б. Как видно, при геометрии $d_1 < d_2 = d_3$ период муаровых полос больше, чем при $d_1 = d_2 > d_3$. Действительно, как видно

Теперь перейдем к исследованию случая “в”: $d_1 = d_3 > d_2$. Расположение волновых векторов для этого случая показано на рис. 13. Это симметричный случай, когда отражающие плоскости крайних (первого и третьего) кристаллов имеют одинаковые межплоскостные расстояния, которые отличаются от межплоскостного расстояния среднего (второго) кристалла. Здесь под точным углом Брэгга на первый кристалл падает первичная волна $\vec{K}_0^i$, а выходящие из этого кристалла волны $\vec{K}_0^t$ и $\vec{K}_h^t$ падают на второй кристалл под углами, отличающимися от точного угла Брэгга. Волны с волновыми векторами $\vec{K}_{0h}^t$ и $\vec{K}_{hh}^t$, выходящие из второго кристалла, падают на третий кристалл не под точным углом Брэгга, поэтому углы между волновыми векторами $\vec{K}_{hh0}^t$ и $\vec{K}_{0hh}^t$, а также между $\vec{K}_{0h0}^t$ и $\vec{K}_{hhh}^t$ гораздо больше, чем в случаях “а” и “б”, т.е. в

рассматриваемом случае периоды муаровых картин не зависят от направления падения первичной волны (рис. 13). Из рис. 13 видно, что в случае “в” независимо от того, первичная волна падает со стороны первого или третьего кристалла, для периодов муаровых картин получаем

$$\Delta_{\varepsilon} = \frac{1}{|\vec{K}_{0hh}^t - \vec{K}_{hh0}^t|} = \frac{1}{|\vec{K}_{0h0}^t - \vec{K}_{hhh}^t|}.$$

Таким образом, приходим к следующим важным выводам:

1. В двухкристалльных интерферометрах, когда межплоскостные расстояния отражающих плоскостей первого и второго кристаллов отличаются друг от друга, период муаровых картин зависит от того, падает ли первичная волна со стороны первого или последнего кристалла.

2. В трехкристалльных интерферометрах, когда межплоскостные расстояния отражающих плоскостей первых двух (первого и третьего) кристаллов одинаковы, но отличаются от межплоскостных расстояний оставшегося (третьего или первого) кристалла, период муаровых картин зависит от того, падает ли первичная волна со стороны первого или третьего кристалла.

3. В трехкристалльных интерферометрах, в которых межплоскостные расстояния первого и третьего кристаллов одинаковы, но межплоскостные расстояния второго кристалла отличаются от них, период муаровых картин не зависит от того, падает ли первичная волна со стороны первого или третьего кристалла.

4. Изменения периодов муаровых картин, указанные в пунктах “а” и “б”, имеют следующий характер: в случае, когда первичная волна падает на интерферометр со стороны кристалла, межплоскостное расстояние отражающих плоскостей которого больше, чем межплоскостное расстояние выходного кристалла, периоды муаровых картин получаются меньше, чем в случае, когда первичная волна падает со стороны кристалла с меньшим межплоскостным расстоянием.

5. Как видно из рис. 2а - г, линии сегрегации отражением от плоскости (110) не получают, а от плоскости $(1\bar{1}0)$ - получают, следовательно, во-первых, дифракционный вектор $2\bar{2}0$ отражения параллелен оси роста кристалла, а дифракционный вектор отражения 220 - перпендикулярен этой оси; во-вторых, в кристаллах интерферометра в областях сегрегации выделения отсутствуют.

6. Как видно из рис. 2а и б (см. пункт 4), когда первичная волна падает на интерферометр со стороны кристалла, межплоскостные расстояния которого больше, периоды муаровых картин уменьшаются, а когда первичный пучок падает со стороны кристалла с меньшим межплоскостным расстоянием, то периоды муаровых картин увеличиваются, что находится в согласии с теоретическими данными.

Исходя из вышеизложенного, предложен метод определения знака и месторасположения дилатационных нарушений в рентгеноинтерферометрических системах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Bons U., Hart M.** // Appl. Phys. Letters. -1965. - V. 6. –P. 155 -156.
2. **Абоян А.О.** // Известия НАН Армении. Физика. – 2012. – Т. 47.- С. 56 -63.
3. **Aboyan A.O.** // Proceedings of Engineering Academy of Armenia.-2010.–V.7.- P. 503-507.
4. **Абоян А.О., Дрмеян Г.Р.** Вестник Инженерной академии Армении. – 2009.- Т. 6, N2.- С. 269-277.
5. **Schwuttke G.H.** // J. Appl. Phys.-1962.- V. 33.- P. 2760 – 2768.
6. **Schwuttke G.H.** // J. Electrochem. Soc. – 1962. - V. 109.- P. 27- 35.
7. **Schwuttke G.H.** // J. Electrochem. Soc.-1961.- V. 108.- P. 163-170.
8. **Struthers J.D.** // J. Appl. Phys.-1956.- V. 97.- P. 1560 -1564.
9. **Spitzer W.G., Trumbore F.A., Logan R.A.** // J. Appl. Phys.-1961.- V. 32.- P.1822 –1828.

ГИУА (ПОЛИТЕХНИК). Материал поступил в редакцию 05.05.2014.

Ա.Ն. ԱԲՅԱՆ

ԴԻՍԼՈԿԱՑԻԱՆԵՐԻ ՌԵԼՏԳԵԼԱԲԻՏԵՐՖԵՐԱԶԱՓԱԿԱՆ ՊԱՏԿԵՐՈՒ ԿԱԽՎԱԾ ԲԱԶՄԱՊԱՏԻԿ ԻՆՏԵՐՖԵՐԱԶԱՓՆԵՐՈՒՄ ԱՌԱՋՆԱՑԻՆ ՓՆՋԻ ԱՆԿՄԱՆ ՈՒՂՂՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐ

Տեղագրական և ինտերֆերաչափական մեթոդներով հետազոտվել է դիսլոկացիաների պատկերի կախվածությունն առաջնային փնջի անկման ուղղությունից, անդրադարձնող հարթությունների ընտանիքից և կողմնորոշումից: Տեսական հաշվարկներով հաստատվել են փորձնական արդյունքները: Ցույց է տրվել, որ դիսլոկացիաներով առաջացրած մուարի պատկերների պարբերությունները կախված են առաջնային փնջի անկման ուղղությունից:

Առանցքային բառեր. տեղագրական և ինտերֆերաչափական պատկերներ, սիլիցիումի բյուրեղ, կրկնակի եռաբյուրեղ ինտերֆերաչափ, դիսլոկացիա, մուարի պատկերներ, սեգրեգացիայի շերտեր:

A.O. ABOYAN

THE X - RAY INTERFEROMETRIC IMAGE OF DISLOCATIONS DEPENDING ON THE DIRECTION OF INCIDENCE OF THE PRIMARY BEAM IN MULTIPLE INTERFEROMETERS

The image of dislocations depending on the direction of the primary beam incidence, and on the family and orientation of the reflecting planes is investigated by topographic and interferometric methods. The obtained experimental results are confirmed by theoretical calculations. It is shown that the periods of Moire patterns created by dislocations, depend on the direction of the primary beam incidence.

Keywords: topographic and interferometric pictures, silicon crystal, double three crystal interferometer, dislocations, moire patterns, segregation lines.

Ա.Կ. ՊՈՂՈՍՅԱՆ, Ա.Ն. ԿԱՐԱՊԵՏՅԱՆ, Կ.Վ. ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ

ՀԱԿԱՇՓԱԿԱՆ ՊՈԼԻՄԵՐԱՅԻՆ ՆՅՈՒԹԵՐԻ ՖԻԶԻԿԱԶԻՄԻԱԿԱՆ
ՁԵՎԱՓՈԽՈՒՄԸ ՀԱՆՔԱՆՑՈՒԹԵՐՈՎ

Պոլիմերների կառուցվածքի ու հատկությունների վրա օրգանական յուղող նյութերի (օրինակ՝ ֆտորալկանի) ազդեցության ուսումնասիրությամբ հաստատված է դրանց՝ որպես հետերոցիկլային պոլիմերների ցածրամոլեկուլային չափամասերի կայունարարների դերը, որոնք պոլիմերների ցանցային կառուցվածքի փոխակերպման արդյունքում նպաստում են նյութերի ջերմակայունության և մաշակայունության բարձրացմանը, ինչպես նաև շփման գործակցի փոքրացմանը:

Առանցքային բառեր. պոլիմեր, հանքային լցանյութ, ֆտորալկան, կոմպոզիտ, ջերմատրոհում, մաշակայունություն, շփման գործակից:

Կոմպոզիտային ինքնայուղվող պոլիմերային նյութերը (ԿԻՊՆ) լայնորեն կիրառվում են ժամանակակից տեխնիկայում՝ օգտագործելով մեքենաների ու սարքերի տարբեր շփահանգույցներում: Առանց յուղման շփման հանգույցներում աշխատող պոլիմերային նյութերի աճող պահանջարկն ու կիրառությունը մեծ նշանակություն ունեն մեքենաների ու սարքերի որակի, հուսալիության և երկարակեցության բարձրացման գործում: Առավելագույն նշանակություն է տրվում հատկապես զարգացած հումքային բազայով և բարձր արտադրողականությամբ պոլիմերային նյութերին, ինչպես նաև ոչ թանկարժեք լցանյութերին [1-4]:

Որպես հետազոտման առարկա ընտրվել են հետևյալ ջերմապլաստիկ հակաշփական պոլիմերային նյութերը՝ ֆորմալդեհիդի և դիօքսոլանի համապոլիմերը (ՖԴՀ), պոլիամիդներ 6-ը (ՊԱ-6) ու 66-ը (ՊԱ-66) և պոլիֆենիլօքսիդը (ՊՖՕ), որոնք արտադրվում են մեծ քանակներով և ունեն լայն կիրառություն մեքենաշինության և սարքաշինության մեջ՝ որպես սահքի առանցքակալներ, ատամնանիվներ և ուղղորդիչներ: Սակայն նշված նյութերի արդյունավետ օգտագործումը սահմանափակվում է դրանց ոչ բավարար ամրության և ջերմաֆիզիկական, ինչպես նաև ցածր շփագիտական հատկություններով՝ հատկապես համեմատաբար բարձր սահքի արագությունների ($V > 1,0$ մ/վ) դեպքում:

Վերը նշված նյութերի հիմքով ԿԻՊՆ ստանալու համար որպես լցանյութեր օգտագործվել են հայկական տարբեր հանքային լցանյութեր՝ տրավերտինը, մարմարը, բենտոնիտը և տուֆը, որոնք նախօրոք ջերմամշակվել և ձևափոխվել էին օրգանական յուղող նյութերով (ՕՅՆ)՝ ֆտոր պարունակող օլիգոմերներով (ֆտորալկանով-ՖԱ), ստեարինաթթվով և վոլգոնատով (նատրիումի ալկանսուլֆատով): Ջերմամշակումը կատարվել է $450...500$ °C ջերմաստիճանում $8...10$ ժամվա ընթացքում:

Հանքային լցանյութերը էժան և լայն տարածում գտած հումք են Հայաստանում, իսկ ֆտորալկանը, ստեարինաթթուն և վոլգոնատը քիմիական ձեռնարկությունների արտադրության թափոններ են: Դիտարկված է կոմպոզիտի մեջ լցանյութերի լցուման երկու հիմնական եղանակ՝ մեկփուլանի (բաղադրամասերը թմբուկի մեջ խառնելով) և երկփուլ (օգտագործելով նախապես ձևափոխված հանքանյութեր): Ձևափոխման համար հանքային լցանյութի փոշին մեկ բոպետում խառնվում է ՕՅՆ-ի, օրինակ՝ ֆտորալկանի հետ շիթային MCTII-5 թրթռաղացի մեջ:

Պոլիմերային կոմպոզիտների ձևավորման ընթացքում նյութերի ցանցային կառուցվածքի առաջացման կինետիկան ուսումնասիրվել է զոլ-գել և ընդարձակաչափական վերլուծությամբ: Որպես լուծիչներ օգտագործվել են հեքսաֆտորացետոն-հիդրատը (ՖՆՀ համար), մրջնաթթուն (պոլիամիդներ 6 և 66 համար), քլորոֆորմը (ՊՖՕ համար): Լցավորված պոլիմերների լուծվող մասի հարաբերական մածուցիկությունը և գել չափամասը որոշվել է լուծիչի 95%-անոց լուծահանման մեթոդով:

Շփագիտական հատկություններն ուսումնասիրվել են լիսեռ-մասնակի ներդիր և ճակատային շփման սխեմաներով, համապատասխանաբար CMI-2 և ИМ-58 շփման մեքենաների վրա: Նշված մեքենաները գրանցում են շփման մոմենտը (գործակիցը), փորձանմուշի գծային մաշումը, ինչպես նաև ջերմաստիճանը շփահպակում: Փորձարկումները կատարվել են 0,1-ից մինչև 2 մ/վ արագության և 0.1-ից մինչև 6 ՄՊա բեռնվածքի պայմաններում: Որպես հակամարմիններ ծառայել են 50 մմ տրամագծով լիսեռը և 22×12 մմ տրամագծով վռանը, որոնք համապատասխանաբար պատրաստված են պողպատ 45-ից և 1X13-ից (HB 150...170)՝ $R_a = 2,5...0,2$ մկմ մակերևութային մաքրությամբ:

Նյութերի դեֆորմացման և ընդարձակաչափական հատկություններն ուսումնասիրվել են ջերմամեխանիկական վերլուծությամբ: Նախնական և ջերմամշակված տրավերտինի՝ որպես օրինակի հիմնական քիմիական կազմը և որոշ բնութագրերը բերված են աղ. 1-ում: Լցանյութերի ֆտորալկանով ձևափոխման մեխանիզմի բացահայտման նպատակով կատարվել են ՖԱ և տրավերտին+ՖԱ խառնուրդի մասսպեկտրաչափական հետազոտություններ:

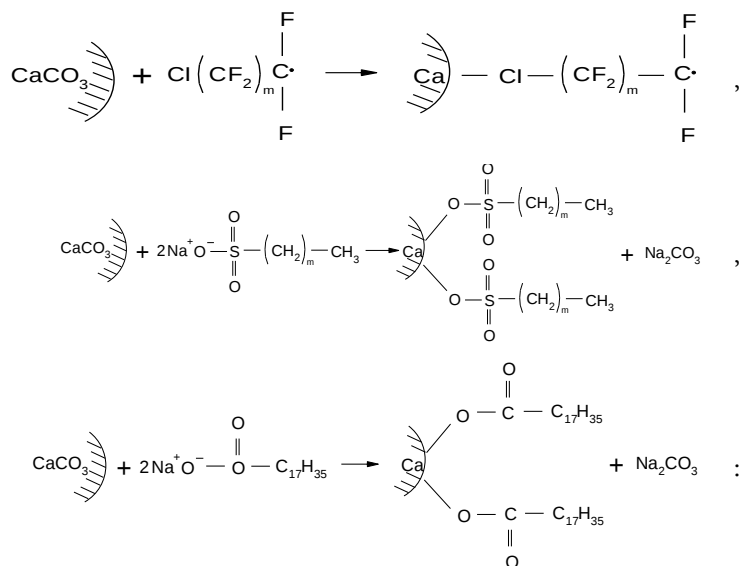
Աղյուսակ 1

Նախնական և ջերմամշակված տրավերտինի քիմիական կազմն ու բնութագրերը

Ցուցանիշ	Տրավերտին	
	Նախնական	Ջերմամշակված
Քիմիական կազմը, %՝ CaO	52,80...54,12	54,86...56,18
CO ₂	42,24...44,26	40,15...42,08
Տեսակարար մակերևույթը, մ ² /գ	740	635
Լիցքային կշիռը, կգ/մ ³	1578	1346
Հատիկայնությունը, մկմ	20...40	25...45

Վերլուծությունը ցույց է տալիս (աղ. 2), որ հանքային լցանյութերի և ֆտորալկանի համատեղ թրթռամանրացման ընթացքում էլեկտրոնների հարվածների տակ ՖԱ-ի կազմալուծումն ընթանում է դրա շղթայի ոչ ամուր C-C կապերով և ակտիվ ռադիկալների առաջացմամբ, իսկ C-F կապի ամրությունն արգելակում է F ատոմի անցումը մի ռադիկալից մյուսը: Արդյունքում՝ առաջանում է հակաշփական նոր նյութ՝ ձևափոխված հայկական հանքային լցանյութ (ՉՀՀԼ)՝ օժտված յուղման լավ հատկություններով, որում պահպանվում է լցանյութերի կառուցվածքը՝ ներարկված ֆտորալկանի շերտով, և որտեղ քլորի ատոմները տեղակայված են հիմնականում դրա ծայրամասերում [5]:

Ստորև ներկայացված են ՖԱ և ջերմամշակված հանքային լցանյութերի փոխազդեցության արդյունքում ստացված կառուցվածքային բանաձևերը.



Նախնական և ջերմամշակված տրավերտինով (տուֆով) ձևափոխված լցանյութերի ջերմաքայքայումը հանգեցնում է ՖԱ իոնների տրոհման ուժգնության համապատասխանաբար 5...8 և 7...13 անգամ նվազմանը, ինչը վկայում է տրավերտինի և ՖԱ համատեղ թրթռամանրացման ընթացքում փոխազդեցության մասին: Մասնիկների ջերմաքայքայման վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ ամենաշատ քլոր պարունակող մասնիկները $(\text{CF}_2)_m\text{Cl}^+$ իոններն են, որտեղ $m=1...4$:

Ֆտորալկանի և ձևափոխված հայկական հանքային լցանյութերի ջերմատրոհումը

Իոն, m/z	Նյութի կազմը	Արձակման ուժգնությունը, %		
		ՖԱ	Տրավերտին (տուֆ) +ՖԱ	Տրավերտին (տուֆ) +ՖԱ (ՖԱ լվացումից հետո)
31	CF	0,83	0,56 (0,65)/0,45 (0,58)	0,08 (0,09)/0,062 (0,072)
50	CF ₂	0,9	0,42 (0,48)/0,35 (0,40)	0,06 (0,07)/0,038 (0,05)
51	CF ₂ H	4,8	0,82 (0,93)/0,68 (0,76)	0,16 (0,17)/0,12 (0,152)
85	(CF ₂)CI	5,9	1,20 (1,26)/1,02 (1,05)	0,84 (0,90)/0,53 (0,690)
87	(CF ₂)CI	4,8	0,80 (0,84)/0,62 (0,68)	0,66 (0,72)/0,57 (0,062)
100	(CF ₂) ₂	4,8	0,64 (0,70)/0,44 (0,57)	0,12 (0,13)/0,08 (0,103)
101	(CF ₂)H	2,0	0,24 (0,29)/0,16 (0,22)	0,04 (0,05)/0,02 (0,030)
119	(CF ₂)F	4,8	0,86 (0,92)/0,58 (0,75)	0,15 (0,16)/0,09(0,141)
131	(CF ₂)CF	4,8	0,98 (1,05)/0,70 (0,88)	0,31 (0,38)/0,22 (0,352)
135	(CF ₂)CI	3,6	0,51 (0,56)/0,32 (0,41)	0,34 (0,39)/0,23 (0,363)
137	(CF ₂)CI	2,8	0,43 (0,51)/0,20 (0,34)	0,27 (0,35)/0,19 (0,310)
150	(CF ₂) ₃	4,8	0,78 (0,85)/0,52 (0,65)	0,23 (0,28)/0,15 (0,24)
151	(CF ₂) ₃ H	0,3	0,08 (0,09)/0,05 (0,07)	0,02 (0,03)/0,01 (0,02)
185	(CF ₂) ₃ CI	0,9	0,12 (0,13)/0,080 (0,11)	0,08 (0,09)/0,04 (0,07)
187	(CF ₂) ₃ CI	1,1	0,15 (0,16)/0,11 (0,14)	0,10 (0,11)/0,05 (0,08)

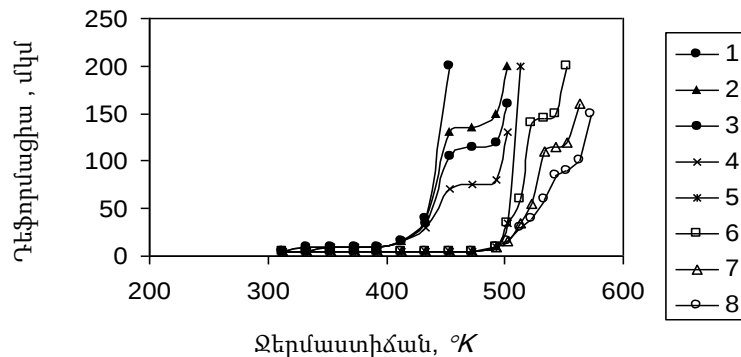
Ծանոթություն. համարիչում նախնական հանքանյութի, իսկ հայտարարում՝ ջերմա-
մշակվածի տվյալներն են:

Շփագիտական փորձարկումների արդյունքները վկայում են ձևափոխված հայկական հանքային լցանյութերի օգտագործման արդյունավետության մասին, ինչը նպաստում է կոմպոզիտների շփման գործակցի զգալի նվազմանը և մաշակայնության բարձրացմանը: Պոլիմերային կոմպոզիտների ձևավորման պրոցեսում նյութերի ցանցային կառուցվածքի առաջացման կինետիկան ուսումնասիրվել է գոլ-գել վերլուծությամբ: Որոշվել են լուծվող մասի հարաբերական մածուցիկությունը և չլուծվող մասի քանակությունը: Նախնական և լցավորված պոլիմերային նմուշների հետազոտումը՝ կախված լցավորման աստիճանից, վկայում է, որ ՁՀՀԼ և հետերոցիկլային պոլիմերների ֆունկցիոնալ խմբերի քիմիական փոխազդեցության արդյունքում կատարվում է ինչպես պոլիմերների մոլեկուլային կշռի ավելացում, այնպես էլ միջմոլեկուլային կապերի առաջացում, ինչը հաստատվում է լուծվող մասի հարաբերական մածուցիկության և չլուծվող մասի պարունակության ավելացմամբ (աղ. 3): Հակաշփական հատկությունները, կախված ՁՀՀԼ լցավորման աստիճանից, կատարվել են CMT-1 շփամեքենայի վրա $P_a = 1,91$ ՄՊա բեռնվածքի, $V = 0,78$ մ/վ արագության և պողպատ 45 (HRC 48-52, $R_a = 1,25$ մկմ) հակամարմնի պարագայում:

Լցավորման քանակի ազդեցությունը պոլիմերների հարաբերական մածուցիկության,
չլուծվող չափամասի և հակաշփական հատկությունների վրա

Կոմպոզիտի կազմը, կշռ. %	Հարաբերական մածուցիկություն, η	Չլուծվող չափամաս, կշռ. %	Գծային մաշման ուժգնություն, $I \cdot 10^{-9}$	Շփման գործակից, <i>f</i>
ՖՂՀ	3,5	0	10,29	0,15
ՖՂՀ + 5% ՉՀՀԼ	5,1	17,8	9,8	0,14
ՖՂՀ + 20% ՉՀՀԼ	5,9	38,6	4,2	0,11
ՖՂՀ + 40% ՉՀՀԼ	6,2	48,7	2,2	0,08
ՊԱ-6	2,8	0	12,2	0,20
ՊԱ -6+ 5% ՉՀՀԼ	4,7	16,2	10,8	0,20
ՊԱ -6+20% ՉՀՀԼ	5,6	36,0	8,0	0,17
ՊԱ -6+40% ՉՀՀԼ	5,9	42,5	5,2	0,14
ՊԱ -66	3,1	0	10,5	0,22
ՊԱ -66+ 5% ՉՀՀԼ	4,9	15,6	10,0	0,22
ՊԱ -66+10% ՉՀՀԼ	5,5	26,0	7,2	0,18
ՊԱ -66+20% ՉՀՀԼ	5,7	34,5	4,8	0,15
ՊՖՕ	4,1	0	15,0	0,28
ՊՖՕ + 5% ՉՀՀԼ	5,9	14,5	14,2	0,25
ՊՖՕ + 20% ՉՀՀԼ	6,5	27,6	9,8	0,20
ՊՖՕ + 30% ՉՀՀԼ	6,8	36,5	5,4	0,16

Պոլիմերային կոմպոզիտների դեֆորմացման հատկությունները նույնպես զգալիորեն կախված են ՉՀՀԼ քանակից: Նախնական նյութերի, օրինակ՝ ՖՂՀ և ՊԱ-6 համար ստացված պոլիմերներին հատուկ ամորֆ-բյուրեղային ջերմամեխանիկական կորերը (նկ.) բնութագրվում են բեռնվածքի տակ հալման բյուրեղային ֆազի առաձգական դեֆորմացումից դեպի մածուցիկ հոսքը տեղաշարժով: Լցավորված նյութերում ցանցային կառուցվածքի առկայությունը պայմանավորվում է բարձր առաձգական դեֆորմացման տիրույթում հորիզոնական հարթակի առկայությամբ, որի դիրքը կախված է ՉՀՀԼ քանակից: Մինչև 5% լցավորման դեպքում ջերմամեխանիկական կորերում ոչ մի փոփոխություն չի նկատվում, 5%-ից բարձրի դեպքում՝ դիտվում է դեֆորմելիության բնույթի փոփոխություն բարձր առաձգական դեֆորմացման տեղաշարժով դեպի բարձր ջերմաստիճանային տիրույթ:



Նկ. Պոլիմերային նյութերի ջերմամեխանիկական կորերը՝ կախված ՀՀՀ պարունակությունից. 1- ՖՀ, 2- ՖՀ+ 5կշռ.%, 3-ՖՀ+20կշռ.%, 4-ՖՀ+40կշռ.%, 5- ՊԱ-6, 6- ՊԱ-6+5կշռ.%, 7- ՊԱ-6+ 20կշռ.%, 8- ՊԱ-6 +30կշռ.%

Այսպիսով, հետերոցիկլային պոլիմերների կառուցվածքի ու հատկությունների վրա օրգանական յուղող նյութերի (օրինակ՝ ֆտորալկանի) ազդեցության ուսումնասիրությամբ հաստատված է, որ դրանք հետերոցիկլային պոլիմերների ցածրամոլեկուլային չափամասերի կայունացնողներ են, որոնք նպաստում են դրանց անցմանը դեպի չլուծվող վիճակ և պոլիմերների ցանցային կառուցվածքի արդյունքում՝ նյութերի ջերմակայունության բարձրացմանը:

Բաղադրամասերը մեկփուլանի եղանակով խառնելու դեպքում ՖԱ հանդես է գալիս հիմնականում որպես հետերոցիկլային պոլիմերների շղթայում կապակցող մասնիկ, ինչպես նաև շփման ձևափոխիչ, նպաստելով փորձանմուշների ջերմակայունության բարձրացմանը՝ նախնական նյութերի հետ համեմատած: Կոմպոզիտում բաղադրամասերի երկփուլ եղանակով լցոնումը, նախապես ձևափոխված հայկական հանքանյութեր օգտագործելիս, նպաստում է հետերոցիկլային պոլիմերների կառուցվածքի և հատկությունների համալիր փոփոխությանը, ինչի արդյունքում բարձրանում է դրանց մաշա- և ջերմակայունությունը, ինչպես նաև նվազում շփման գործակցի արժեքը բարձր ջերմաստիճանային տիրույթում, բարելավվում են նյութերի ամրության բնութագրերը: Հետերոցիկլային պոլիմերների շփագիտական հատկությունների բարելավումը (մաշակայունության բարձրացումը և շփման գործակցի նվազումը) պայմանավորված է նաև ձևափոխված լցանյութերի հատուկ կառուցվածքով, որում ՖԱ ներարկված է շերտ առ շերտ հանքանյութի մակերևույթի վրա, և քլորի ատոմները տեղակայված են հիմնականում դրա ծայրամասերում:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. Трение и износ материалов на основе полимеров / В.А. Белый, А.И. Свириденко и др. - Минск: Наука и техника, 1976.- 431 с.
2. Полимеры в узлах трения машин и механизмов: Справочник / Под ред. А.В. Чичинадзе.- М.: Машиностроение, 1980.- 208 с.
3. **Погосян А.К.** Трение и износ наполненных полимерных материалов. – М.: Наука, 1977.- 138 с.
4. **Ениколопян Н.С., Вольфсон С.А.** Химия и технология полиформальдегида.- М.: Химия, 1968.- 279 с.
5. **Պողոսյան Ա.Կ., Կարապետյան Ա.Ն., Հովհաննիսյան Կ.Վ.** Ձևափոխված հալկական հանքանյութերի կառուցվածքի և հատկությունների ուսումնասիրությունը պոլիմերային կոմպոզիտների համար // ՀՊՀՀ Լրաբեր (ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿ). Գիտական հոդվածների ժողովածու. - Երևան, 2012.- էջ 95-100:

ՀՊՀՀ (ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿ): Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 03.02.2014:

А.К. ПОГОСЯН, А.Н. КАРАПЕТЯН, К.В. ОГАНЕСЯН

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЕ МОДИФИЦИРОВАНИЕ АНТИФРИКЦИОННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ МИНЕРАЛАМИ

Изучено влияние органических смазочных материалов (например, фторалкана) на структуру и свойства полимеров. Установлено, что эти материалы являются стабилизатором низкомолекулярных фрагментов гетероцепных полимеров и вследствие преобразования сетчатой структуры полимеров способствуют повышению теплостойкости и износостойкости материалов, а также снижению коэффициента трения.

Ключевые слова: полимер, минерал, фторалкан, композит, термораспад, износостойкость, коэффициент трения.

A.K. POGOSIAN, A.N. KARAPETYAN, K.V. HOVHANNISYAN

PHYSICO-CHEMICAL MODIFICATION OF ANTIFRICTION POLYMER MATERIALS BY MINERALS

The influence of organic lubricating materials (for example, fluoroalkane) on the polymer structure and properties is studied. It is established that these materials are stabilizers of low molecular fragments of heterochain polymers and, as a result of the transformation of the polymer cross-linked structure, promotes the increase in the materials' heat and wear resistance, as well as the decrease in the friction coefficient.

Keywords: polymer, mineral, fluoroalkane, composite, thermal disintegration, wear resistance, coefficient of friction.

А.М. МАРТИРОСЯН, А.С. АГБАЛЯН, Н.А. ОРДЯН, А.Н. КАЗАРЯН

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СВЯЗКИ НА ОСНОВЕ
МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА АЛМАЗНЫХ
ИНСТРУМЕНТОВ**

Разработана технологическая связка с универсальными физико-механическими свойствами для производства алмазных инструментов на основе порошков меди, олова, железа, никеля, карбида бора, дробленой стружки серого чугуна. Для повышения прочности зерноудержания и защиты от окисления алмазных порошков проведена их металлизация в газофазной среде. Испытания алмазных пальцевых фрез, изготовленных на основе разработанной связки, показали хорошие результаты.

Ключевые слова: алмазный порошок, металлизация, связка, чугунная стружка, прессование, спекание, горячее прессование.

Введение. Конъюнктура рынка товаров и услуг, востребованных обществом для своего нормального функционирования, является катализатором промышленного роста в современном мире. В ряде отраслей промышленности, переживающих спад, необходимы новые подходы к организации производства, применение которых позволит остановить его, а затем обеспечить уверенный рост производства. Инструментальное производство, как отдельная отрасль машиностроения, непосредственно ощущает на себе сокращение объемов строительства. К примеру, за последние два года значительно сократился выпуск каменных облицовочных плит для отделки зданий, изготавливаемых, в основном, алмазными инструментами. С появлением новых конструкционных строительных материалов, а также повышением требований к функциональному назначению зданий и объектов, с целью обеспечения их архитектурно-художественного вида и эксклюзивности объекта строительства, все чаще прибегают к сложнопрофильным и фигурным элементам из природного камня. Если контуры фигурного изделия по всей его длине меняются, то обработка такой заготовки фасонными фрезами становится невозможной. Такая обработка осуществляется на станках с числовым программным управлением (ЧПУ) по трехмерной (3D) модели с помощью специальных алмазных пальцевых фрез (рис. 1). Для обрабатываемого изделия создается его точная компьютерная трехмерная модель, на базе которой составляется управляющая программа (УП) для станка с ЧПУ. УП является алгоритмом траектории движения алмазной фрезы, установленной в цанговый патрон шпинделя станка (рис. 2). В результате выполнения программы алмазная фреза обрабатывает заданный по программе сложный профиль (рис. 3).



Рис. 1. Алмазные пальцевые фрезы

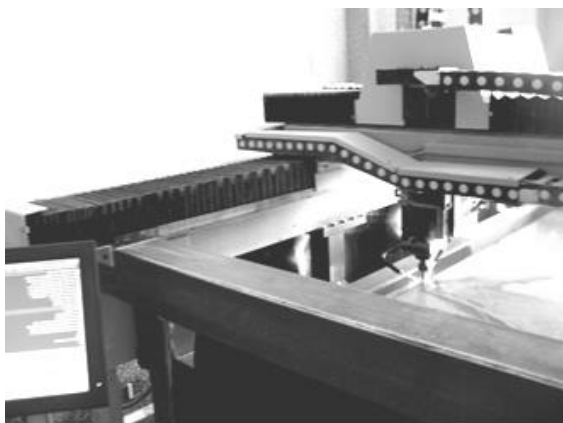


Рис. 2. Камнеобрабатывающий станок, соединенный с компьютером

Методы исследования. В последние годы значительно возросли работы по обработке каменных полов с мозаичной кладкой. Такую обработку осуществляют с помощью плоскошлифовальных передвижных станков (рис. 4), оснащенных алмазными шлифовальными дисками (рис. 5).



Рис. 3. Сложнопрофильные изделия, изготовленные на станке с ЧПУ

Эффективность процессов обработки природного камня во многом зависит от эксплуатационных характеристик алмазного инструмента. При изготовлении алмазного инструмента особое место занимают тип и состав связки. В качестве основы связки в вышеперечисленных инструментах используются металлические порошки, обеспечивающие наибольшую износостойкость, а также прочность сцепления алмазных зерен и матрицы. В основе изготовления алмазно-металлического инструмента лежит классическая технология порошковой металлургии: предварительное прессование смеси из металлических и алмазных порошков с последующим спеканием (термофиксацией) и горячей допрессовкой в специальных формах, образующих профиль инструмента [1, 2]. Полученный по такой технологической схеме инструмент по своим эксплуатационным характеристикам превосходит аналогичные, изготовленные напылением, гальваническим осаждением, зачеканкой (механическим креплением алмазных зерен) и т.д.



Рис. 4. Плоскошлифовальный передвижной станок



Рис. 5. Алмазный шлифовальный диск

Основным недостатком этого метода является то, что в зависимости от природы и технических характеристик обрабатываемых материалов состав металлической связки каждый раз меняется [3-5]. Часто в состав металлических связок входят дорогие, трудно хранимые и прессуемые порошки металлов. Этот факт изрядно ограничивает возможности метода порошковой металлургии в процессе изготовления алмазных инструментов.

Результаты исследования и их обсуждение. Исследования, направленные на разработку технологической металлической связки, на основе которой можно методом порошковой металлургии получать алмазные инструменты разного назначения, актуальны до сих пор. Основной задачей этих исследований является разработка такой многокомпонентной металлической связки, которую можно использовать при изготовлении широкой номенклатуры алмазных инструментов (сверл, фрез, шлифовальных кругов и т.д.). При этом, меняя технологические параметры изготовления, появляется возможность обеспечения наибольшей эффективности работы того или иного инструмента.

Разработанная нами связка [6] на основе металлических порошков медь-олово отвечает всем требованиям, которые необходимо учесть при изготовлении

того или иного алмазного инструмента. Связка содержит следующие компоненты: масс.% - медь (48...65), олово (12...16), железо и никель (8...10), карбид бора (1...3), стружка серого чугуна (6...31). При выборе элементов, образующих матрицу инструмента, исходили из технологичности связки, возможности их химического взаимодействия друг с другом и адгезионной активности к алмазу. Применение каждого из компонентов позволяет в конечном итоге получить композицию алмазный порошок – металлическая связка с высокими рабочими характеристиками. Так, наличие меди и олова обеспечивает пластичность и низкую температуру спекания, наличие никеля – твердость металлической матрицы и адгезионную активность к алмазным порошкам, а наличие карбида бора и дробленой чугунной стружки – самозатачиваемость спеченной композиции. Причем чугунная стружка из-за наличия свободного графита служит в качестве твердой смазки, позволяющей уменьшить трение в зоне резания, что особенно важно при высоких скоростях резания. Важной особенностью данной связки является то, что невысокие значения горячей формовки (60...100 МПа) позволяют получать изделия с высокими физико-механическими показателями [7].

Алмазные инструменты все шире применяются при обработке различных керамических изделий и искусственно выращенных кристаллов, используемых в химии, медицине, в военной промышленности, ювелирном производстве и в быту.

При изготовлении широкой номенклатуры алмазного инструмента необходимо подобрать оптимальный состав связки и технологические параметры изготовления с учетом обрабатываемого материала и режимов обработки для обеспечения наибольшей его эффективности. Для решения этих задач, в частности, для повышения прочности зерноудержания и защиты от окисления алмазных порошков в парах адсорбентов методом газовой металлизации на алмазные зерна наносятся одно- и многокомпонентные покрытия (титановые, хромовые и комбинированные). Разработанная и применяемая нами технология [8] позволяет получить, а также равномерно формировать и наращивать до нужной толщины пленку по всей поверхности алмазного зерна.

Испытания на CNC станках алмазных фрез Ф12хd6хН10, изготовленных на этой связке, с использованием алмазных порошков с титановым покрытием при обработке различных природных камней показали хорошие результаты. Представленные на рис. 6 и 7 кривые, полученные в процессе обработки камней с различными физико-химическими свойствами, свидетельствуют о том, что рост такого показателя механических свойств, каковым является твердость, не всегда повышает эффективность алмазных инструментов.

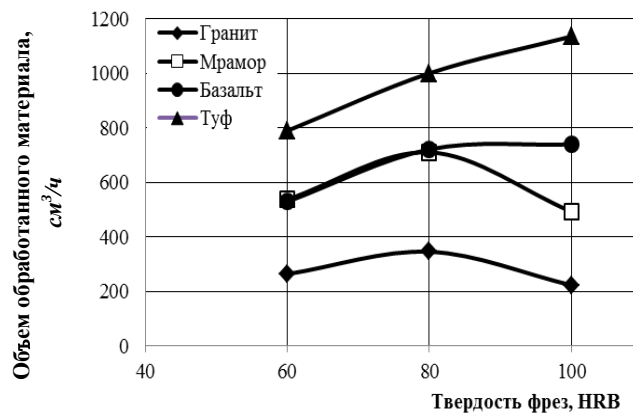


Рис. 6. Зависимости производительности алмазных фрез от твердости инструмента при обработке различных природных камней

Так, в частности, при обработке гранита алмазными фрезами с твердостями HRB 100 ед. и HRB 80 ед. производительность падает в 1,5 раза, несмотря на то, что стойкость инструмента при HRB 100 ед. в 1,25 раза выше аналогичного показателя для инструмента с HRB 80 ед. В случае же обработки туфа или базальта с повышением твердости фрез растет как производительность последних, так и их стойкость.

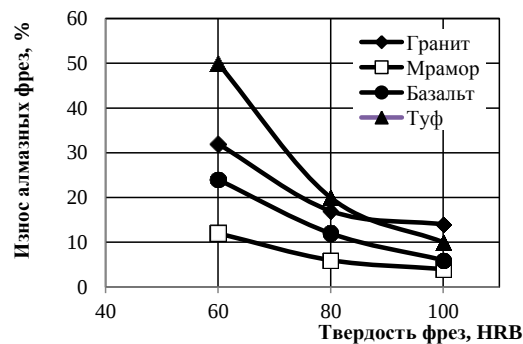


Рис. 7. Зависимости износа за 1 час работы алмазных фрез от твердости инструмента при обработке различных природных камней

О роли предварительной металлизации алмазных порошков при изготовлении инструментов для конкретного обрабатываемого камня (базальт) свидетельствуют кривые, представленные на рис. 8 и 9. Фрезы с металлизированными титаном алмазными порошками превосходят аналогичные инструменты с неметаллизированными алмазами как по производительности обработки (в зависимости от твердости фрезы до 1,5 раза), так и по износостойкости (в зависимости от твердости фрезы до 1,7 раза).

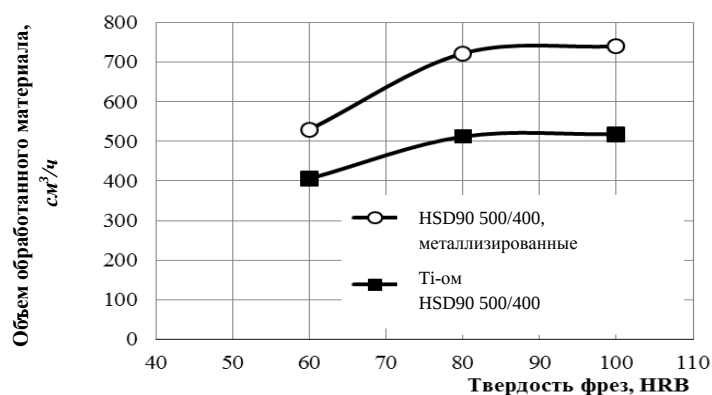


Рис. 8. Зависимости производительности фрез с металлизированными и неметаллизированными алмазами от твердости инструмента при обработке базальта

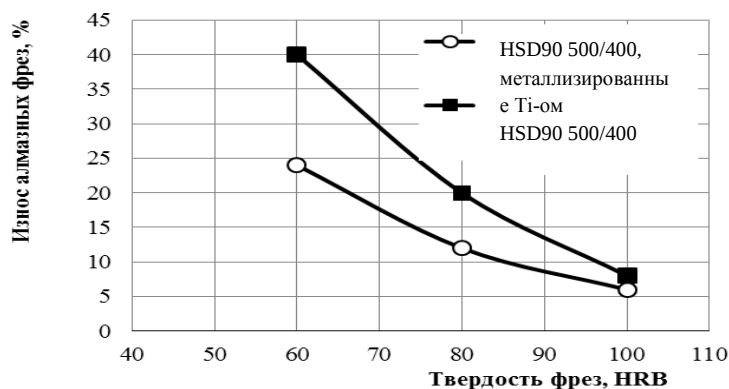


Рис. 9. Зависимости износа за 1 час работы фрез с металлизированными и неметаллизированными алмазами от твердости инструмента при обработке базальта

Выводы. Результаты испытаний алмазных пальцевых фрез на основе разработанной нами связки в процессе обработки природных камней показали, что для конкретного обрабатываемого материала можно, меняя технологические режимы изготовления, получить высокоэффективный алмазный инструмент с необходимыми физико-механическими свойствами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инструменты из сверхтвердых материалов / Под ред. **Н.В. Новикова**. – М.: Машиностроение, 2005. – 555 с.
2. Основы проектирования и технология изготовления абразивного и алмазного инструмента / **В.Н. Бакуль, Ю.Н. Никитин, Е.Б. Верник и др.**.- М.: Машиностроение, 1976.- 296 с.
3. **Konstanty Janusz**. Cobalt as a matrix in diamond impregnated tools for stone sawing applications.- Krakow, AGH, Uczeln.Wyd.nauk.-dydakt, 2002.- 158 p.

4. **Кизиков Э.Д., Верник Е.Б., Кошевой Н.С.** Алмазно-металлические композиции. - Киев: Техника, 1988.-135 с.
5. **Галицкий В.Н., Курищук А.В., Муровский В.А.** Алмазно-абразивный инструмент на металлических связках для обработки твердого сплава и стали.- Киев: Наукова думка, 1986.-144 с.
6. Патент на изобретение АМ 2100А2, В24D 3/00. Металлическая связка для изготовления алмазных инструментов / **А.М. Мартиросян, Н.А. Ордян, А.Н. Казарян.**- Заявл. 01.11.2007; Оpubл. 26.05.2008.- Бюл. № 4 (81).
7. **Казарян А.Н., Ордян Н.А.** Высокоэффективная металлическая связка для обработки твердых пород природного камня // Сборник трудов XX Международной научно-технической конференции “Машиностроение и техносфера XXI века”, г. Севастополь, 16-21 сентября 2013 г. В 3-х томах. – Донецк: ДонНТУ, 2013.- Т. 1. - С. 266-268.
8. А.с. 1709651 (СССР). Способ металлизации алмазных частиц для алмазно-абразивного инструмента / **С.Г. Агбальян, А.Н. Казарян, Н.Н. Манукян, Г.А. Асатрян.**- 1991.

ГИУА (ПОЛИТЕХНИК), АГПУ им Х. Абовяна. Материал поступил в редакцию 21.04.2014.

Ա.Մ. ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ, Ա.Ս. ԱԴԲԱԼՅԱՆ, Ն.Ա. ՕՐԴՅԱՆ, Ա.Ն. ԴԱԶԱՐՅԱՆ

ԱԼՄԱՍԱՅԻՆ ԳՈՐԾԻՔՆԵՐԻ ԱՐՏԱԴՐՈՒԹՅԱՆ ՀԱՄԱՐ ՄԵՏԱԴԱՓՈՇԻՆԵՐԻ ՀԻՄՔՈՎ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱԿԱՆ ԿԱՊԱԿՑԱՆՅՈՒԹԵՐԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ

Ալմաստային գործիքների արտադրության համար մշակվել է պղինձ – անագ – երկաթ – նիկել – բորի կարբիդ – գորշ թուջի մանրացված տաշեղներ բաղադրությամբ, համապիտանի ֆիզիկամեխանիկական հատկություններով տեխնոլոգիական կապակցանյութ, իսկ ալմաստափոշու հատիկապահման ամրության և օքսիդացումից պաշտպանելու նպատակով իրականացվել է ալմաստափոշու մետաղապատում գազաֆազային միջավայրում: Մշակված կապակցանյութի հիմքով պատրաստված ալմաստային մատային ֆրեզների փորձարկումները ցույց են տվել լավ արդյունքներ:

Առանցքային բաղադր. ալմաստափոշի, մետաղապատում, կապակցանյութ, թուջի տաշեղներ, մամլում, եռակալում, տաք մամլում:

A.M. MARTIROSYAN, A.S. AGHBALYAN, N.A. ORDYAN, A.N. GHAZARYAN

DEVELOPING A TECHNOLOGICAL CONNECTIVE BASED ON METAL POWDERS FOR PRODUCING DIAMOND TOOLS

A metal connective with universal physical and mechanical properties for the production of diamond tools based on copper powders, tin, iron, nickel, boron carbide, crushed swarf of gray cast iron is developed. To increase the strength of grain retention and protection from oxidation of diamond powder, their metallization in the gas-phase environment is performed. Tests of diamond milling cutters made on the basis of the developed connective, have shown good results.

Keywords: diamond powder, metallization, connective, swarf of cast iron, stone, milling cutter, compression, agglomeration, hot compression.

Պ.Բ. ԱՎԱԳՅԱՆ, Ն.Վ. ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ, Տ.Վ. ՎԱՆԴՈՒՆՑ, Զ.Ա. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ

ԱՅՐՄԱՆ ՌԵԺԻՄՈՒՄ ՄԻՆԹԵԶՎԱԾ ՄԱԳՆԵԶԻՈՒՄ-ՑԻՆԿԱՅԻՆ ՖԵՐԻՏԻ
ԹՐՕՈՒՄԸ

Մշակվել է 100HH մակնիշի մագնիսափափուկ ֆերիտին համաժեռք, ինքնատարածվող բարձրջերմաստիճանային սինթեզի մեթոդով ստացված $Mg_{0.69}Mn_{0.06}Zn_{0.25}Fe_2O_4$ օքսիդային փոշեկոմպոզից խեցեղեն նմուշների թրծման տեխնոլոգիական գործընթացը: Ուսումնասիրվել են մամլման և պլաստիկացման լավագույն պայմանները, հետազոտվել է թրծման տեխնոլոգիական ռեժիմների ազդեցությունը ֆերիտային խեցու հատկությունների վրա:

Առանցքային բառեր. 100HH մագնիսափափուկ ֆերիտ, ինքնատարածվող բարձրջերմաստիճանային սինթեզ, թրծում, խեցի:

Էլեկտրոնիկայի բնագավառում կիրառվող նյութերի շարքում առանձնահատուկ տեղ են զբաղում ֆերիտները, որոնց արտադրության ծավալները, ինչպես նաև կիրառման ոլորտներն ու ստացման տեխնոլոգիաները շարունակում են անընդհատ ընդլայնվել: Որպես մագնիսափափուկ նյութեր՝ նիկել-ցինկային ֆերիտները, լայն կիրառություն ունեն միջին հաճախությունների տիրույթում, սակայն, պայմանավորված նիկելի սակավությամբ և բարձր գնով, դրանք հաջողությամբ փոխարինվում են իրենց համաժեռք $Mg-Zn$ ֆերիտներով [1, 2]:

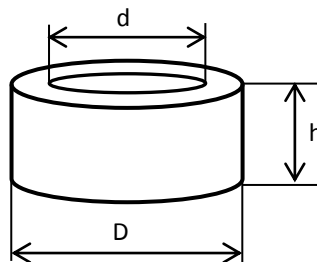
Պայմանավորված ֆերիտների անընդհատ աճող պահանջարկով, ներկայումս մշակված է ինքնատարածվող բարձրջերմաստիճանային սինթեզի (ԻԲՄ) մեթոդով ֆերիտների ստացման նոր և արդյունավետ տեխնոլոգիա, որը բնութագրվում է բարձր արտադրողականությամբ, տնտեսական արդյունավետությամբ, անվտանգությամբ և էկոլոգիական մաքրությամբ, իսկ ԻԲՄ մեթոդով ստացված ֆերիտներն ունեն ցածր ինքնարժեք, բարձր որակ և լավ հատկություններ [3, 4]: Ներկայումս մեծ հետաքրքրություն է ներկայացնում 100HH մակնիշի մագնիսափափուկ ֆերիտը: $Mg_{0.69}Mn_{0.06}Zn_{0.25}Fe_2O_4$ օքսիդային նյութի հատկությունները լիովին բավարարում են 100HH մակնիշի ֆերիտին ներկայացվող պահանջները, որի ստացման համար վերջերս հաջողությամբ մշակվել և մանրամասն հետազոտվել է ինքնատարածվող բարձրջերմաստիճանային սինթեզման տեխնոլոգիա՝ $MgO-MnO-ZnO-Fe_2O_3-Fe-O_2$ համակարգում [5]:

Մշակվել է ԻԲՄ մեթոդով ստացված $Mg_{0.69}Mn_{0.06}Zn_{0.25}Fe_2O_4$ օքսիդային փոշենյութից խեցեղեն նմուշների թրծման տեխնոլոգիական գործընթացը, ուսումնասիրվել են մամլման և պլաստիկացման լավագույն պայմանները, հետազոտվել են թրծման տեխնոլոգիական ռեժիմների ազդեցությունը ֆերիտային խեցու հատկությունների վրա:

Կոմպոզիցիոն խեցե նյութերի բարձրջերմաստիճանային թրծումը կարևորագույն տեխնոլոգիական փուլ է, որից գլխավորապես կախված է արտադրանքի որակը: Թրծման ժամանակ ջերմության ազդեցության տակ տեղի են ունենում նմուշի խտության մեծացում, կծկում, ծակոտկենության փոքրացում, մեխանիկական և ֆիզիկաքիմիական բնութագրերի փոփոխություն: Այս ամենի արդյունքում ձևավորվում է որոշակի միկրոկառուցվածքով և հատկություններով օժտված խիտ միաձույլ կիսաբյուրեղային նյութ, որի էլեկտրաֆիզիկական հատկությունների ձևավորման կինետիկայի վրա զգալիորեն ազդում են թրծման ջերմաստիճանային-ժամանակային ռեժիմները և գազային միջավայրը: Սակայն հատկությունների ձևավորման գործընթացների կինետիկայի վրա զգալի ազդեցություն են ունենում նաև էլանյութերի ֆիզիկաքիմիական վիճակը և նախապատրաստվածքների պատրաստման պայմանները [6, 7]:

ԻԲՄ տեխնոլոգիայով ստացված $Mg_{0.69}Mn_{0.06}Zn_{0.25}Fe_2O_4$ օքսիդային փոշենյութը պլանետար աղացով ենթարկվել է չոր մանրացման մինչև հատիկների $d < 8$ մկմ չափի ապահովումը: Հետագոտությունը ցույց է տվել, որ բարձր խտությամբ և որակական լավ ցուցանիշներով խեցի ստանալու համար անհրաժեշտ է, որ էլանյութի հատիկների չափը լինի 1...8 մկմ [8]:

Թրծման տեխնոլոգիական գործընթացից առաջ, համապատասխան ձևաչափով փորձանմուշներ ստանալու նպատակով, մանրացված $Mg_{0.69}Mn_{0.06}Zn_{0.25}Fe_2O_4$ փոշենյութերի մամլումը լավացնելու, հեշտացնելու համար դրան ավելացվել է պլաստիկացնող նյութ՝ 15%-ոց պոլիվինիլային սպիրտի 10%-ոց ջրային լուծույթ: Պլաստիկացնող նյութի ավելացումից հետո փոշենյութի զանգվածը խնամքով խառնվել է և LITOSTROJ հիդրավլիկ մամլիչով 8000 կգ/սմ² ճնշման տակ մամլվել պողպատյա մամլակաղապարում՝ օղակաձև 20x16x6 (Dxdxh, մմ) ձևաչափով (նկ. 1):



Նկ. 1. Մամլվածքների ձևաչափը

Փորձանմուշների մամլման գործընթացին հաջորդել է թրծման տեխնոլոգիական գործընթացը, որն իրականացվել է բարձրջերմաստիճանային (մինչև 1600 °C) վառարանի միջոցով: Թրծման հիմնական փուլից առաջ փորձանմուշները նախնական տաքացմամբ ենթարկվել են չորացման: Տաքացմանը զուգընթաց սկզբնական փուլում (300...350°C) տեղի է ունենում մեխանիկական և քիմիական կապով կապված

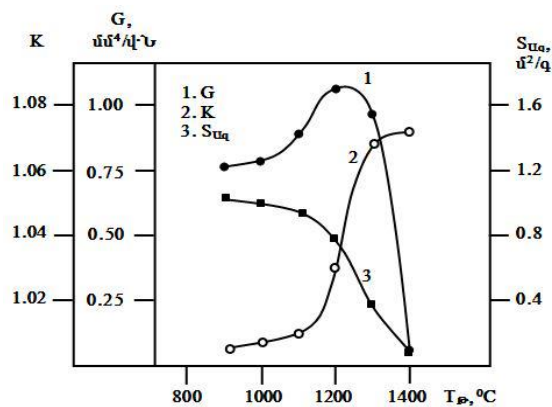
օրգանական նյութի այրում-հեռացում: Փորձանմուշները տաքացվել են ջերմաստիճանի շատ դանդաղ աճով ($5^{\circ}\text{C}/\text{րոպե}$), իսկ սկզբնական փուլում դրանք պահվել են 1...1,5 ժամ՝ պայմանավորված հետևյալ հանգամանքով. ջերմաստիճանի կտրուկ բարձրացման դեպքում նմուշների մակերևույթից օրգանական նյութերը հեռանում են ավելի ինտենսիվ, քան խորքերից, որի հետևանքով նմուշների մակերևութային մակերեսում կծկումները զգալի են, մինչդեռ խորքերում, որտեղ խոնավությունը բարձր է, կծկումները քիչ են, իսկ անհավասար կծկումների հետևանքով նմուշներում առաջանում են ճաքեր և շերտավորումներ: Հետազոտությունները ցույց են տվել, որ, կապված նմուշների անիզոտրոպիայի հետ, փորձանմուշների լայնական կտրվածքով կծկումներն ավելի մեծ են, քան բարձրության ուղղությամբ: Իսկ անիզոտրոպիան առաջանում է այն պատճառով, որ սեղմումը մամլման ժամանակ իրականացվում է մի ուղղությամբ:

Նկ. 2-ում բերված է $\text{Mg}_{0.69}\text{Mn}_{0.06}\text{Zn}_{0.25}\text{Fe}_2\text{O}_4$ ֆերիտի գազաթափանցելիության (G), գծային կծկման գործակցի (K) և ազատ մակերեսի ($S_{\text{ազ}}$) կախումը թրծման ջերմաստիճանից (T_{θ}): Փորձանմուշների գազաթափանցելիության ջերմաստիճանային կախումից երևում է, որ թրծման հիմնական փուլի սկզբում գազաթափանցելիությունը փոքր-ինչ աճում է՝ պայմանավորված այն հանգամանքով, որ հատիկների միջև հպատեղեր ձևավորվելիս առաջանում են գլանաձև խուղակային ծակոտիներ (նկ. 3) [4]: Այս փուլում հատիկների ազատ մակերեսը դանդաղ նվազում է: Սկսած 1200°C -ից՝ $\text{Mg}_{0.69}\text{Mn}_{0.06}\text{Zn}_{0.25}\text{Fe}_2\text{O}_4$ ֆերիտի գազաթափանցելիությունը կտրուկ ընկնում է, քանի որ մասնիկների միջև հպման մակերևույթը խիստ մեծանում է, իսկ գլանաձև խուղակային ծակոտիների կտրվածքը՝ խիստ փոքրանում: Միաժամանակ կտրուկ նվազում է մասնիկների ազատ մակերեսը, տեղի է ունենում փորձանմուշների ինտենսիվ կծկում, իսկ 1400°C -ից հետո փորձանմուշների գազաթափանցելիությունը համարյա վերանում է: Թրծման վերջնական փուլում պետք է ապահովել տաքացման մեծ արագություն, որպեսզի թրծման գործընթացը փորձանմուշի ողջ ծավալով միաժամանակ ընթանա. այդ դեպքում ստացվում է փորձանմուշի հատիկների հավասարաչափ աճ:

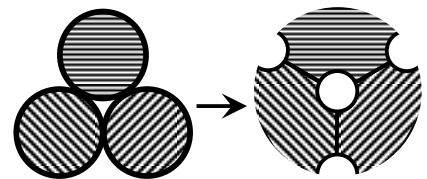
Փորձանմուշների գծային կծկումների և խտության փոփոխության հետազոտությունները, կախված թրծման ջերմաստիճանից, ցույց են տվել, որ $\text{Mg}_{0.69}\text{Mn}_{0.06}\text{Zn}_{0.25}\text{Fe}_2\text{O}_4$ փոշենյութից պատրաստված մամլվածքները սկսում են ուժեղ կծկվել 1100°C -ից հետո (նկ. 2): Կծկման ժամանակ մեծանում է մամլվածքի խտությունը, որի աճը համարյա ավարտվում է 1300°C -ում:

Հետազոտությունները ցույց են տվել, որ փորձանմուշները մանրահատիկ և ծակոտիկ են ստացվում ցածր ջերմաստիճաններում թրծման արդյունքում (1300°C -ից ցածր): Իսկ բարձր ջերմաստիճաններում թրծված խեցե փորձանմուշներն ունեն համասեռ և հատիկների եզրերի հստակ արտահայտված միկրոկառուցվածք (նկ. 4): Թրծման որոշակի բարձր ջերմաստիճանից սկսած՝ հատիկների միջին չափի մեծացումը հանգեցնում է դրանց չափերի բաշխվածության անհամասեռության մեծաց-

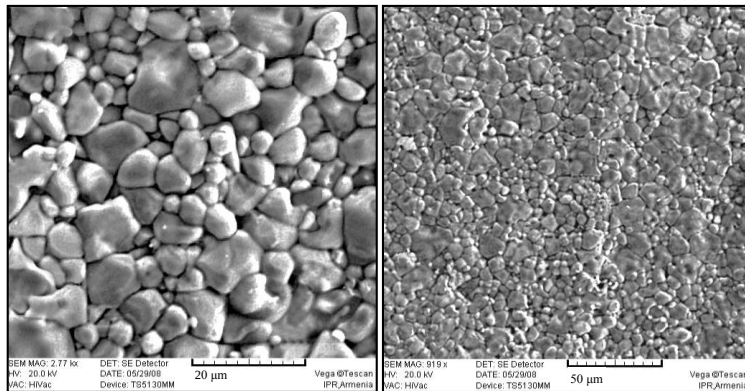
մանր, որի հետևանքով մեծանում է խեցենյութի էլեկտրահաղորդականությունը: Խեցե նմուշների միկրոկառուցվածքային բնութագրերն ուսումնասիրվել են VEGA TS 5130 MM տեսաձրային էլեկտրոնային մանրադիտակով, իսկ պատկերների հստակությունն ապահովելու համար նմուշները վակուումային YPM-3.279.026 մակնիշի տեխնոլոգիական տեղակայանքի միջոցով նախապես պատվել են արծաթի նուրբ թաղանթով:



Նկ. 2. $Mg_{0.69}Mn_{0.06}Zn_{0.25}Fe_2O_4$ ֆերիտի գազաթափանցելիության (G), գծային կծկման գործակցի (K) և ազատ մակերեսի ($S_{\alpha q}$) կախումը թրծման ջերմաստիճանից (T_{ϕ})



Նկ. 3. Թրծման սկզբնական փուլում գլանաձև խողակային ծակոտիների ձևավորման սխեման



Նկ. 4. PbU տեխնոլոգիայով ստացված $Mg_{0.69}Mn_{0.06}Zn_{0.25}Fe_2O_4$ ֆերիտի միկրոկառուցվածքը ($T_{\phi}=1350^{\circ}C$)

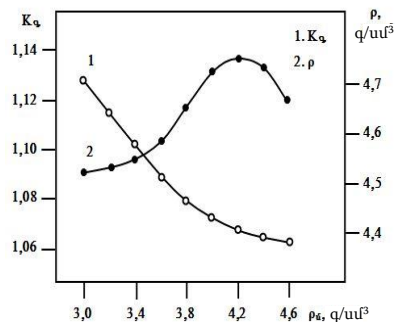
Փորձանմուշների էլեկտրամագնիսական և էլեկտրաֆիզիկական հատկությունների վրա զգալիորեն ազդում է մամլման ճնշումը: Բարձր ցուցանիշներով խեցու ստացման համար մամլման ճնշման լավագույն արժեքը ընտրվել է փորձնականո-

րեն: Քանի որ մամլման ճնշումից ուղղակիորեն կախված է մամլվածքի խտությունը, հետևապես կարևոր գործոն է նաև մամլվածքի խտության ազդեցությունը խեցե նյութի խտության և հատկությունների վրա:

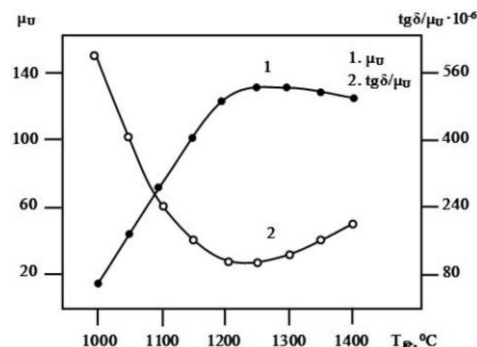
Նկ. 5-ում բերված է $Mg_{0.69}Mn_{0.06}Zn_{0.25}Fe_2O_4$ ֆերիտի գծային կծկման գործակցի (K_d) և խտության (ρ) կախվածությունը մամլվածքի խտությունից (ρ_0): Թրծումն իրականացվել է 1350°C-ում, 5 ժամվա ընթացքում: Ինչպես երևում է նկարից, երբ մամլվածքի խտության մեծացմամբ ֆերիտի գծային կծկումները միալար նվազում են, ապա խեցե նյութի խտությունը մեծանալով հասնում է առավելագույն արժեքի, որից հետո նվազում է: Այս երևույթը պայմանավորված է նրանով, որ թրծման ընթացքում բարձր խտությամբ մամլվածքից օրգանական նյութերը դժվարությամբ են հեռանում, իսկ նրանցից անջատված գազերի ճնշման հետևանքով նմուշի վրա առաջանում են ճաքեր: Նկարից երևում է, որ մամլվածքի խտությունը պետք է կազմի 4,0...4,4 g/cm^3 : Այդ դեպքում թրծված ֆերիտի խտությունը գերազանցում է 4,7 g/cm^3 -ը, իսկ նրա էլեկտրամագնիսական պարամետրերն ունեն համեմատաբար բարձր ցուցանիշներ: Նմուշների իրական խտությունը որոշվել է պիկնոմետրի միջոցով:

Նկ. 6-ում պատկերված է $Mg_{0.69}Mn_{0.06}Zn_{0.25}Fe_2O_4$ ֆերիտի սկզբնական մագնիսական թափանցելիության և կորուստների անկյան տանգենսի կախումը թրծման ջերմաստիճանից: Մագնիսական թափանցելիության և կորուստների անկյան տանգենսի չափումները կատարվել են $f=100$ կՀց հաճախության ու մագնիսական դաշտի $H=0,8$ Մ/լարվածության պայմաններում: Նկարից երևում է, որ 1280...1350°C ջերմաստիճանային տիրույթում ստացվում է բարձր ցուցանիշներով խեցի: 1350°C-ից բարձր ջերմաստիճաններում, ֆերիտների միկրոկառուցվածքում մեծ բյուրեղների ձևավորման պատճառով, մեծանում է նմուշի էլեկտրահաղորդականությունը, որի հետևանքով մեծանում են կորուստները: Ֆերիտների մագնիսական թափանցելիությունը և կորուստների անկյան տանգենսը չափվել են P5010 և E7-11 սարքերով:

$Mg_{0.69}Mn_{0.06}Zn_{0.25}Fe_2O_4$ ֆերիտի մագնիսական պարամետրերի վրա թրծման ջերմաստիճանի ազդեցության հետազոտությունները ցույց են տվել, որ թրծման ջերմաստիճանի մեծացումը նպաստում է մագնիսական բարձր ցուցանիշներով օժտված խեցու ստացմանը: Սակայն շատ բարձր ջերմաստիճաններում թրծումը հանգեցնում է հատկությունների վատացմանը: Նկ. 7-ում բերված է $Mg_{0.69}Mn_{0.06}Zn_{0.25}Fe_2O_4$ ֆերիտի մագնիսական ինդուկցիայի հագեցման արժեքների և տեսակարար դիմադրության կախումը թրծման ջերմաստիճանից: Նկարում պատկերված կորերից երևում է, որ 1280...1350°C ջերմաստիճանային տիրույթում մագնիսական հագեցածության և տեսակարար դիմադրության արժեքները հասնում են առավելագույն արժեքի, իսկ ավելի բարձր ջերմաստիճաններում սկսում են նվազել: Այս հանգամանքը պայմանավորված է մեծ հատիկների ձևավորմամբ և խեցե նյութի էլեկտրահաղորդականության մեծացմամբ:

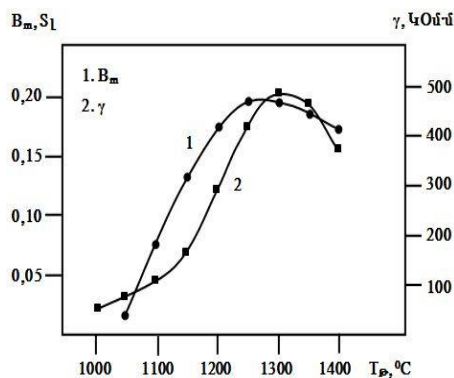


Նկ. 5. $Mg_{0.69}Mn_{0.06}Zn_{0.25}Fe_2O_4$ ֆերիտի գծային կծկման գործակցի (K_d) և խտության (ρ) կախվածությունը մամլվածքի խտությունից (ρ_s)

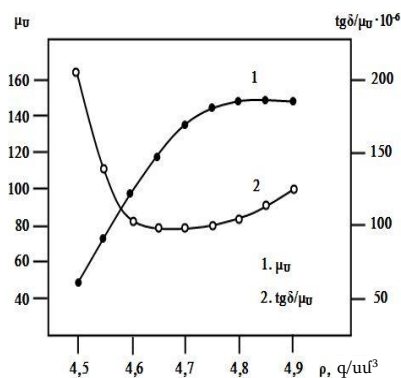


Նկ. 6. $Mg_{0.69}Mn_{0.06}Zn_{0.25}Fe_2O_4$ ֆերիտի սկզբնական մագնիսական թափանցելիության և կորուստների անկյան տանգենսի կախումը թրծման ջերմաստիճանից

Նկ. 8-ում բերված է $Mg_{0.69}Mn_{0.06}Zn_{0.25}Fe_2O_4$ ֆերիտի սկզբնական մագնիսական թափանցելիության և կորուստների անկյան տանգենսի կախումը խտությունից: Կորեքից երևում է, որ ֆերիտի սկզբնական մագնիսական թափանցելիության և կորուստների անկյան տանգենսի բավարար արդյունքներ ստացվում են, երբ խեցե նյութի խտությունը գերազանցում է $4.7 g/cm^3$ -ը: Նմուշների տեսակարար դիմադրությունը (γ) որոշվել է P-341 նանովոլտմետրով, որը սնուցվել է B5-48 սնման աղբյուրից:



Նկ. 7. $Mg_{0.69}Mn_{0.06}Zn_{0.25}Fe_2O_4$ ֆերիտի մագնիսական ինդուկցիայի հագեցման (B_m) արժեքների և տեսակարար դիմադրության (γ) կախումը թրծման ջերմաստիճանից



Նկ. 8. $Mg_{0.69}Mn_{0.06}Zn_{0.25}Fe_2O_4$ ֆերիտի սկզբնական մագնիսական թափանցելիության և կորուստների անկյան տանգենսի կախումը խտությունից

Այսպիսով, ԻԲՄ տեխնոլոգիայով ստացված $Mg_{0.69}Mn_{0.06}Zn_{0.25}Fe_2O_4$ ֆերիտի խեցե նմուշների միկրոկառուցվածքի և հատկությունների ձևավորման վրա զգալիորեն

ազդում են ելային փոշենյութի հատիկների չափը, նախապատրաստվածքում կապակցող օրգանական նյութի քանակությունը, մամլվածքի խտությունը և թրծման պայմանները: Հետազոտությունները ցույց են տվել, որ խեցե փորձանմուշների բարձր որակական ցուցանիշներ ստացվում են, երբ ելային փոշենյութի մամլվածքում օգտագործվում է 15% պոլիվինիլային սպիրտի 10%-ոց ջրային լուծույթ, մամլվածքի խտությունը կազմում է 4,1...4,3 g/cm^3 , թրծման ջերմաստիճանն ընկած է 1280...1350°C ջերմաստիճանային տիրույթում, իսկ թրծված ֆերիտի խտությունը գերազանցում է 4,7 g/cm^3 -ը:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Пасынков В.В., Сорокин В.С.** Материалы электронной техники. - М.: Высшая школа, 1986. - 367 с.
2. **Левин Б.Е., Третьяков Ю.Д.** Физико-химические основы получения, свойства и применение ферритов. - М.: Металлургия, 1979. - 472 с.
3. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез ферритов / **А.Г. Мержанов, А.М. Салдугей, П.Б. Авакян, М.Д. Нерсисян и др.** // Разработка и промышленное освоение новой высокоэффективной технологии: Материалы на Госпремию России. - Черноголовка, ИСМАН, 1995. - 99 с.
4. SHS of Magnesioferrites / **P.B. Avakyan, V.G. Andreev, N.W. Martirosyan, et al** // Int. Journ. of SHS. - 2002. - Vol. 11, № 3. - P. 299-306.
5. Մագնեզիում-ցինկային ֆերիտի սինթեզն այրման ռեժիմում / **Պ.Բ. Ավագյան, Ն.Վ. Մարտիրոսյան, Տ.Վ. Վանդունց և ուրիշ.** // Հայաստանի ճարտարագիտական ակադեմիայի Լրաբեր (ՀՀԱԱ). - 2008. - Հ. 5, № 2. - Էջ 250-253:
6. The impact of powder particle size and thermal treatment on the product microstructure and properties / **P.B. Avakyan, E.L. Nersisyan, G.D. Grigoryan, et al** // Inf. Technol. and Management. - 2001. - Vol. 2. - P. 98-105.
7. **Avakyan P.B., Andreev V.G., Saldughey A.M.** Influence of powder particle size on formation of microstructure and properties of Manganese-Zinc ferrites // Intern. Journ. of SHS. - 1995. - Vol. 4, № 3. - P. 287-292.
8. **Шаривкер С.Ю., Мержанов А.Г.** СВС-порошки и их технологическая переработка / Под ред. И.П. Боровинской. - Черноголовка, 2000. - 123 с.

ՀղճՀ (ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿ): Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 01.04.2014:

П.Б. АВАКЯН, Н.В. МАРТИРОСЯН, Т.В. ВАНДУНЦ, З.А. ГРИГОРЯН
ОТЖИГ МАГНИЕВО-ЦИНКОВОГО ФЕРРИТА, СИНТЕЗИРОВАННОГО В
РЕЖИМЕ ГОРЕНИЯ

Разработан технологический процесс спекания керамических образцов оксидного порошкового материала $\text{Mg}_{0.69}\text{Mn}_{0.06}\text{Zn}_{0.25}\text{Fe}_2\text{O}_4$, равноценный 100НН магнитомягкого феррита, полученного методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза. Изучены лучшие условия прессования и пластификации, исследовано влияние технологических режимов спекания на свойства ферритовой керамики.

Ключевые слова: 100НН магнитомягкий феррит, самораспространяющийся высокотемпературный синтез, отжиг, керамика.

P.B. AVAKYAN, N.W. MARTIROSYAN, T.V. VANDUNDS, Z.A. GRIGORYAN
SINTERING THE MAGNESIUM-ZINC FERRITE SYNTHESIZED
UNDER THE COMBUSTION MODE

A technological process of sintering 100HH magnetosoft ferrite equivalent ceramic samples from $\text{Mg}_{0.69}\text{Mn}_{0.06}\text{Zn}_{0.25}\text{Fe}_2\text{O}_4$ oxide powder produced through the method of self-propagating high-temperature synthesis is developed. The best conditions for pressing and plastification are studied, and the impact of technological regimes of sintering on the properties of the ferrite ceramics are investigated as well.

Keywords: 100HH magnetosoft ferrite, self-propagating high-temperature synthesis, sintering, ceramics.

Р.М. АБРАМЯН

**ДОСТИЖЕНИЕ УСТАНОВИВШЕГОСЯ РЕЖИМА РАБОТЫ
ПРОСТЕЙШЕЙ ГАЗОВОЙ ХОЛОДИЛЬНОЙ МАШИНЫ**

Исследована работа простейшей газовой холодильной машины в зависимости от характеристик компрессора, детандера и водяного или воздушного охлаждения. Изучена возможность достижения машиной установившегося режима работы после пуска. Получена зависимость температуры хладагента от количества повторенных циклов. Приведены значения минимальной температуры для воздуха и гелия в принятых условиях.

Ключевые слова: простейшая газовая холодильная машина, установившийся режим, компрессор, детандер, водяное или воздушное охлаждение.

Введение. Развитие науки и техники предопределяет все возрастающее использование холодильных установок. В связи с природными катаклизмами и техногенными авариями стал актуальным вопрос усовершенствования работы охлаждающих систем в теплоэнергетике. Велико также достижение низких температур в развитии физики, приборостроения, биологии и медицины. Для нужд пищевой промышленности и сельского хозяйства необходимо иметь холодильные машины большой мощности. Ожижение газов и хранение жидких газов также является важной научно-технической задачей. Отметим, что температура называется низкой, если она меньше температуры окружающей среды. По международному соглашению, температуры ниже 120 K (или $153,16^\circ\text{C}$) считаются криогенными. Особенно важна роль криогенной техники в развитии новых направлений науки и техники, причем одним из наиболее перспективных направлений считается применение холодильной техники в энергетике.

Целью настоящей работы является анализ возможностей повышения термодинамической эффективности работы поршневых воздушных газовых холодильных машин. В качестве расширительных устройств в воздушных холодильных машинах применяют поршневые детандеры [1-3]. В работе [4] был исследован метод расчёта пусковых режимов криогенных газовых машин с помощью численного решения системы дифференциальных уравнений. В работе невысокая точность объясняется тем, что невозможно исчерпывающе описать все процессы, происходящие в криогенной газовой машине в период выхода на режим. Рассмотрим теперь подробнее работу простейшей воздушной холодильной машины, где рабочее тело в начальной стадии совершает разомкнутый термодинамический цикл, неизменно оставаясь в паровой или газовой фазе. Следует заметить, что в данной работе не определено время достижения холодильной

машиной установившегося режима работы, хотя количество повторенных шагов можно полагать пропорциональным времени. Вероятно, таким путем можно оценить предельные возможности рассматриваемой термодинамической системы [5].

Аналитическая часть. Будем считать, что хладагент, являющийся идеальным газом, имеет массу m_0 , удельную теплоемкость при постоянном объеме c_V , совершает круговой переход в замкнутом пространстве от компрессора до детандера, при этом охлаждаясь потоком воды или воздуха, которые имеют температуру окружающей среды T_0 . Принципиальная схема холодильной установки показана на рисунке.

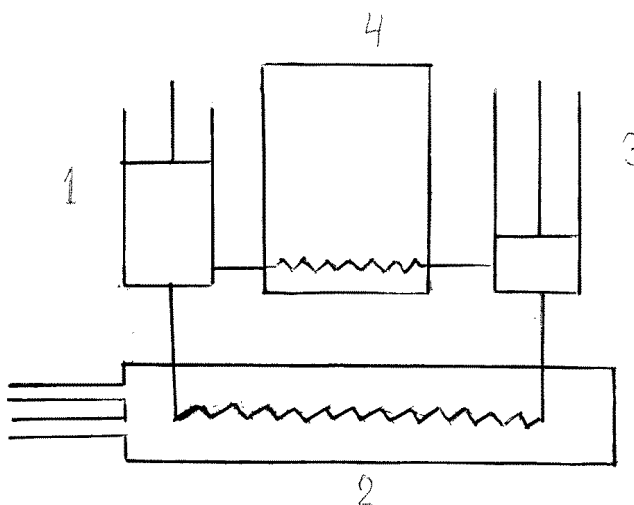


Рис. Схема простейшей газовой холодильной машины: 1 - компрессор, 2 – воздушное или водяное охлаждение, 3 - детандер, 4 - охлаждаемое тело или объём

Начальную температуру хладагента обозначим T_0 . Для простоты будем считать процессы сжатия в компрессоре и расширения в детандере адиабатическими, при этом в компрессоре газ сжимается от объема V_2 до V_1 , а в детандере расширяется от V_1 до V_2 . Также примем, что теплообмен между хладагентом и водой происходит без потерь энергии. Холодильная машина начинает работу сжатием в компрессоре хладагента, вследствие чего последнее нагревается от начальной температуры T_0 до температуры T_1 . Затем хладагент поступает в змеевик, где при постоянном объеме V_1 охлаждается водой (или воздухом), имеющей массу m_1 , удельную теплоемкость c_1 и температуру T_0 , вследствие чего температура газа понижается до T_2 . Дальнейшее охлаждение хладагента до T_3 происходит в детандере. Используя термодинамические соотношения и учитывая сохранение энергии при теплопередаче, можем написать

$$T_1 = T_0 \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{\gamma-1} = T_0 b. \quad (1)$$

Здесь обозначено $\left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{\gamma-1} = b$ (γ - показатель адиабаты идеального газа).

Охлаждая газ при постоянном объёме водой, имеем

$$m_0 c_V (T_2 - T_1) + m_1 c_1 (T_2 - T_0) = 0.$$

Обозначив через $\alpha = \frac{m_1 c_1}{m_0 c_V}$ так называемую характеристику теплообмена, получим

$$T_2 = \frac{T_1 + \alpha T_0}{1 + \alpha} = \frac{T_0 b + T_0 \alpha}{1 + \alpha}. \quad (2)$$

В детандере газ охлаждается от T_2 до T_3 . Проведя те же вычисления, как и при получении формулы (1), будем иметь $T_3 = \frac{T_2}{b}$. В завершении первого цикла хладагент при постоянном объёме охлаждает замкнутый резервуар, в котором вещество массой m_2 и удельной теплоемкостью c_2 имеет начальную температуру T_0 . Конечная температура хладагента и резервуара будет T_4 . Найдём значение T_4 , зависящее только от T_0 и характеристик установки:

$$T_4 = \frac{T_3}{\alpha + 1} + \frac{\alpha}{\alpha + 1} \cdot T_0. \quad (3)$$

Для простоты предположим, что $\alpha = \frac{m_2 c_2}{m_0 c_V}$, т. е. $m_2 c_2 = m_1 c_1$.

Подставляя (2) в (3), получим

$$T_4 = T_0 \frac{1 + \alpha + \alpha^2}{(1 + \alpha)^2} + T_0 \frac{\alpha}{b} \frac{1}{(1 + \alpha)^2}. \quad (4)$$

Обозначив $q = \frac{1 + \alpha + \alpha^2}{(1 + \alpha)^2}$, получим

$$T_4 = T_0 q + T_0 \frac{\alpha}{b} \frac{1}{(1 + \alpha)^2}. \quad (5)$$

После многократных повторений будем иметь некоторую последовательность значений температур хладагента и охлаждаемого резервуара $T_0, T_4, T_8, T_{12}, \dots, T_{4n}$, где n - число повторяемых циклов. Отметим, что n фактически играет роль квантованного времени.

После n -кратного повторения получим

$$T_{4n} = T_0 q^n + T_0 \frac{\alpha}{b} \frac{1}{(1 + \alpha)^2} \sum_{i=0}^{n-1} q^i. \quad (6)$$

Подставляя сумму геометрической прогрессии $\sum_{i=0}^{n-1} q^i = \frac{1-q^n}{1-q}$ и учитывая, что $\alpha > 0$, $q < 1$, а также $\frac{1}{1-q} = \frac{(1+\alpha)^2}{\alpha}$, получим

$$T_{4n} = T_0 q^n + T_0 \frac{1-q^n}{b}. \quad (7)$$

Обсуждение результатов. При бесконечном увеличении n температура T_{4n} будет стремиться к пределу $T_\infty = \frac{T_0}{b}$, которая соответствует минимальной температуре охлаждаемого резервуара. Таким образом, наступит установившийся режим, и хладагент, т.е. идеальный газ, далее будет совершать замкнутый термодинамический цикл, известный как обратный цикл Отто. В работе [6] установившийся режим найден для идеального цикла Стирлинга.

Тем самым выясняется, что минимальная достижимая температура охлаждаемого тела при данных допущениях мало зависит от свойств охлаждающих тел и определяется только начальной температурой (или температурой окружающей среды), а также степенью сжатия при работе компрессора (детандера) и свойствами хладагента, а именно, показателем адиабаты рабочего газа. Приведем несколько численных оценок. Если в качестве хладагента взять воздух, т.е. показатель адиабаты газа – $\gamma = 1,4$, то при степени сжатия $\frac{V_2}{V_1} = 3$ получим $T_\infty = 193,3 \text{ K}$, а при степени сжатия $\frac{V_2}{V_1} = 5$ – $T_\infty = 157,6 \text{ K}$. Если в качестве хладагента взять одноатомный газ, например гелий или аргон, то при трехкратном изменении объема получим $T_\infty = 144,2 \text{ K}$, а при пятикратном – $102,6 \text{ K}$.

Можно оценить также степень приближения к установившемуся режиму температуры хладагента. Для этого найдём зависимость величины $k = \frac{T_0 - T_{4n}}{T_0 - T_\infty}$ от n . С помощью формулы (7) находим $k = 1 - q^n$, т.е. k не зависит от T_0 . Для значения $\alpha = 1$ после пятикратного повторения получим $k = 76,3\%$, а при $n = 10$ – $k = 94,4\%$. Можно показать, что установившийся режим является устойчивым, и учет малых случайных изменений параметров системы не нарушит эту устойчивость.

В заключение выражаю благодарность проф. Н.Б. Енгибаряну за полезные обсуждения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Архаров А.М.** Низкотемпературные газовые машины. - М.: Машиностроение, 1969.-223 с.
2. **Архаров А.М., Буткевич К.С., Буткевич И.К., Миркин А.З.** Криогенные поршневые детандеры. -М.: Машиностроение, 1974.- 240 с.

3. **Суслов А.Д., Гороховский Г.А., Полтераус В.Б., Горшков А.М.** Криогенные газовые машины. - М.: Машиностроение, 1982.- 213 с.
4. **Белянов В. В.** Изв. Вузов. Машиностроение.- 1986.- N5.- С. 47.
5. **Цирлин А.М.** Необратимые оценки предельных возможностей термодинамических и микроэкономических систем.- М.: Наука, 2003.- 348 с.
6. **Абрамян Р.М.** Установление стационарного режима работы идеального двигателя Стирлинга с регенератором // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. Техн. наук.- 2010.- Т. 63, N3.- С. 341-346.

ГИУА (ПОЛИТЕХНИК). Материал поступил в редакцию 10.04.2014.

Ռ.Մ. ԱԲՐԱՀԱՄՅԱՆ

ԳԱԶԱՑԻՆ ՊԱՐԶԱԳՈՒՅՆ ՍԱՌԵՑՆՈՂ ՄԵՔԵՆԱՅԻ ԿԱՅՈՒՆԱՎՈՐՈՅՄԱՆ ՌԵԺԻՄԻ ՀԱՍՏԱՏՈՒՄԸ

Հետազոտված է գազային պարզագազային սառեցնող մեքենայի աշխատանքը՝ կախված կոմպրեսորի, դետանդերի և ջրային (օդային) հովացուցիչի հատկություններից: Ուսումնասիրված է այդ մեքենայի միացումից հետո կայունացված ռեժիմին հասնելու հնարավորությունը: Ստացված է բանող գազի սառեցուցիչի ջերմաստիճանի կախումը կրկնված քայլերի թվից: Բերված են ընդունված պայմանների դեպքում նվազագույն ջերմաստիճանի արժեքները օդի և հելիումի համար:

Առանցքային բառեր. գազային պարզագազային սառեցնող մեքենա, կայունացված ռեժիմ, կոմպրեսոր, դետանդեր, ջրային կամ օդային սառեցում:

R.M. ABRAHAMIAN

ACHIEVING THE ESTABLISHED OPERATION MODE OF A SIMPLEST GAS REFRIGERATING MACHINE

The operation of a simplest gas refrigerating machine depending on the characteristics of the compressor unit of the gas expansion machine and the water or air cooling is investigated. The possibility of achieving the established operation mode by the machine after the start is studied. The dependence of the refrigerant temperature on the number of repeated cycles is obtained. The values of the minimum temperature for air and helium under the given conditions are introduced.

Keywords: simplest gas refrigerating machine, established mode, compressor unit, gas – expansion machine, water or air cooling.

А.Х. ПАЛЯН, А.А. ПАЛЯН

**МЕТОД ВЗАИМОБЛОКИРОВКИ ПРИКЛАДНЫХ ПРОГРАММ В
РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ И ЕГО
ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ**

Представлен метод взаимоблокировки прикладных программ в локальных вычислительных сетях, реализация которого облегчает разработку распределенных приложений. Описана реализация метода в виде программного пакета. Отличительной особенностью серверной компоненты пакета является ее функционирование в многопоточном режиме, что обеспечивает параллельный доступ к сетевым мьютексам со стороны прикладных программ клиентов.

Ключевые слова: сетевой мьютекс, механизм сокетов, многопоточная обработка, реентерабельная программа, интерфейсная функция.

В современных локальных вычислительных сетях прикладные программы, функционирующие на различных узлах сети, могут использовать общие сетевые ресурсы (файл, принтер и т.д.). В зависимости от режима доступа к ресурсам (запись, чтение) может возникнуть необходимость захвата ресурса прикладными программами для монопольного использования. Подобная проблема, возникающая в режиме мультипрограммирования на одном узле сети, решается путем использования известных механизмов современных операционных систем (ОС). В одной из наиболее популярных ОС Windows 7 основным является механизм “мьютексов” (mutex – mutual exclusion). Также используются разновидности этого механизма под названием “критическая секция” и “семафор” [1]. Однако упомянутые мьютексы являются локальными в данном узле и не могут быть использованы для взаимоблокировки доступа к сетевым ресурсам.

Исходя из вышесказанного, возникает необходимость разработки специальных механизмов взаимоблокировки на сетевом уровне, поддерживаемых сетевыми ОС. В настоящее время широко распространены сетевые ОС фирмы Microsoft. К их числу принадлежат ОС Windows 7 для клиентских узлов сети и Windows Server для серверных узлов. Подробное рассмотрение этих ОС показывает, что в них отсутствуют какие-либо системные средства взаимоблокировки на сетевом уровне, предоставляемые прикладным программам.

В литературе [2] представлен ряд методов взаимоблокировки доступа к сетевым ресурсам в распределенных системах. Они делятся на две группы:

- централизованные методы (программа-координатор);

- распределенные методы (циркуляция маркера доступа).

Методы обеих групп реализуются на прикладном уровне, что усложняет программирование приложений и приводит к нестандартным решениям в разных группах взаимодействующих прикладных программ. Несмотря на указанные недостатки, реализация этих методов является, по-видимому, единственным решением проблемы взаимоблокировки на сетевом уровне при разработке распределенных прикладных программных систем на платформе сетевых ОС фирмы Microsoft.

Однако более перспективным представляется альтернативный **метод централизованной реализации сетевой взаимоблокировки на системном уровне в виде компоненты ОС**. В этом случае прикладные программы освобождаются от необходимости реализации сложных методов взаимоблокировки. Кроме того, такое решение повысит надежность программной системы в целом, особенно при использовании отказоустойчивых серверов.

Настоящая статья посвящена изложению данного метода и его реализации в виде программного пакета.

Центральной компонентой пакета является программа, функционирующая в среде Windows Server в статусе системного процесса управления сетевыми мьютексами (ПУСМ). Запросы на обладание сетевыми мьютексами от прикладных программ клиентских узлов обрабатываются интерфейсными функциями, взаимодействующими с ПУСМ посредством **механизма сокетов** [2].

В терминах этого механизма **ПУСМ является многоканальным серверным процессом, функционирующим в многопоточном режиме**. Основной поток процесса (main thread) прослушивает сеть и при появлении запроса с клиентского узла устанавливает с ним логическое соединение. Для непосредственного взаимодействия с клиентом по данному соединению создается отдельный поток (thread), выполняемый функцией потока. Такая организация ПУСМ позволяет параллельно обслуживать запросы с нескольких клиентских узлов.

Сетевые мьютексы реализуются в рамках ПУСМ в виде глобального массива 32 целых переменных. Мьютекс с номером i – это элемент массива $m[i]$ со следующими значениями:

- 0 – мьютекс свободен;
- 1 – мьютекс занят;
- >1 – мьютекс занят, имеется очередь к мьютексу.

С каждым мьютексом связана **очередь запросов** на обладание им в виде глобального массива структур (в терминах языка C++). Очередь функционирует в режиме “первый пришел – первым обслужен” по циклическому принципу. Элементом очереди является заявка от прикладной программы клиентского узла на обладание сетевым мьютексом.

Работа программного пакета схематически представлена на рисунке.

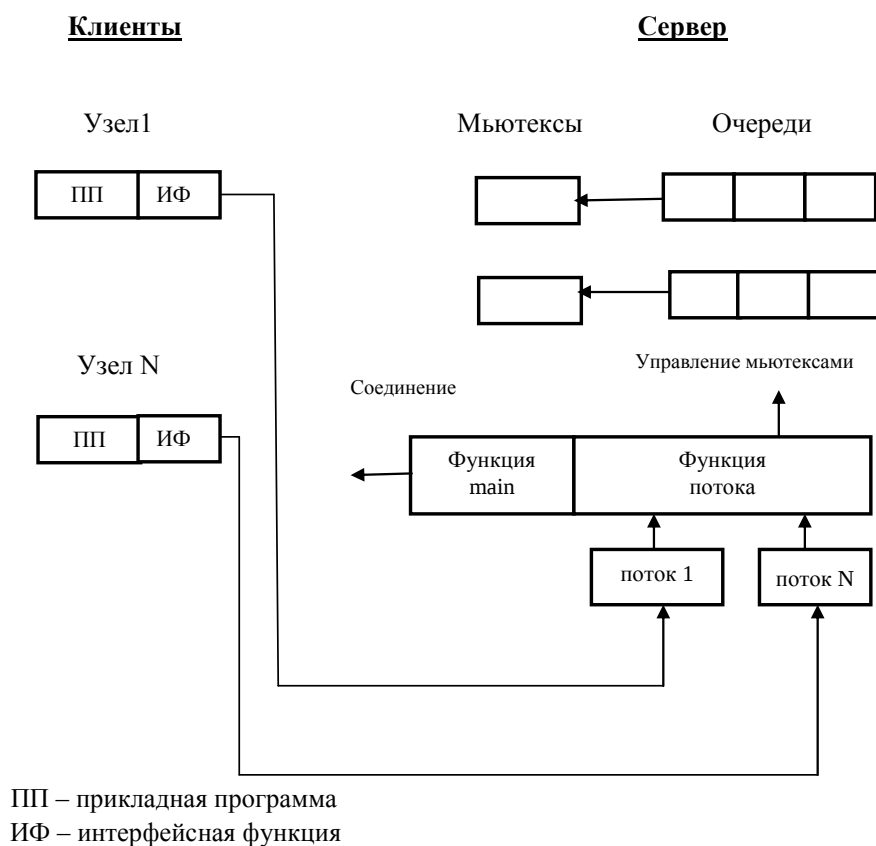


Рис. Схема взаимодействия программ в сети

Каждый поток осуществляет один и тот же алгоритм взаимодействия с клиентом, поэтому все потоки могут выполняться одной программой – функцией потока. Такая программа должна обладать свойством **реентерабельности**. Это свойство программы означает, что она может быть прервана в рамках одного потока и запущена с начальной точки в рамках другого потока. Для этого программа должна хранить локальные переменные в стеке того потока, в рамках которого она работает, что осуществляется автоматически и поэтому не вызывает проблем.

Сложнее дело обстоит с глобальными переменными - сетевыми мьютексами и очередями запросов. При одновременном обращении двух и более клиентов для захвата одного сетевого мьютекса $m[i]$ и, как следствие, параллельной работе программы в рамках разных потоков с одним сетевым мьютексом $m[i]$ и соответствующей очередью может возникнуть логическая ошибка. Для исключения этой ситуации программа должна работать с указанными данными строго последовательно. С этой целью с каждым сетевым мьютексом $m[i]$ и соответствующей

очередью связывается **локальный мьютекс Lm[i]**, поддерживаемый ОС Windows [1]. В ПУСМ создается 32 таких локальных мьютекса. Программа может работать с сетевым мьютексом m[i] и соответствующей очередью только после предварительного захвата Lm[i]. При занятости Lm[i] соответствующий поток перейдет в состояние ожидания. Работа с разными сетевыми мьютексами m[i] и соответствующими очередями может осуществляться программой параллельно в рамках разных потоков, поскольку пересечение по данным отсутствует.

В пакете имеются две интерфейсные функции. Захват сетевого мьютекса производится **функцией GetNetworkMutex(p1, p2, p3)**, а освобождение – функцией **ReleaseNetworkMutex(p1)**. Обе функции оформляются вместе в виде динамически связываемой библиотеки, что позволяет использовать их копии одновременно различными прикладными программами клиентского узла.

Параметры функции GetNetworkMutex:

p1 - номер запрашиваемого сетевого мьютекса. Это целое число в пределах 1-32;

p2 - предельное время ожидания предоставления мьютекса (в миллисекундах) либо указание о неограниченном ожидании;

p3 – номер порта, выделенного данной прикладной программе.

Механизм сокетов предполагает идентификацию каждой программы, взаимодействующей в сети, выделенным ей **номером порта**. Узел сети идентифицируется **сетевым адресом IP**.

Параметр функции ReleaseNetworkMutex:

p1 - номер освобождаемого сетевого мьютекса.

Рассмотрим процессы захвата и освобождения сетевых мьютексов. Для захвата сетевого мьютекса прикладная программа вызывает функцию *GetNetworkMutex()*, которая устанавливает логическое соединение с ПУСМ посредством механизма сокетов. ПУСМ создает отдельный поток для взаимодействия с функцией, которая передает потоку параметры запроса, а именно: номер запрашиваемого сетевого мьютекса и идентификационные данные о прикладной программе (IP, номер порта).

Далее поток определяет состояние мьютекса, и если он свободен, посылает положительный ответ функции *GetNetworkMutex()*, которая информирует прикладную программу о захвате мьютекса. Если мьютекс занят, то запрос устанавливается в соответствующую очередь, а функции посылается отрицательный ответ. Функция переводит себя и прикладную программу в состояние ожидания предоставления ей мьютекса. Логическое соединение с ПУСМ разрывается.

Для освобождения сетевого мьютекса прикладная программа вызывает функцию *ReleaseNetworkMutex()*, которая устанавливает логическое соединение с ПУСМ аналогичным способом. ПУСМ создает поток для взаимодействия с функцией, которая передает потоку номер освобождаемого сетевого мьютекса.

Поток выдает функции подтверждение об освобождении мьютекса, после чего логическое соединение функции с ПУСМ разрывается. Далее в случае наличия очереди к данному мьютексу поток выбирает первую заявку из очереди, в которой имеются идентификационные данные ожидающих прикладной программы и функции *GetNetworkMutex()*. Поток устанавливает логическое соединение с функцией и сообщает ей о выделении мьютекса. Функция информирует прикладную программу о захвате мьютекса. Логическое соединение разрывается.

Представленный программный пакет может использоваться разработчиками распределенных приложений в локальных вычислительных сетях под управлением сетевых ОС фирмы Microsoft.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Рихтер Дж.** Windows для профессионалов. – СПб.: Питер, 2001.- 752 с.
2. **Танненбаум Э.** Распределенные системы. Принципы и парадигмы.- СПб.: Питер, 2003.- 877 с.

ГИУА (ПОЛИТЕХНИК). Материал поступил в редакцию 10.02.2014.

Ա.Խ. ՊԱԼՅԱՆ, Ա.Ա. ՊԱԼՅԱՆ

ԲԱՇԽՎԱԾ ՀԱՇՎՈՂԱԿԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐՈՒՄ ԿԻՐԱՌԱԿԱՆ ԾՐԱԳՐԵՐԻ ՓՈԽԱՐԳԵԼԱՓԱԿՄԱՆ ՄԵԹՈՂԸ ԵՎ ՆՐԱ ԾՐԱԳՐԱՅԻՆ ԻՐԱԿԱՆԱՑՈՒՄԸ

Լոկալ հաշվողական ցանցերում կիրառական ծրագրերի փոխարգելափակման մեթոդի իրականացումը հեշտացնում է բաշխված կիրառությունների մշակումը: Ներկայացվում է այդ մեթոդն իրականացնող ծրագրային փաթեթը: Փաթեթի սերվերային մասի առանձնահատկությունն այն է, որ աշխատում է բազմահոսքային ռեժիմում, ինչը ապահովում է զուգահեռ հասանելիություն կլիենտների կիրառական ծրագրերի ցանցային մյուլթեքսներին:

Առանցքային բառեր. ցանցային մյուլթեքս, սոկետների մեխանիզմ, բազմահոսքային մշակում, կրկնակի գործարկվող ծրագիր, ինտերֆեյսային ֆունկցիա:

A.KH. PALYAN, A.A. PALYAN

A METHOD FOR THE APPLIED PROGRAM INTERLOCKING IN DISTRIBUTED COMPUTING SYSTEMS AND ITS SOFTWARE IMPLEMENTATION

A method of the applied program interlocking in the local area networks facilitating the design of distributed applications is presented. The software implementation of this method is described. The distinctive feature of the server part of the software is its operation in multithreaded mode that provides parallel access from the client applied program to network mutexes.

Keywords: network mutex, socket mechanism, multithreaded processing, reenterable program, interface function.

Ա.Հ. ԲԱԼԱԲԱՆՅԱՆ

ԻՆՏԵԳՐԱԼ ՄԽԵՄԱՅԻ ՄՆՄԱՆ ԼԱՐՄԱՆ ՇԵՂՄԱՆ ՀԱՅՏՆԱԲԵՐՄԱՆ ԵՎ
ԳՆԱՀԱՏՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ

Առաջարկվում է անալոգաթվային համակարգ, որը ինտեգրալ սխեմայի աշխատանքի ողջ ընթացքում հայտնաբերում և գնահատում է սնման լարման արժեքի շեղման չափը և գեներացնում համապատասխան ազդանշան՝ վերագործարկելու համար չիպի ներքին դիմադրության կարգաբերման սխեմաները: Մնման լարման շեղված արժեքը համեմատվում է հենակային արժեքի հետ, որը համակարգի աշխատանքի ընթացքում անընդհատ փոխվում է և ընդունում համապատասխանաբար նախորդ կարգաբերման պահին եղած սնման լարման արժեքը: Սկզբնական պահի հենակային լարումը աշխատանքի մեկնարկային պահի ինտեգրալ սխեմայի սնման լարումն է:

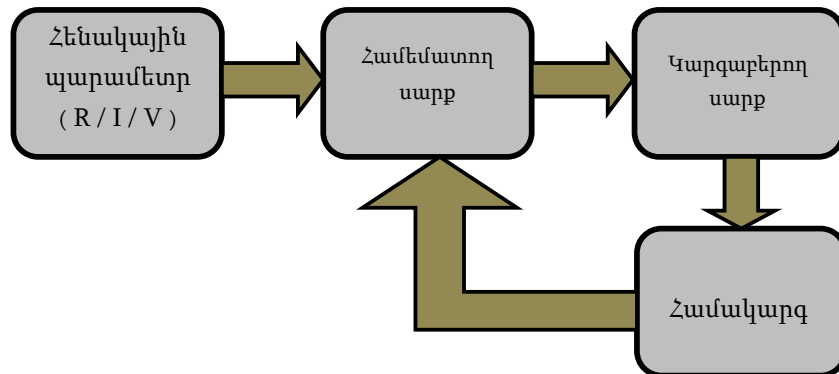
Առանցքային բառեր. ինտեգրալ սխեմա, դիմադրության կարգաբերում, սնման լարում, շեղման հայտնաբերում, մոդելավորում:

Ներածություն: Ինտեգրալ սխեմաների (ԻՄ) բաղադրիչների չափերի մասշտաբավորման և արագագործության աճին զուգահեռ մեծանում են դրանց պարամետրերի շեղումները արտաքին գործոնների (տեխնոլոգիական գործընթացի շեղումներ, լարման և ջերմաստիճանի տատանումներ) ազդեցությունից: Ժամանակակից ԻՄ աշխատանքային լարումները շատ ցածր են (0,8 % և ցածր) և համաչափելի են տարբեր պատճառներով առաջացած աղմուկներին: Ուստի սխեմայի բաղադրամասերի՝ կոդմակի ազդեցություններից հնարավորինս անկախ պարամետրերի ապահովումն անխուսափելի է և խիստ անհրաժեշտ:

Ժամանակակից ԻՄ ամենահատկանշական և անկայուն պարամետրերից է ՄՕԿ (մետաղ-օքսիդ-կիսահաղորդիչ) տեխնոլոգիայով իրականացվող ռեզիստորի դիմադրությունը: Նման ռեզիստորները ստացվում են ՄՕԿ տրանզիստորների միջոցով [1]: ՄՕԿ ռեզիստորի դիմադրության շեղումը տեխնոլոգիական գործընթացի, լարման և ջերմաստիճանի (*SGL*) փոփոխություններից կարող է հասնել մինչև 50% [2]:

Դիմադրության կայուն արժեքներ պահանջվում է ապահովել ԻՄ մի շարք հանգույցներում, ինչպիսիք են մուտք/ելք հանգույցների եզրային դիմադրությունները, որոնց առկայությունը անհրաժեշտ է փոխանցման գծերում ազդանշանների անդրադարձումներից խուսափելու համար [3]: Անդրադարձումները փոխանցման գծերում կարող են առաջացնել պատահական տրամաբանական սխալ փոխանջատումներ: Նշված երևույթի հետևանքով համակարգի ֆունկցիոնալությունը կարող է խափանվել աշխատանքային որոշ պայմաններում, ինչպիսիք են բարձր ջերմաստիճանները (100° C և բարձր) կամ սնման լարման շեղումները անվանական (նոմինալ) արժեքից:

ԻՄ դիմադրությունների շեղումների չափը գնահատելու և փոքրացնելու համար օգտագործվում են կարգաբերման սխեմաներ [2,4,5]: Կարգաբերման համար անհրաժեշտ պայման է որևէ հենակային պարամետրի առկայությունը, որի հետ համեմատման և կարգաբերման միջոցով դիմադրության մեծությունը բերվում է անվանական արժեքի (նկ. 1):



Նկ. 1. Կարգաբերման համակարգի կառուցվածքը

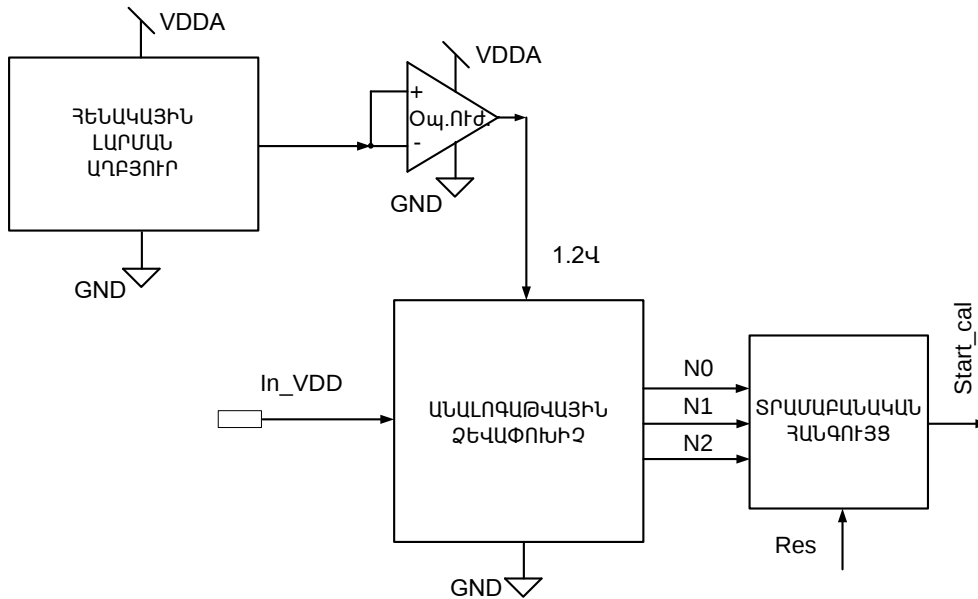
Գոյություն ունեն ՄՕԿ դիմադրության շեղման գնահատման և կարգաբերման մի շարք մեթոդներ, որոնց դեպքում օգտագործվում են հենակային տարբեր պարամետրեր: Ամենատարածված մեթոդներից մեկը արտաքին բարձր (0,01%) ճշտությամբ ռեզիստորի օգտագործմամբ կարգաբերումն է: Այս եղանակն ապահովում է մոտ 2% դիմադրության վերականգնում [4]: Մեկ այլ կարգաբերման համակարգում որպես հենակային պարամետր օգտագործվում է քվարցային գեներատորի հենակային տակտային ազդանշանի հաճախությունը (100 ՄՀց), որն առկա է ժամանակակից գրեթե բոլոր ԻՄ-երում [2]: Գոյություն ունեն նաև համակարգեր, որտեղ դիմադրության կարգաբերման համար որպես հենակային պարամետր օգտագործվում է հենակային լարման աղբյուրի լարումը [5]:

Ներկայումս կիրառվող ԻՄ-երում սովորաբար դիմադրությունը կարգաբերվում և դիմադրության անվանական արժեք է հաստատվում սխեմայի աշխատանքի մեկնարկային պահին, որից հետո ԻՄ-ն անցնում է նորմալ աշխատանքային ռեժիմի: Դա կարող է հանգեցնել դիմադրության անվանական արժեքից զգալի շեղման՝ ՏԳԼՋ փոփոխության արդյունքում: Կարգաբերման ավարտից հետո կարգաբերման համակարգն անջատվում է: ԻՄ հետագա աշխատանքի ընթացքում նրա աշխատանքային ջերմաստիճանը, ինչպես նաև սնման լարման արժեքը զգալիորեն կարող են փոխվել: Հետևաբար, ԻՄ աշխատանքի մեկնարկային պահին դիմադրության կարգաբերված արժեքը նույնպես կարող է էապես փոխվել:

ԻՄ վերոնշյալ թերությունը վերացնելու համար մշակվել է մի համակարգ, որը ԻՄ աշխատանքի ողջ ընթացքում գնահատում է սնման լարման շեղման աստիճանը՝

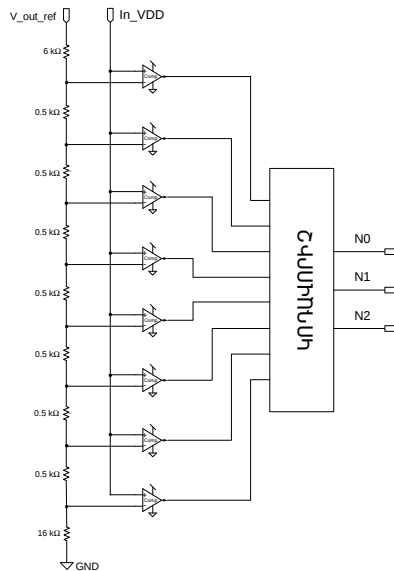
անհրաժեշտության դեպքում դիմադրության կարգաբերման սխեման կրկին մեկնարկելու և դիմադրության արժեքը անվանականին վերադարձնելու համար:

Մշակված համակարգի ճարտարապետությունը: ԻՄ սնման լարման շեղումը հայտնաբերող և գնահատող մշակված համակարգը բաղկացած է անալոգային և թվային հանգույցներից (նկ. 2):



Նկ. 2. ԻՄ սնման լարման շեղումը հայտնաբերող և գնահատող համակարգ

Սնման լարման շեղումը հայտնաբերվում է անալոգային հանգույցի միջոցով, իսկ համեմատումը անվանական արժեքի հետ՝ թվայինով: ԻՄ մեկնարկման պահին եղած սնման լարման արժեքը համարվում է հենակային, և այդ պահի ԳԼՋ պայմանների համար կատարվում է դիմադրության առաջին կարգաբերումը: ԻՄ հետագա աշխատանքի ընթացքում շեղված սնման լարումը համեմատվում է նախորդ կարգաբերման պահի սնման լարման արժեքի հետ տրամաբանական թվային հանգույցում՝ երկուական կոդերի տեսքով: Սնման լարման սկզբնական արժեքը անալոգա-թվային ձևափոխիչով (ԱԹՉ) փոխակերպվում է երկուական կոդի և ինտեգրալ սխեմայի հետագա աշխատանքի ընթացքում պահպանվում է հիշող ռեգիստրում, որը տրամաբանական թվային հանգույցի մաս է կազմում (նկ. 2): Երբ սնման լարումը շեղվում է հենակային արժեքից, փոխվում է նաև ԱԹՉ-ի [6] (նկ. 3) ելքային երկուական կոդը: Եթե հենակային կոդի հետ համեմատման արդյունքում լինում է տարբերություն, տրամաբանական հանգույցը ձևավորում է ելքային Start_cal ազդանշան, որը կրկին մեկնարկում է կարգաբերման համակարգերը՝ դիմադրության արժեքը դարձյալ անվանականին վերադարձնելու համար:



Նկ. 3. Անալոգաթվային ձևափոխիչի սխեման

Սնման լարման շեղումը հայտնաբերելու նպատակով անհրաժեշտ է, որ ԱԹՁ-ն լինի հնարավորինս անկախ սնման լարման և ջերմաստիճանի փոփոխություններից: Այդ պատճառով առաջարկվող սխեմայում որպես ԱԹՁ-ի սնման լարում օգտագործվել է հենակային լարման աղբյուրի ելքային լարումը, որը սնման լարման, ջերմաստիճանի և տեխնոլոգիական գործընթացի բոլոր հնարավոր շեղումների ընթացքում ապահովում է 1,2 Վ լարում (V_{out_ref})՝ առավելագույնը 2,1% շեղումով [7]:

Օպերացիոն ուժեղարարը մշակված համակարգում օգտագործվում է որպես կրկնիչ և նախատեսված է հենակային լարման աղբյուրի ելքային լարումն ուժեղացնելու և ԱԹՁ-ն սնելու համար: Օպերացիոն ուժեղարարի շեղումները ԳԼՋ տատանումների նկատմամբ անհամեմատ փոքր են, և նրա ազդեցությունը համակարգի աշխատանքի վրա կարելի է անտեսել [8]: Օպերացիոն ուժեղարարի և հենակային լարման աղբյուրի սնման լարման անվանական արժեքը 1,8 Վ է:

ԱԹՁ-ի դիմադրությունների արժեքներն ընտրված են այնպես, որ համեմատիչների բացասական մուտքերում որպես հենակային լարում ստացվեն դիտարկվող սնման լարման (In_VDD) առավելագույն շեղումներին շատ մոտ լարումներ: Դիտարկվող սնման լարման անվանական արժեքը 0,85 Վ է, որը կարող է աշխատանքի ընթացքում ունենալ $\pm 10\%$ շեղում և տատանվել (0,765 ... 0,935 Վ) միջակայքում: Համեմատիչների մյուս մուտքային լարումները նույնպես ընկած են այս միջակայքում, ինչը կարևոր պայման է համակարգի ճշտությունը մեծացնելու համար: Նախագծված ԱԹՁ-ի ելքային կոդը փոխվում է 1 բիթով, երբ In_VDD սնման լարումը ենթարկվում է մոտ 25 μV շեղման:

Նախագծված հենակային լարման աղբյուրի սխեմայի հիմքում ընկած է դասական հենակային լարման աղբյուրի ճարտարապետությունը, որտեղ հենակային լարումը ստեղծվում է երկբևեռ տրանզիստորների միջոցով (նկ. 4): Հենակային լարումը ներկայացնում է երկու լարումների գումար. երկբևեռ տրանզիստորի V_{pt} լարումը հակադարձ համեմատական է ջերմաստիճանին, իսկ երկու երկբևեռ տրանզիստորների V_{pt} լարումների տարբերությունը ուղիղ համեմատական է ջերմաստիճանին:

Նախագծված սխեման տիպային հենակային լարման աղբյուրի համեմատ շատ ավելի ճշգրիտ է [7], որը պայմանավորված է նրանով, որ սխեմայի ճյուղերով հոսանքը հոսում է ոչ թե մեկական UOY տրանզիստորներով, այլ՝ կասկոդային տրանզիստորներով (կասկոդային միացման դեպքում տրանզիստորի հոսքուղու մոդուլյացիայի երևույթը շատ փոքր է, և այն կարելի է անտեսել):

Առաջին ճյուղի երկբևեռ տրանզիստորը ներկայացնում է 8 զուգահեռ միացված երկբևեռ տրանզիստորներ ($N = 8$): Օպերացիոն ուժեղարարի մուտքային լարումները պետք է լինեն հավասար, ինչն իրականացվում է բացասական հետադարձ կապի շնորհիվ՝ օպերացիոն ուժեղարարի ելքը հոսանքի աղբյուր հանդիսացող տրանզիստորներին միացնելով: Հենց ուժեղարարի ելքն էլ այդ տրանզիստորի կառավարող լարումն է: Հենակային լարման աղբյուրի երկբևեռ տրանզիստորներ պարունակող ճյուղերին միացված են օպերացիոն ուժեղարարի մուտքերը, որոնցում հավասար լարումներ ստանալու համար անհրաժեշտ է, որ բացասական հետադարձ կապը գերակշռի դրական հետադարձ կապին: Ճյուղերից մեկով հոսող հոսանքը հավասար է $VTlnn/R1$, և քանի որ երկու ճյուղերի UOY տրանզիստորները միանման են, ապա նույն հոսանքը կհոսի նաև սխեմայի երկրորդ ճյուղով՝ $R2$ դիմադրության վրա ստեղծելով լարման անկում, որն ուղիղ համեմատական է բացարձակ ջերմաստիճանին և հավասար է $(R2/R1)VTlnn$: Ինչպես հայտնի է, V_{pt2} լարումը հակադարձ համեմատական է բացարձակ ջերմաստիճանին, հետևաբար՝ այս երկու լարումների գումարը կներկայացնի հենակային լարում, որը գրեթե կախված չէ բացարձակ ջերմաստիճանի փոփոխությունից:

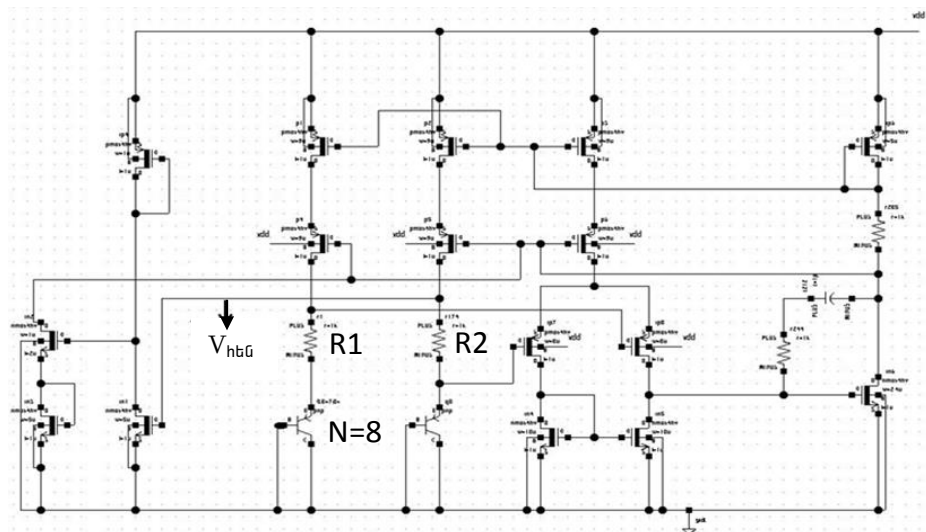
$$V_{hkn} = V_{pt2} + (R2/R1)VTlnn: \quad (1)$$

Նորմալ պայմաններում 1,2 φ հենակային լարում ստանալու դեպքում [9]՝

$$V_{hkn} = V_{pt2} + 17,2 VT: \quad (2)$$

Այսպիսով, նախատեսված արդյունք ստանալու համար անհրաժեշտ է բավարարել հետևյալ պայմանը՝

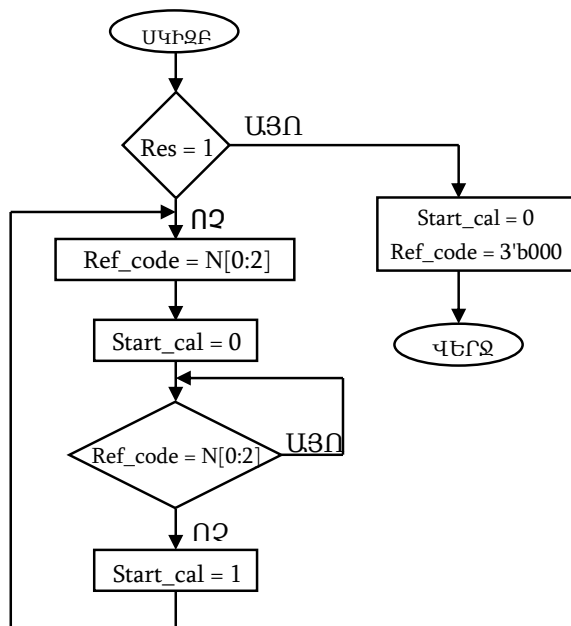
$$(R2/R1)lnn = 17,2: \quad (3)$$



Նկ. 4. Հենակային լարման աղբյուր

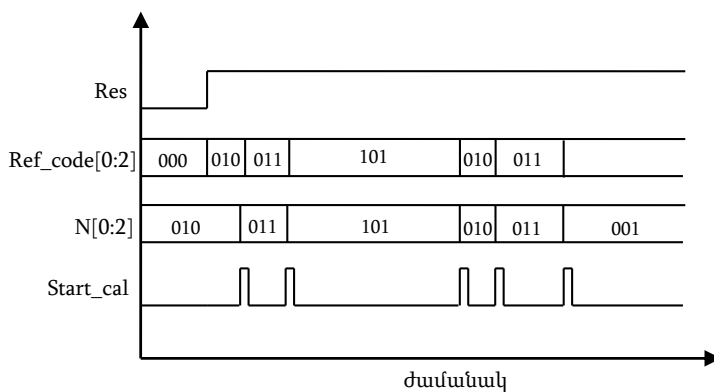
Սնման լարման շեղման հայտնաբերման մեխանիզմը: Առաջարկվող մեթոդը հնարավորություն է ընձեռում հայտնաբերել սնման լարման անգամ փոքր շեղումները և վերագործարկել ԻՍ առկա դիմադրության կարգաբերման սխեմաները՝ լարման փոփոխման պատճառով դիմադրության արժեքը նոմինալին վերադարձնելու համար: Համակարգում անալոգային սնման լարումը ԱԹՁ-ի միջոցով փոխակերպվում է 3-բիթ թվային կոդի, որը տրամաբանական հանգույցը համեմատում է ԻՍ մեկնարկային պահին եղած կոդի հետ և անհավասարության դեպքում ձևավորում կարգաբերման համակարգերի վերագործարկման Start_cal ազդանշան (նկ. 5):

Երբ համակարգը գրոյացնող Res ազդանշանը ակտիվ է՝ $Res = 1$, ուրեմն համակարգն անջատված է և գտնվում է ոչ աշխատանքային ռեժիմում: Այս դեպքում ելքային Start_cal և սնման լարման սկզբնական կոդը պահպանող Ref_code ռեգիստրի արժեքները հավասար են 0-ի: Երբ Res ազդանշանը ակտիվ չէ և հավասար է 0-ի, տրամաբանական հանգույցը հիշում և պահպանում է ԱԹՁ-ի ելքային կոդը (N): Աշխատանքի ողջ ընթացքում կատարվում է տվյալ պահի ելքային N[0:2] կոդի և հենակային Ref_code ռեգիստրի արժեքների համեմատում: Եթե առկա է թեկուզ 1 բիթի տարբերություն, ապա համակարգը ձևավորում է Start_cal ազդանշանի դրական իմպուլս և կրկին շարունակում ԱԹՁ-ի ելքային N[0:2] կոդի և հենակային Ref_code կոդի համեմատումը, որը շարունակվում է ԻՍ աշխատանքի ողջ ընթացքում: Որպես հենակային կոդ հանդիսանում է վերջին կարգաբերման պահին ԱԹՁ-ի ելքային կոդը, որը գրանցվում է Ref_code ռեգիստրում Start_cal ազդանշանի դրական իմպուլսով:



Նկ. 5. Սնման լարման շեղման հայտնաբերման մեխանիզմը

Նկ. 6-ում բերված է տրամաբանական հանգույցի ժամանակային պարզեցված դիագրամը՝ հիմնված սնման լարման շեղման հայտնաբերման մեխանիզմի վրա, որտեղ Res-ը տրամաբանական թվային հանգույցը զրոյացնող ազդանշանն է, Ref_code-ը՝ նախորդ կարգաբերման պահին սնման լարման արժեքին համապատասխանող 3-բիթ կոդը պահպանող ռեգիստրը, N-ը՝ ԱԹՁ-ի ելքային 3-բիթ կոդը (արժեքները ժամանակային դիագրամում ընտրված են պատահականորեն), իսկ Start_cal-ը՝ համակարգի ելքային ազդանշանը, որի դրական իմպուլսների միջոցով վերագործարկվում է դիմադրության կարգաբերման համակարգը:



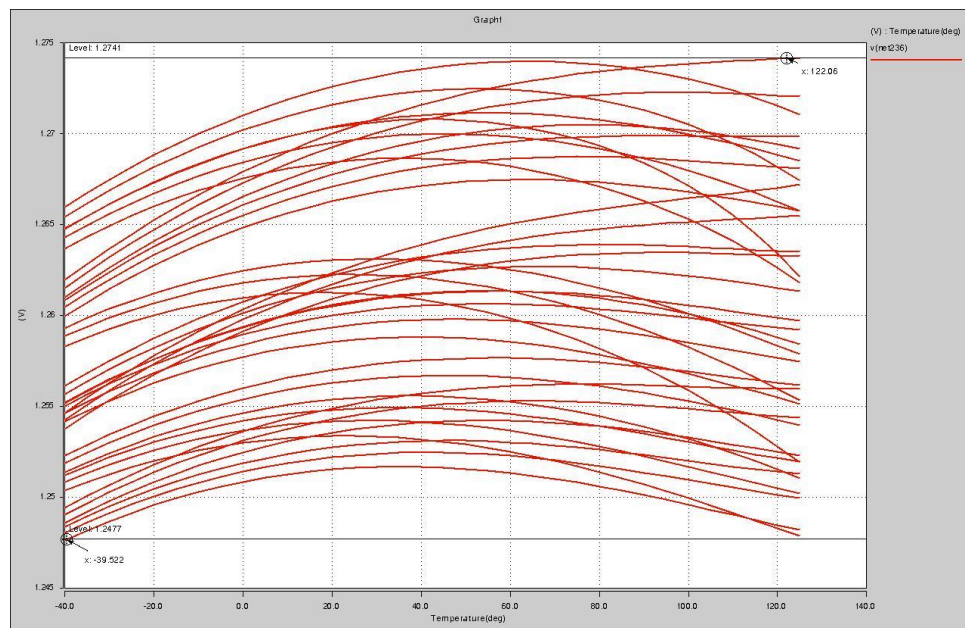
Նկ. 6. Տրամաբանական հանգույցի ժամանակային պարզեցված դիագրամը

Մոդելավորման արդյունքները: Համակարգի աշխատանքի մոդելավորումն իրականացվել է 28 նմ տեխնոլոգիական գործընթացի համար Hspice ծրագրային գործիքով [10]: Մոդելավորման արդյունքները ցույց են տալիս, որ դիտարկվող In_VDD սնման լարման արժեքի դեպքում ԱԹՁ-ի ելքային կոդը չի փոփոխվում: Դա կատարվում է համակարգում օգտագործված 2,1% ճշտությամբ (4) հենակային լարման աղբյուրի միջոցով:

$$\Delta = \frac{V_{\text{max}} - V_{\text{min}}}{V_{\text{min}}} \cdot 100\% = \frac{1,2741 - 1,2477}{1,2477} \cdot 100\% \approx 2,1: \quad (4)$$

Հենակային լարման աղբյուրի աշխատանքը մոդելավորվել է շուրջ 40 դեպքերում՝ հաշվի առնելով բոլոր հնարավոր SGLQ պայմանները: Հենակային լարումը առավելապես կախված է ջերմաստիճանից, և այդ կախվածությունը բերված է նկ. 7-ում:

Կայուն սնման լարման շնորհիվ ԱԹՁ-ի համեմատիչների շեղումը այնքան փոքր է, որ դա չի հանգեցնում սխալ փոխանջատման:

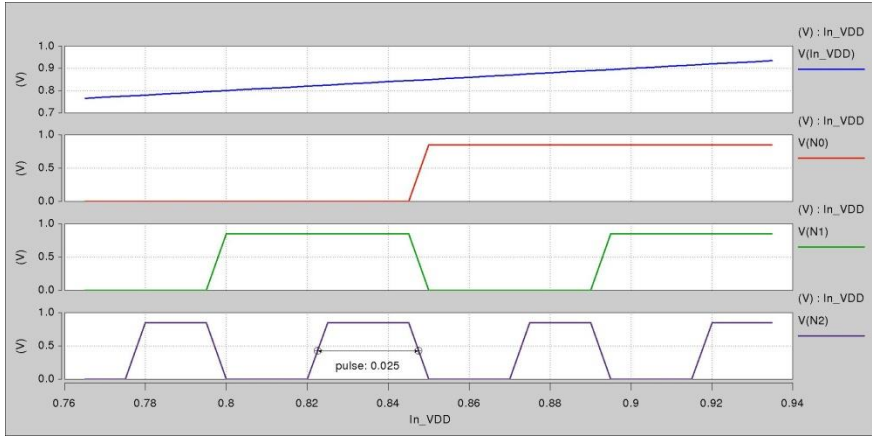


Նկ. 7. Հենակային լարման կախվածությունը ջերմաստիճանից ԳԼՁ 39 դեպքերում

Նկ. 8-ում բերված են ԱԹՁ-ի ելքային կոդը պատկերող ազդանշանները մուտքային In_VDD սնման լարման արժեքի հնարավոր ողջ տիրույթում (0,765 ... 0,935 Վ):

Նկ. 8-ից պարզ է, որ ելքային երկուական կոդը պարունակում է հնարավոր բոլոր կոմբինացիաները մուտքային լարման փոփոխման նշված տիրույթում: ԱԹՁ-ի ելքային երկուական կոդերի 1-բիթ տարբերությանը համապատասխանող լարման առավելագույն արժեքը որոշում է սարքի ճշտությունը: N2 ազդանշանից ակնհայտ է դառնում,

որ մուտքային In_VDD սնման լարման արժեքի առավելագույն 25 մՎ շեղման դեպքում ԱԹՁ-ի ելքային կոդը փոխվում է 1-բիթով:



Նկ. 8. ԱԹՁ-ի մուտքային և ելքային ազդանշանները

Աղյուսակում ներկայացված են ԱԹՁ-ի ելքային կոդերը և դրանց համապատասխանող մուտքային In_VDD սնման լարման արժեքների տիրույթները՝ ըստ նկ. 8-ում բերված ազդանշանների: Երկու հարևան կոդերին համապատասխանող մուտքային լարումների միջև գոյություն ունի անցումային տիրույթ, որը կազմում է 5 մՎ:

Աղյուսակ

ԱԹՁ-ի մուտքային և ելքային ազդանշանների արժեքները

In_VDD (Վ)	N [0:2]	ΔIn_VDD (մՎ)	Անցումային տիրույթ (մՎ)
0.765 ... 0.775	000	10	5
0.780 ... 0.795	001	15	5
0.800 ... 0.820	010	20	5
0.825 ... 0.845	011	20	5
0.850 ... 0.870	100	20	5
0.875 ... 0.890	101	15	5
0.895 ... 0.915	110	20	5
0.920 ... 0.935	111	15	5

Ամփոփում: Մշակվել և նախագծվել է անալոգաթվային համակարգ, որը ինտեգրալ սխեմայի աշխատանքի ողջ ընթացքում հայտնաբերում և գնահատում է սնման լարման արժեքի շեղման չափը և գեներացնում համապատասխան ազդանշան՝ վերագործարկելու համար չիպի ներքին դիմադրության կարգաբերման սխեմաները:

Առաջարկված մեթոդն իրականացվում է 3 հիմնական փուլերով.

1. Սկզբնական պահի հենակային լարումը աշխատանքի մեկնարկային պահի ինտեգրալ սխեմայի սնման լարումն է:

2. Սնման լարման շեղված արժեքը համեմատվում է հենակային արժեքի հետ, որը համակարգի աշխատանքի ընթացքում անընդհատ փոխվում է և ընդունում համապատասխանաբար նախորդ կարգաբերման պահի սնման լարման արժեքը:

3. Համակարգում տեղի է ունենում ելքային ազդանշանի փոխանջատում, երբ թվային հանգույցը հայտնաբերում է անալոգաթվային ձևափոխիչի ելքային կոդի 1—բիթ տարբերությունը, որը համապատասխանում է դիտարկվող սնման լարման արժեքի առավելագույն 25 μ V շեղմանը:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. MOS Characteristics and a Modified Linear MOS Resistor / **K. Balasubramanian, K. Vineeth, et al** // IEEE International Conference for Technical Postgraduates.- December 14-15, Kuala Lumpur, Malaysia, 2009.- P. 1-4.
2. **Melikyan V., Balabanyan A., Hayrapetyan A., Durgaryan A.** NMOS/PMOS Resistance Calibration Method Using Reference Frequency // Conference on Computer Science and Information Technologies.- Yerevan, Armenia, September 23-27, 2013.- P. 352-355.
3. **Zolog M., Pitică D.** Analysis of the effect of nonlinear input/output characteristics of digital integrated circuits on signal integrity // IEEE 31st International Spring Seminar on Electronics Technology.- Budapest, 2008.- P. 604-609.
4. Receiver/Transmitter Input/Output Termination Resistance Calibration Method / **V. Melikyan, A. Balabanyan, et al** // IEEE XXXIII International Scientific Conference on Electronics and Nanotechnology.- Kyiv, Ukraine, 2013, April 16-19.- P. 126-130.
5. Process and Temperature Compensation in a 7-MHz CMOS Clock Oscillator / **K. Sundaresan, Ph. Allen, et al** // IEEE Journal of Solid-State Circuits. February 2006.-Vol. 41, No. 2.- P. 433-442.
6. **Baker J.** CMOS Circuit design, layout and simulation. -2008. - 1045 p.
7. **Melikyan V., Balabanyan A., Durgaryan A., Babayan E.** Decreasing Frequency Variation in High-Speed Ring Oscillator Using Bandgap Reference // XXXII International Scientific Conference on Electronics and Nanotechnology.- Kyiv, Ukraine, April 10-12, 2012.- P. 79-80.
8. Performance Evaluation of a 32-nm CNT-OPAMP: Design, Characteristic Optimization and Comparison with CMOS Technology / **F. Rahman, et al** // IEEE 14th International Conference on Computer and Information Technology.- Dhaka, Bangladesh, December 22-24, 2011.- P. 583-588.
9. **Razavi B.** Fundamentals of Microelectronics. -2006. - 833 p.
10. Hspice Application Manual, Synopsys Inc. -2010. - 196 p.

ՀՊՃՀ (ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿ): Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 28.12.2013:

А.Г. БАЛАБАНЯН

**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ И ОЦЕНИВАНИЯ ОТКЛОНЕНИЯ
НАПРЯЖЕНИЯ ПИТАНИЯ ИНТЕГРАЛЬНОЙ СХЕМЫ**

Предложена аналого-цифровая система, которая обнаруживает и оценивает размер колебания напряжения питания во время работы интегральной схемы и генерирует соответствующий сигнал для перезагрузки схем калибровки сопротивления. Измененное напряжение питания сравнивается с опорным значением, которое постоянно меняется во время работы системы и принимает значение, соответствующее напряжению питания при предыдущей калибровке. В первый момент опорное напряжение является напряжением питания при запуске интегральной схемы.

Ключевые слова: интегральная схема, калибровка сопротивления, напряжение питания, обнаружение отклонения, симуляция.

A.H. BALABANYAN

**DEVELOPING A SYSTEM FOR DETECTING AND ESTIMATING THE SUPPLY
VOLTAGE DEVIATION OF AN INTEGRATED CIRCUIT**

An analog-to-digital system detecting and estimating the size of variation of the supply voltage value at the integrated circuit operation, and generating an appropriate signal for restarting the internal resistance calibration circuits is proposed. The changed supply voltage is compared with the reference value which is changed during the operation and is equal to the supply voltage value respectively at previous calibration. At the first moment, the reference voltage is the supply voltage at the integrated circuit startup.

Keywords: integrated circuit, resistance calibration, supply voltage, deviation detection, simulation.

С.О. СИМОНЯН

ДЕКОМПОЗИЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ
ОДНОПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ОБОБЩЕННЫХ ОБРАТНЫХ МАТРИЦ (I)

Предложены конструктивные аналитические и численно-аналитические матрично-векторные методы определения комплексных однопараметрических обобщенных обратных матриц Мура-Пенроуза, основанные на дифференциальных преобразованиях Пухова. Приведены результаты решения одного модельного примера.

Ключевые слова: комплексные однопараметрические матрицы, обобщенные обратные матрицы, декомпозиция, дифференциальные преобразования, конструктивные матрично-векторные методы.

Введение. Однопараметрические матрицы и их обобщенные обратные матрицы достаточно часто встречаются при решении различных задач систем управления [1], сингулярных систем дифференциальных уравнений [2], обыкновенных дифференциальных уравнений с переменными коэффициентами [3], задач с полиномиальными матрицами [4], в марковских цепях [5] и многих других. Однако прямое применение известных вычислительных методов численной алгебры для решения этих задач принципиально невозможно из-за функциональности соответствующих матриц, что диктует необходимость использования альтернативных подходов разрешения этой проблемы.

Как показывают исследования, для решения рассматриваемой проблемы весьма эффективным средством оказываются дифференциальные преобразования Пухова [6], на основе которых в настоящей работе предлагаются конструктивные аналитические и численно-аналитические декомпозиционные методы определения комплексных однопараметрических обобщенных обратных матриц Мура-Пенроуза.

Математический аппарат. Представим аналитические и численно-аналитические методы решения рассматриваемой задачи, воспользовавшись подходом, предложенном в [7], а также имея в виду результаты, полученные в [8-15].

Сначала заметим, что при параметрических матрицах $A(t)$ и $X(t) = A^+(t)$ по аналогии с условиями для числовых матриц [16] должны иметь место следующие условия Мура-Пенроуза:

$$A(t) \cdot X(t) \cdot A(t) = A(t), \quad (1)$$

$$X(t) \cdot A(t) \cdot X(t) = X(t), \quad (2)$$

$$[A(t) \cdot X(t)]^* = A(t) \cdot X(t), \quad (3)$$

$$[X(t) \cdot A(t)]^* = X(t) \cdot A(t), \quad (4)$$

где параметр t может быть временем, оператором Лапласа или другим параметром, а символ $*$ - знак комплексного сопряжения. Заметим также, что соотношения (1)-(4) имеют место всегда, вне зависимости от выполнения следующих возможных двойных условий:

$$A(t) \cdot X(t) = E_{mxm}, X(t) \cdot A(t) = E_{nzn}; \quad (5)$$

$$A(t) \cdot X(t) = E_{mxm}, X(t) \cdot A(t) \neq E_{nzn}; \quad (6)$$

$$A(t) \cdot X(t) \neq E_{mxm}, X(t) \cdot A(t) = E_{nzn}; \quad (7)$$

$$A(t) \cdot X(t) \neq E_{mxm}, X(t) \cdot A(t) \neq E_{nzn}. \quad (8)$$

Далее, представив исходную матрицу в виде

$$A(t)_{mxn} = B(t)_{mxn} + j \cdot C(t)_{mxn}, \quad (9)$$

а обобщенную обратную ей – в виде

$$X(t)_{nzm} = G(t)_{nzm} + j \cdot H(t)_{nzm}, \quad (10)$$

в которых $B(t)$, $G(t)$ и $C(t)$, $H(t)$ - соответственно матрицы действительных и мнимых частей (9) и (10), будем оперировать условием Мура-Пенроуза (1), при котором

$$\begin{aligned} A(t) &= B(t) + j \cdot C(t) = A(t) \cdot X(t) \cdot A(t) = \\ &= [B(t) + j \cdot C(t)] \cdot [G(t) + j \cdot H(t)] \cdot [B(t) + j \cdot C(t)] = \\ &= [B(t) \cdot G(t) \cdot B(t) - C(t) \cdot H(t) \cdot B(t) - B(t) \cdot H(t) \cdot C(t) - C(t) \cdot G(t) \cdot C(t)] + \\ &+ j \cdot [B(t) \cdot H(t) \cdot B(t) + C(t) \cdot G(t) \cdot B(t) + B(t) \cdot G(t) \cdot C(t) - C(t) \cdot H(t) \cdot C(t)]. \end{aligned} \quad (11)$$

Отсюда имеем следующую систему матричных уравнений второго порядка с неизвестными матрицами $G(t)$ и $H(t)$:

$$\begin{cases} B(t) = B(t) \cdot G(t) \cdot B(t) - C(t) \cdot H(t) \cdot B(t) - B(t) \cdot H(t) \cdot C(t) - C(t) \cdot G(t) \cdot C(t), \\ C(t) = B(t) \cdot H(t) \cdot B(t) + C(t) \cdot G(t) \cdot B(t) + B(t) \cdot G(t) \cdot C(t) - C(t) \cdot H(t) \cdot C(t), \end{cases} \quad (12)$$

порожденную приравнованием действительных и мнимых слагаемых в левой и правой частях соотношения (11).

Аналитическое решение (1-й вариант). Нетрудно убедиться, что систему матричных уравнений (12) можно представить и в виде следующего матрично-блочного эквивалента

$$\begin{bmatrix} [B(t) \cdot G(t) - C(t) \cdot H(t)] & [-B(t) \cdot H(t) - C(t) \cdot G(t)] \\ [B(t) \cdot H(t) + C(t) \cdot G(t)] & [B(t) \cdot G(t) - C(t) \cdot H(t)] \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} B(t) \\ C(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B(t) \\ C(t) \end{bmatrix} \quad (13)$$

или, что одно и то же, эквивалента

$$\begin{bmatrix} B(t) & -C(t) \\ C(t) & B(t) \end{bmatrix}_{2mx2n} \cdot \begin{bmatrix} G(t) & -H(t) \\ H(t) & G(t) \end{bmatrix}_{2nx2m} \cdot \begin{bmatrix} B(t) \\ C(t) \end{bmatrix}_{2mxn} = \begin{bmatrix} B(t) \\ C(t) \end{bmatrix}_{2mxn}. \quad (14)$$

Из представления (14) следует, что

$$\begin{bmatrix} B(t) & -C(t) \\ C(t) & B(t) \end{bmatrix}_{2mx2n} \cdot \begin{bmatrix} G(t) & -H(t) \\ H(t) & G(t) \end{bmatrix}_{2nx2m} = E_{2mx2m}, \quad (15)$$

где E - единичная матрица порядка $2m$. Тогда аналитическое решение матрично-блочного уравнения (15) примет вид

$$\begin{bmatrix} G(t) & -H(t) \\ H(t) & G(t) \end{bmatrix}_{2nx2m} = \begin{bmatrix} B(t) & -C(t) \\ C(t) & B(t) \end{bmatrix}_{2nx2m}^+, \quad (16)$$

где символ $+$ - знак обобщенной обратной матрицы. Далее, имея матричные блоки $G(t)$ и $H(t)$ в соответствии с (16), можно получить окончательное решение исходной задачи в виде соотношения (10).

Аналитическое решение (2-й вариант). Систему матричных уравнений (12) можно представить и в виде следующего матрично-блочного-строчного эквивалента:

$$\begin{bmatrix} B(t) & C(t) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \begin{bmatrix} G(t) & -H(t) \\ -H(t) & G(t) \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} H(t) & B(t) \\ G(t) & -H(t) \end{bmatrix} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B(t) & C(t) \end{bmatrix} \quad (17)$$

или, что одно и то же, эквивалента

$$\begin{bmatrix} B(t) & C(t) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} G(t) & H(t) \\ -H(t) & G(t) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} B(t) & C(t) \\ -C(t) & B(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B(t) & C(t) \end{bmatrix}. \quad (18)$$

Из представления (18) следует аналогичное (15) условие

$$\begin{bmatrix} G(t) & H(t) \\ -H(t) & G(t) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} B(t) & C(t) \\ -C(t) & B(t) \end{bmatrix} = E_{2nx2n} \quad (19)$$

где E - единичная матрица порядка $2n$. При этом аналитическое решение матрично-блочного уравнения (19) выглядит так:

$$\begin{bmatrix} G(t) & H(t) \\ -H(t) & G(t) \end{bmatrix}_{2nx2m} = \begin{bmatrix} B(t) & C(t) \\ -C(t) & B(t) \end{bmatrix}_{2nx2m}^+, \quad (20)$$

которое, очевидно, полностью совпадает с решением (16). Дальнейшие операции, естественно, должны повторять вышеприведенные.

Замечание 1. Аналитические решения (16) и (20), очевидно, могут быть эффективно использованы лишь при малых m и n и простых элементах матриц $B(t)$ и $C(t)$. В общем случае для практических целей могут быть использованы

численно-аналитические методы решения, к рассмотрению которых и перейдем далее.

Теперь, в отличие от работы [7], где были непосредственно использованы матрицы $A(t)$ и $X(t)$, точнее, матричные дискреты $A(K)$, $X(K)$; $K = \overline{0, \infty}$, здесь воспользуемся декомпозиционным подходом, т.е. матрицами $B(t)$, $C(t)$ и $G(t)$, $H(t)$, точнее, их матричными дискретами $B(K)$, $C(K)$ и $G(K)$, $H(K)$; $K = \overline{0, \infty}$. При этом должны предполагать, что для матриц $B(t)$, $C(t)$ и $G(t)$, $H(t)$ с аналитическими элементами имеют место матричные дифференциальные преобразования, задаваемые соотношениями

$$A(K) = \frac{H^K}{K!} \cdot \frac{\partial^K A(t)}{\partial t^K} \Big|_{t=t_v}, K = \overline{0, \infty} \mp A(t) = \aleph_1(t, t_v, H, A(K), K = \overline{0, \infty}), \quad (21)$$

$$B(K) = \frac{H^K}{K!} \cdot \frac{\partial^K B(t)}{\partial t^K} \Big|_{t=t_v}, K = \overline{0, \infty} \mp B(t) = \aleph_2(t, t_v, H, B(K), K = \overline{0, \infty}), \quad (22)$$

$$C(K) = \frac{H^K}{K!} \cdot \frac{\partial^K C(t)}{\partial t^K} \Big|_{t=t_v}, K = \overline{0, \infty} \mp C(t) = \aleph_3(t, t_v, H, C(K), K = \overline{0, \infty}), \quad (23)$$

$$X(K) = \frac{H^K}{K!} \cdot \frac{\partial^K X(t)}{\partial t^K} \Big|_{t=t_v}, K = \overline{0, \infty} \mp X(t) = \aleph_4(t, t_v, H, X(K), K = \overline{0, \infty}), \quad (24)$$

$$G(K) = \frac{H^K}{K!} \cdot \frac{\partial^K G(t)}{\partial t^K} \Big|_{t=t_v}, K = \overline{0, \infty} \mp G(t) = \aleph_5(t, t_v, H, G(K), K = \overline{0, \infty}), \quad (25)$$

$$H(K) = \frac{H^K}{K!} \cdot \frac{\partial^K H(t)}{\partial t^K} \Big|_{t=t_v}, K = \overline{0, \infty} \mp H(t) = \aleph_6(t, t_v, H, H(K), K = \overline{0, \infty}), \quad (26)$$

где $A(K)$, $B(K)$, $C(K)$ и $X(K)$, $G(K)$, $H(K)$ - матричные изображения (дискреты) матричных функций $A(t)$, $B(t)$, $C(t)$ и $X(t)$, $G(t)$, $H(t)$ (оригиналов); $K = \overline{0, \infty}$ - целочисленный аргумент; H - масштабный коэффициент; t_v - центр аппроксимации; $\mp$ - знак перехода из области оригиналов в область изображений (прямое преобразование) и из области изображений в область оригиналов (обратное преобразование); $\aleph_1(\cdot) \dots \aleph_6(\cdot)$ - некоторые аппроксимирующие функции, восстанавливающие оригиналы-матрицы $A(t)$, $B(t)$, $C(t)$ и $X(t)$, $G(t)$, $H(t)$ соответственно.

Теперь с учетом (21)-(26) представим декомпозиционные численно-аналитические методы решения рассматриваемой задачи.

Численно-аналитическое решение (1-й вариант). В соответствии с матричными дифференциальными изображениями оригиналов-произведений, состоящих из двух матриц-сомножителей (см. [6], стр. 71), с учетом матрично-блочного-столбцевого эквивалента (14) и результатов, полученных в [7], будем иметь

$$\sum_{l=0}^K \begin{bmatrix} B(l) & -C(l) \\ C(l) & B(l) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} G(K-l) & -H(K-l) \\ H(K-l) & G(K-l) \end{bmatrix} = E \cdot \delta(K), K = \overline{0, \infty} \quad (27)$$

где $\delta(K)$, $K = \overline{0, \infty}$ - тейлоровская единица [6] ($\delta(K) = 1$, если $K = 0$; $\delta(K) = 0$, $\forall K \geq 1$).

Оперируя матричным соотношением (27), получим:

при $K = 0$:

$$\begin{bmatrix} B(0) & -C(0) \\ C(0) & B(0) \end{bmatrix}_{2m \times 2n} \cdot \begin{bmatrix} G(0) & -H(0) \\ H(0) & G(0) \end{bmatrix}_{2n \times 2m} = E_{2m \times 2m},$$

откуда

$$\begin{bmatrix} G(0) & -H(0) \\ H(0) & G(0) \end{bmatrix}_{2n \times 2m} = \begin{bmatrix} B(0) & -C(0) \\ C(0) & B(0) \end{bmatrix}_{2n \times 2m}^+; \quad (28)$$

при $K = 1$:

$$\begin{bmatrix} B(0) & -C(0) \\ C(0) & B(0) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} G(1) & -H(1) \\ H(1) & G(1) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B(1) & -C(1) \\ C(1) & B(1) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} G(0) & -H(0) \\ H(0) & G(0) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix},$$

откуда

$$\begin{bmatrix} G(1) & -H(1) \\ H(1) & G(1) \end{bmatrix}_{2n \times 2m} = - \begin{bmatrix} B(0) & -C(0) \\ C(0) & B(0) \end{bmatrix}_{2n \times 2m}^+ \cdot \begin{bmatrix} B(1) & -C(1) \\ C(1) & B(1) \end{bmatrix}_{2m \times 2n} \cdot \begin{bmatrix} G(0) & -H(0) \\ H(0) & G(0) \end{bmatrix}_{2n \times 2m}; \quad (29)$$

при $K = 2$:

$$\begin{bmatrix} B(0) & -C(0) \\ C(0) & B(0) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} G(2) & -H(2) \\ H(2) & G(2) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B(1) & -C(1) \\ C(1) & B(1) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} G(1) & -H(1) \\ H(1) & G(1) \end{bmatrix} + \\ + \begin{bmatrix} B(2) & -C(2) \\ C(2) & B(2) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} G(0) & -H(0) \\ H(0) & G(0) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix},$$

откуда

$$\begin{bmatrix} G(2) & -H(2) \\ H(2) & G(2) \end{bmatrix}_{2n \times 2m} = - \begin{bmatrix} B(0) & -C(0) \\ C(0) & B(0) \end{bmatrix}_{2n \times 2m}^+ \cdot \begin{bmatrix} B(1) & -C(1) \\ C(1) & B(1) \end{bmatrix}_{2m \times 2n} \cdot \begin{bmatrix} G(1) & -H(1) \\ H(1) & G(1) \end{bmatrix}_{2n \times 2m} + \\ + \begin{bmatrix} B(2) & -C(2) \\ C(2) & B(2) \end{bmatrix}_{2m \times 2n} \cdot \begin{bmatrix} G(0) & -H(0) \\ H(0) & G(0) \end{bmatrix}_{2n \times 2m}; \quad (30)$$

при $K = K$:

$$\begin{bmatrix} G(K) & -H(K) \\ H(K) & G(K) \end{bmatrix}_{2n \times 2m} = - \begin{bmatrix} B(0) & -C(0) \\ C(0) & B(0) \end{bmatrix}_{2n \times 2m}^+ \left[\sum_{l=1}^K \begin{bmatrix} B(l) & -C(l) \\ C(l) & B(l) \end{bmatrix}_{2n \times 2m} \times \right. \\ \left. \times \begin{bmatrix} G(K-l) & -H(K-l) \\ H(K-l) & G(K-l) \end{bmatrix}_{2n \times 2m} \right] \quad (31)$$

Численно-аналитическое решение (2-й вариант). С учетом матрично-блочного-строчного эквивалента (18) и результатов, полученных в [7], будем иметь

$$\sum_{l=0}^K \begin{bmatrix} G(l) & H(l) \\ -H(l) & G(l) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} B(K-l) & C(K-l) \\ -C(K-l) & B(K-l) \end{bmatrix} = E \cdot \delta(K), \quad K = \overline{0, \infty}. \quad (32)$$

Теперь, оперируя матричным соотношением (32), получим:

при $K = 0$:

$$\begin{bmatrix} G(0) & H(0) \\ -H(0) & G(0) \end{bmatrix}_{2nx2m} \cdot \begin{bmatrix} B(0) & C(0) \\ -C(0) & B(0) \end{bmatrix}_{2mx2n} = E_{2nx2n},$$

откуда

$$\begin{bmatrix} G(0) & H(0) \\ -H(0) & G(0) \end{bmatrix}_{2nx2m} = \begin{bmatrix} B(0) & C(0) \\ -C(0) & B(0) \end{bmatrix}_{2nx2m}^+; \quad (33)$$

при $K = 1$:

$$\begin{bmatrix} G(0) & H(0) \\ -H(0) & G(0) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} B(1) & C(1) \\ -C(1) & B(1) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} G(1) & H(1) \\ -H(1) & G(1) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} B(0) & C(0) \\ -C(0) & B(0) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix},$$

откуда

$$\begin{bmatrix} G(1) & H(1) \\ -H(1) & G(1) \end{bmatrix}_{2nx2m} = - \begin{bmatrix} G(0) & H(0) \\ -H(0) & G(0) \end{bmatrix}_{2nx2m} \cdot \begin{bmatrix} B(1) & C(1) \\ -C(1) & B(1) \end{bmatrix}_{2mx2n} \times \\ \times \begin{bmatrix} B(0) & C(0) \\ -C(0) & B(0) \end{bmatrix}_{2nx2m}^+; \quad (34)$$

при $K = 2$:

$$\begin{bmatrix} G(0) & H(0) \\ -H(0) & G(0) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} B(2) & C(2) \\ -C(2) & B(2) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} G(1) & H(1) \\ -H(1) & G(1) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} B(1) & C(1) \\ -C(1) & B(1) \end{bmatrix} + \\ + \begin{bmatrix} G(2) & H(2) \\ -H(2) & G(2) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} B(0) & C(0) \\ -C(0) & B(0) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix},$$

откуда

$$\begin{bmatrix} G(2) & H(2) \\ -H(2) & G(2) \end{bmatrix}_{2nx2m} = - \begin{bmatrix} B(0) & C(0) \\ -C(0) & B(0) \end{bmatrix}_{2nx2m}^+ \cdot \begin{bmatrix} G(0) & H(0) \\ -H(0) & G(0) \end{bmatrix}_{2nx2m} \cdot \begin{bmatrix} B(2) & C(2) \\ -C(2) & B(2) \end{bmatrix}_{2mx2n} + \\ + \begin{bmatrix} G(1) & H(1) \\ -H(1) & G(1) \end{bmatrix}_{2nx2m} \cdot \begin{bmatrix} B(1) & C(1) \\ -C(1) & B(1) \end{bmatrix}_{2mx2n}; \quad (35)$$

...

при $K = K$:

$$\begin{bmatrix} B(0) & C(0) \\ -C(0) & B(0) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} G(K) & H(K) \\ -H(K) & G(K) \end{bmatrix} = - \sum_{l=0}^{K-1} \begin{bmatrix} G(l) & H(l) \\ -H(l) & G(l) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} B(K-l) & C(K-l) \\ -C(K-l) & B(K-l) \end{bmatrix},$$

откуда

$$\begin{bmatrix} G(K) & H(K) \\ -H(K) & G(K) \end{bmatrix}_{2n \times 2m} = - \begin{bmatrix} B(0) & C(0) \\ -C(0) & B(0) \end{bmatrix}_{2n \times 2m}^+ \left[\sum_{l=0}^{K-1} \begin{bmatrix} G(l) & H(l) \\ -H(l) & G(l) \end{bmatrix}_{2n \times 2m} \times \right. \\ \left. \times \begin{bmatrix} B(K-l) & C(K-l) \\ -C(K-l) & B(K-l) \end{bmatrix}_{2n \times 2m} \right] \quad (36)$$

Замечание 2. Декомпозиционные рекуррентные вычислительные схемы (28)-(31) и (32)-(36), очевидно, обладают 100% -й избыточностью из-за неизвестных блочных матричных дискрет $G(K)$, $H(K)$; $K = \overline{0, \infty}$, дважды входящих в левые части этих схем и подлежащих определению. Это обстоятельство, естественно, обуславливает необходимость использования двойного объема памяти при программировании этих вычислительных схем, что, конечно, является их очевидным недостатком. Однако, с другой стороны, это обстоятельство является эффективным контрольным условием для того, чтобы с большой уверенностью удостовериться в правильности и точности проведенных матричных вычислительных процедур по определению неизвестных блочных матричных дискрет $G(K)$, $H(K)$; $K = \overline{0, \infty}$ и, следовательно, неизвестной обобщенной обратной матрицы $X(t)$ в соответствии с (10), (24)-(26).

Замечание 3. В работе [15] предложены другие декомпозиционные аналитические и численно-аналитические методы (последние также основаны на дифференциальных преобразованиях). Эти методы лишены как недостатков, так и достоинств предложенных в настоящей работе методов, отмеченных выше (в замечании 2). Кроме того, предложенным в [15] декомпозиционным матрично-блочно-столбцевым численно-аналитическим методом решен следующий модельный пример с размерами 2×3 :

$$A(t) = \begin{bmatrix} (t-1) + j \cdot (t^2 + 1) & t^2 & (-5t) + j \cdot (3t - 2) \\ j \cdot t & (t+1) + j \cdot 5 & -j \cdot 2t \end{bmatrix}.$$

Этот пример решен и декомпозиционным матрично-блочно-столбцевым численно-аналитическим методом, предложенным в настоящей работе, а также D-аналогом простейшего метода, предложенным в работе [7] и непосредственно оперирующим матричными дискретами $A(K)$, $X(K)$; $K = \overline{0, \infty}$. Как показали вычисления, во всех трех случаях решения, восстановленные обратными дифференциальными преобразованиями Маклорена, полностью совпали друг с другом и при $K = \overline{0, 2}$ имеют вид

$$X(t) = \begin{bmatrix} (1.101 \cdot t^2 + 0.111 \cdot t - 0.167) + j \cdot (-0.38 \cdot t^2 - 0.5 \cdot t - 0.167) \\ (-0.338 \cdot t^2) + j \cdot (0.188 \cdot t^2 + 0.167 \cdot t) \\ (-1.481 \cdot t^2 - 0.611 \cdot t) + j \cdot (-0.722 \cdot t^2 + 0.389 \cdot t + 0.333) \\ (0.038 \cdot t^2) + j \cdot (-0.26 \cdot t^2) \\ (-0.004 \cdot t^2 + 0.035 \cdot t + 0.038) + j \cdot (0.006 \cdot t^2 + 0.014 \cdot t - 0.192) \\ (-0.064 \cdot t^2) + j \cdot (-0.012 \cdot t^2) \end{bmatrix}.$$

Замечание 4. Несмотря на использование в настоящей работе подхода, предложенного в [7], при выполнении или невыполнении при решении конкретных задач гиперусловий (15) и (19) (аналогичным условиям (5), если они выполняются одновременно; первому условию в (6), если выполняется лишь (15); второму условию в (7), если выполняется лишь (19); или обоим условиям в (8), если не выполняются ни (15) и ни (19)) условия (1)-(4) должны выполняться всегда.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Симонян С.О., Аветисян А.Г.** Прикладная теория дифференциальных преобразований. – Ереван: Изд-во ГИУА. “Чартарагер”, 2010. - 360 с.
2. **Campbell S.L.** Singular Systems of Differential Equation. –Volume 61 of Research Notes in Mathematics. - Pitman, London, 1982. - 200 p.
3. **Demmel J. W.** Applied Numerical Linear Algebra. - SIAM, Philadelphia, 1997. - 431 p.
4. **Choberg I., Lancaster P., Rodman L.** Matrix Polynomials // SIREV. -1983. -Vol. 25, N4. - P. 591-592.
5. **Haviv M., Ritov Y.** On Series Expansions and Stochastic Matrices // SIAM J. Matrix Anal. Appl. -1993. –Vol.14, N3. – P. 670-676.
6. **Пухов Г.Е.** Дифференциальные преобразования функций и уравнений. - Киев: Наукова думка, 1984. - 420 с.
7. **Симонян С.О., Аветисян А.Г., Симонян А.С.** Метод определения параметрических обобщенно-обратных матриц, основанный на дифференциальных преобразованиях // Вестник ГИУА. Сер. “Моделирование, оптимизация, управление”. -2008. -Вып.11, том 1. – С. 78-85.
8. **Симонян С.О., Аветисян А.Г., Симонян А.С.** Метод определения параметрических обобщенных обратных матриц (I) // Известия НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. - 2008. - Т. LXI, N3. – С. 452-463.
9. **Симонян С.О., Аветисян А.Г., Симонян А.С.** Метод определения параметрических обобщенных обратных матриц (II) // Известия НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. - 2008. - Т. LXI, N4. – С. 584-591.
10. **Симонян С.О., Аветисян А.Г., Симонян А.С., Авиный А.Р.** Универсальный метод определения параметрических обобщенных обратных матриц // Вестник ГИУА. Сер. “Информационные технологии, электроника, радиотехника”. - 2012. – Вып.15, N2. - С. 9-19.

11. **Симонян С.О., Адамян Г.В., Симонян А.С.** Об одном способе определения квадратных параметрических обобщенных обратных матриц // Вестник ГИУА. Сер. “Информационные технологии, электроника, радиотехника”. - 2013. – Вып.16, том 1. – С. 35-46.
12. **Симонян С.О.** Матрично-векторные представления некоторых вычислительных методов определения параметрических обобщенных обратных матриц // Известия НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. – 2013. -Т. LXVI, N4. –С. 452-463.
13. **Симонян С.О.** Определение квадратных параметрических обобщенных обратных матриц Мура-Пенроуза применением дифференциальных преобразований Пухова // Известия ТПУ. 2013, т. 323, N2. –С. 6-10.
14. **Симонян С.О.** Параллельные вычислительные методы параметрических обобщенных обратных матриц // Известия ТПУ. - 2013, -Т. 323, N5. – С. 10-15.
15. **Симонян С.О., Адамян Г.В., Симонян А.С., Празян Л.В.** Методы определения комплексных однопараметрических обобщенных обратных матриц Мура-Пенроуза // Вестник ГИУА. Сер. “Информационные технологии, электроника, радиотехника”. - 2014. - Вып.17, N1. - С. 23-31.
16. **Гантмахер Ф. Р.** Теория матриц. – М.: Физматлит, 2010. - 560 с.

ГИУА (ПОЛИТЕХНИК). Материал поступил в редакцию 19.02.2014.

Մ.Հ. ՄԻՄՈՆՅԱՆ

ԿՈՄՊԼԵՔՍ ՄԻԱՊԱՐԱՄԵՏՐԱԿԱՆ ԸՆԴՀԱՆՐԱՑՎԱԾ ՀԱԿԱՂԱՐԶ ՄԱՏՐԻՑՆԵՐԻ ՈՐՈՇՄԱՆ ԴԵԿՈՄՊՈԶԻՑԻՈՆ ՄԵԹՈԴՆԵՐ

Առաջարկվել են Մուր-Պենրոուզի կոմպլեքս միապարամետրական ընդհանրացված հակադարձ մատրիցների որոշման կոնստրուկտիվ անալիտիկ և թվա-անալիտիկ դեկոմպոզիցիոն մեթոդներ՝ հիմնված Պոլսովի դիֆերենցիալ ձևափոխությունների վրա: Բերվել են մեկ մոդելային օրինակի լուծման արդյունքները:

Առանցքային բառեր. կոմպլեքս միապարամետրական մատրիցներ, ընդհանրացված հակադարձ մատրիցներ, դեկոմպոզիցիա, դիֆերենցիալ ձևափոխություններ, կոնստրուկտիվ մատրիցա-վեկտորային մեթոդներ:

S.H. SIMONYAN

DECOMPOSITION METHODS FOR DETERMINING COMPLEX ONE-PARAMETRIC GENERALIZED INVERSE MATRICES

Constructive analytic and numerical-analytic matrix-vector methods for determining the Mur-Penrou complex one-parametric generalized inverse matrices are proposed. These methods are based on differential transforms of Pukhov. The results of solving one model example are given.

Keywords: complex one-parametric matrices, generalized inverse matrices, decomposition, differential transforms, constructive matrix-vector methods.

ՀՏԴ 621.865

ԱՎՏՈՄԱՏԱՑՈՒՄ ԵՎ ԿԱՌԱՎԱՐՄԱՆ
ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐ

Օ.Ն. ԳԱՍՊԱՐՅԱՆ, Ս.Ա. ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ

ՔԱՆԱԿԱԿԱՆ ՀԵՏԱԴԱՐՁ ԿԱՊԻ ՏԵՍՈՒԹՅՈՒՆԸ ԲԱԶՄԱԶԱՓ ԿԱՌԱՎԱՐՄԱՆ
ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐՈՒՄ

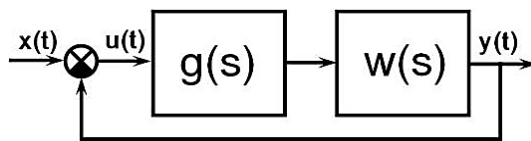
Բնութագրիչ փոխանցման ֆունկցիաների մեթոդով ներկայացվել է քանակական հետադարձ կապի տեսության կիրառումը բազմաչափ կառավարման համակարգերում: Կատարվել է համակարգի որակի վերլուծություն՝ ըստ Նիքոլսի դիագրամի:

Առանցքային բառեր. քանակական հետադարձ կապի տեսություն, բազմաչափ կառավարման համակարգ, բնութագրիչ փոխանցման ֆունկցիաների մեթոդ, Նիքոլսի դիագրամ:

Քանակական հետադարձ կապի (ՔՀԿ) տեսությունը [1, 2] ստեղծվել է Ի. Հորովիցի կողմից և ներկայացնում է հաճախականային մեթոդ, որը հնարավորություն է տալիս ավտոմատ կառավարման համակարգերում (ԱԿՀ) ապահովել ցանկալի որակական պահանջները համակարգում պարամետրիկ անորոշությունների առկայության դեպքում: Այն լայն ճանաչում ու կիրառություն ունի մեկ մուտք և մեկ ելք ունեցող (միաչափ) ԱԿՀ-երում, սակայն բազմաչափ կառավարման համակարգերում տեսության կիրառությունը սահմանափակ է, իսկ գրականության մեջ նկարագրված մեթոդները բարդ են ու աշխատատար [3-5]:

Աշխատանքում առաջարկվում է նոր մոտեցում. ՔՀԿ տեսությունը կիրառել բազմաչափ ԱԿՀ-երում՝ օգտագործելով բնութագրիչ փոխանցման ֆունկցիաների (ԲՓՖ) մեթոդը [6]:

Դասական ՔՀԿ տեսության էությունը հետևյալն է: Դիտարկենք միաչափ ԱԿՀ, որի կառուցվածքային սխեման պատկերված է նկ. 1-ում:



Նկ. 1. Միաչափ համակարգի կառուցվածքային սխեման

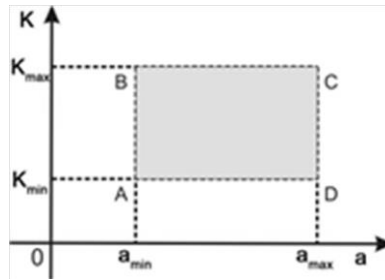
Նկ. 1-ում $x(t)$, $u(t)$ և $y(t)$ -ն համապատասխանաբար մուտքի, սխալի ու ելքի ազդանշաններն են, $g(s)$ -ը՝ կարգավորիչի փոխանցման ֆունկցիան, իսկ $w(s)$ -ը՝ օբյեկտի փոխանցման ֆունկցիան, որն ունի k և a անորոշ պարամետրեր, այսինքն՝

$$w(s) = f(s, k, a), \quad (1)$$

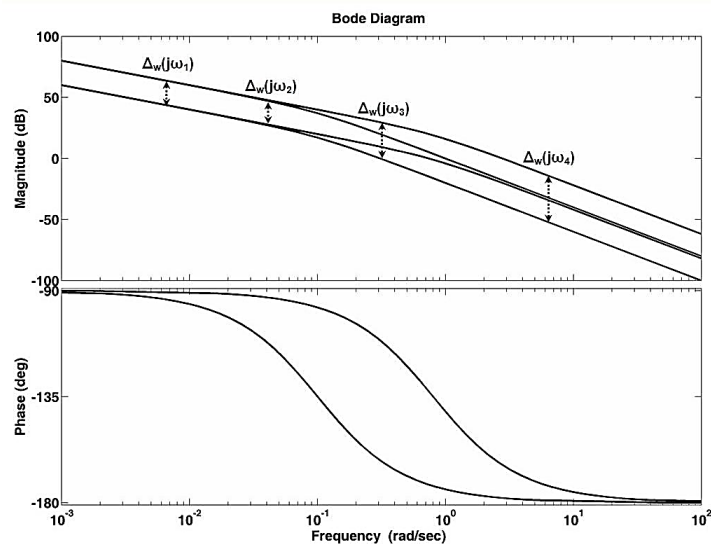
որտեղ k և a պարամետրերն ընկած են տրված որոշակի միջակայքում՝

$$k \in [k_{\min}; k_{\max}], a \in [a_{\min}; a_{\max}]: \quad (2)$$

Համակարգի անորոշությունների տիրույթը պատկերված է նկ. 2-ում, իսկ անորոշությունների տիրույթի ծայրակետերի արժեքների համար համակարգի Բոդեի բնութագրերը՝ նկ. 3-ում:



Նկ. 2. Անորոշությունների տիրույթը



Նկ. 3. Համակարգի Բոդեի բնութագրերն անորոշությունների տիրույթի համար

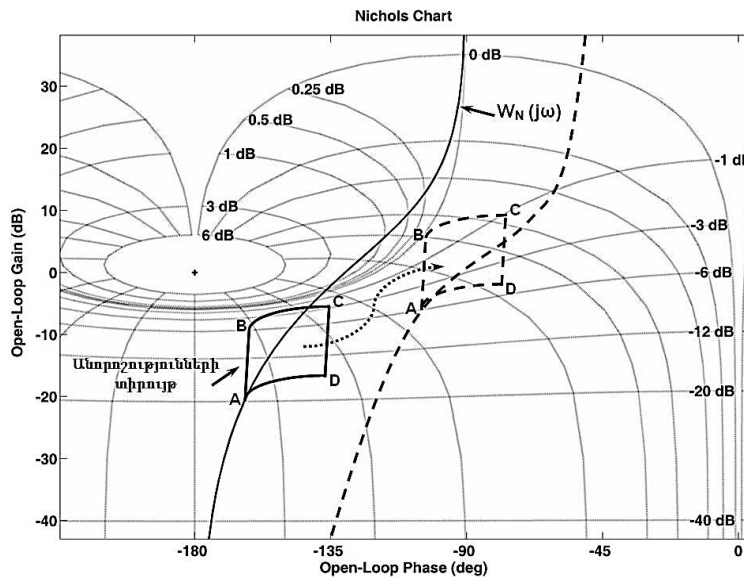
Խնդիրը հետևյալն է. նախագծել նկ. 1-ում պատկերված անորոշ պարամետրերով համակարգը և ընտրել $g(s)$ կարգավորիչն այնպես, որ.

- ապահովվի համակարգի կայունությունը,
- անորոշությունների առկայության դեպքում կարգավորված փակ համակարգի ելքային ազդանշանի ամպլիտուդա-հաճախականային բնութագրի փոփոխությունը ընտրված հաճախությունների դեպքում չգերազանցի որոշակի արժեքը (սովորաբար 6 դեցիբելը), այսինքն՝

$$\Delta_w(j\omega_i) < 6, i=1,2,...,n: \quad (3)$$

Խնդիրը լուծելու համար ընտրվում է նումինալ համակարգը, այնուհետև Նիքոլսի դիագրամի վրա կառուցվում են նումինալ համակարգի բնութագրերը, ընտրված որոշակի հաճախությունների համար անորոշության տիրույթները, և նախագծվում է կարգավորիչն այնպես, որ ապահովվեն համակարգի կայունությունը և որակական պահանջները:

Նկ. 4-ում պատկերված են $W_N(j\omega)$ նումինալ համակարգի հոդոգրաֆը և որոշակի հաճախության դեպքում անորոշությունների տիրույթը:



Նկ. 4. Նիքոլսի դիագրամը

Որպեսզի համակարգը լինի կայուն, պետք է, որ հոդոգրաֆը անորոշության տիրույթի հետ միասին չընդգրկի $(-180, 0)$ կետը: Բնչպես երևում է նկարից, A կետը հանդիսանում է անորոշության տիրույթի նվազագույն, իսկ C-ն՝ առավելագույն կետը, և նրանց տարբերությունը կազմում է՝

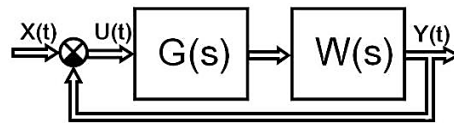
$$\Delta_w(j\omega) = L_C - L_A = -3 - (-20) = 17 \text{ dB} , \quad (4)$$

որտեղ L_C -ն և L_A -ն փակ համակարգի ամպլիտուդա-հաճախականային բնութագրի ամպլիտուդներն են անորոշությունների տիրույթի համապատասխանաբար C և A կետերի համար կամայական հաճախության դեպքում:

Որպեսզի ապահովվի նախընտրելի արժեքը, ընտրվում է կարգավորիչն այնպես, որ նումինալ համակարգն ու անորոշությունների տիրույթը տեղափոխվեն

դեպի վերն ու աջ, և ապահովվի $\Delta_w(j\omega)$ -ի ցանկալի արժեքը: Նկարից երևում է, որ կորեկտված համակարգի դեպքում այն կազմում է 5db: Ներմուծելով համակարգում համապատասխան կարգավորիչ՝ ապահովվում են համակարգի և՛ կայունությունը, և՛ որակական պահանջները:

Վերոնշյալ մեթոդն ընդհանուր տեսքի բազմաչափ ԱԿՀ-երում կիրառելու համար օգտագործենք ԲՓՖ մեթոդը: Դիտարկենք N - չափանի բազմաչափ ԱԿՀ, որի կառուցվածքային սխեման պատկերված է նկ. 5-ում:



Նկ. 5. Բազմաչափ ԱԿՀ-ի կառուցվածքային սխեման

Նկ. 5-ում $X(t)$ -ն, $U(t)$ -ն և $Y(t)$ -ն համապատասխանաբար համակարգի մուտքի, սխալի և ելքի N - չափանի վեկտորներ են, $G(s)$ -ը՝ համակարգի կարգավորիչի $N \times N$ - չափանի մատրիցը, իսկ $W(s)$ -ը՝ բաց համակարգի $N \times N$ - չափանի փոխանցման մատրիցը: Ճշգրտված բաց և փակ համակարգերի հավասարումները հետևյալն են՝

$$P(s) = W(s)G(s), \quad (5)$$

$$\Phi(s) = [I + P(s)]^{-1} P(s) = [I + W(s)G(s)]^{-1} W(s)G(s), \quad (6)$$

որտեղ $P(s)$ -ը և $\Phi(s)$ -ը համապատասխանաբար բաց ու փակ ճշգրտված համակարգերի փոխանցման մատրիցներն են:

Ըստ ԲՓՖ մեթոդի՝ $P(s)$ և $\Phi(s)$ մատրիցները կարելի է ներկայացնել հետևյալ տեսքով՝

$$P(s) = C(s) \text{diag}\{q_i(s)\} C^{-1}(s), \quad (7)$$

$$\Phi(s) = C(s) \text{diag}\left\{\frac{q_i(s)}{1 + q_i(s)}\right\} C^{-1}(s), \quad (8)$$

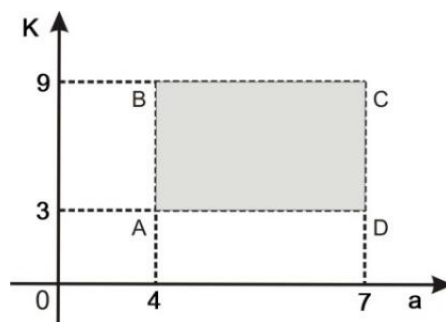
որտեղ $C(s)$ -ը $P(s)$ մատրիցի սեփական վեկտորներից կազմված մոդալ մատրիցն է, $C(s)^{-1}$ -ը՝ $C(s)$ -ի հակադարձը, իսկ $q_i(s)$ -ը՝ $P(s)$ մատրիցի միմյանցից տարբեր սեփական թվերը և կոչվում են բնութագրիչ փոխանցման ֆունկցիաներ: $q_i(s)$ սեփական թվերի սեփական վեկտորները գծորեն անկախ են և կազմում են բազիս:

(7) և (8)-ից հետևում է, որ ԲՓՖ մեթոդով հնարավոր է $N \times N$ - չափանի բազմաչափ համակարգը փոխարինել N հատ միաչափ անկախ համակարգերով, որոնցից յուրաքանչյուրի նկատմամբ կարելի է կիրառել վերոնշյալ ՔՀԿ տեսությունը: Առաջարկվող մեթոդի էությունը ներկայացնենք, ինչպես ընդունված է դասական ՔՀԿ տեսությունում, պարզ օրինակով:

Դիտարկենք երկչափ ԱԿՀ, որի ընդհանուր կառուցվածքային սխեման պատկերված է նկ. 5-ում, իսկ բաց համակարգի (կառավարվող օբյեկտի) փոխանցման մատրիցը հետևյալն է՝

$$W(s) = \begin{bmatrix} \frac{s+2}{s^2+as+9} & \frac{1}{6s+1} \\ \frac{s+0.825}{s^2+9.75s+100} & \frac{k}{2.1s+1} \end{bmatrix}, k \in [3; 9], a \in [4; 7], \quad (9)$$

որտեղ մատրիցի k և a պարամետրերն անորոշ են և ընկած են նշված միջակայքում: Անորոշությունների տիրույթը պատկերված է նկ. 6-ում:



Նկ. 6. Անորոշությունների տիրույթը

Պետք է նախագծել $G(s) = g(s)I$, այսպես կոչված, սկալյար կարգավորիչն [6] այնպես, որ՝

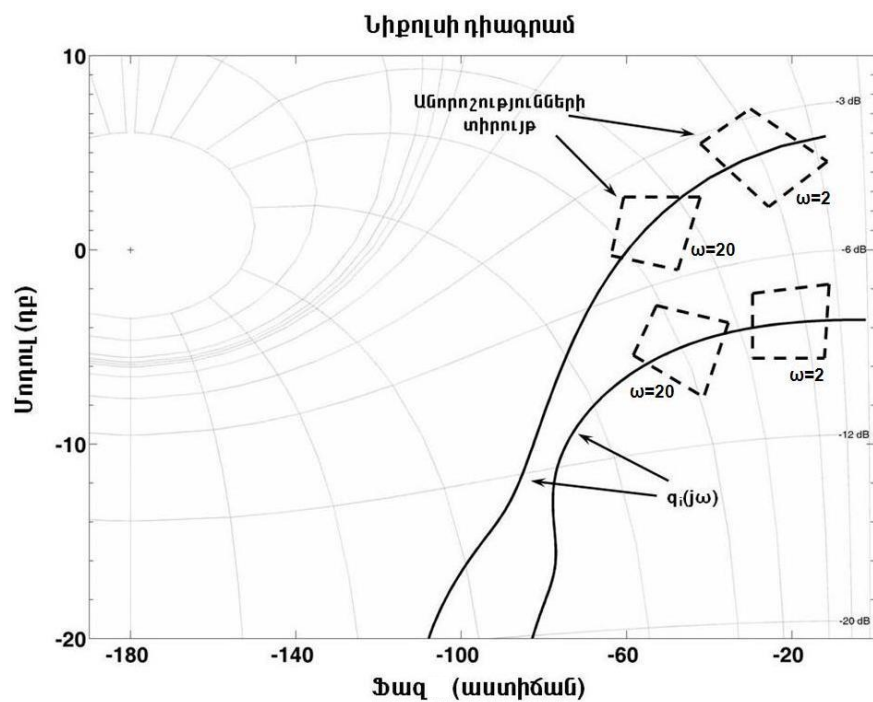
- ապահովվի համակարգի կայունությունը,
- անորոշությունների առկայության և $\omega_i = 2, 20$ արժեքների դեպքում փակ բազմաչափ համակարգի բնութագրիչ համակարգերի ելքերի ամպլիտուդա-հաճախականային բնութագրերի փոփոխությունը բավարարի $\Delta_w(j\omega_i) < 1,6$

պայմանը:

Որպես նոմինալ ընտրենք $k=6$ և $a=5$ արժեքները, այսինքն նոմինալ $W(s)$ -ը ունի հետևյալ տեսքը՝

$$W(s) = \begin{bmatrix} \frac{s+2}{s^2+5s+9} & \frac{1}{6s+1} \\ \frac{s+0.825}{s^2+9.75s+100} & \frac{6}{2.1s+1} \end{bmatrix} : \quad (10)$$

Նկ. 7-ում Նիքոլսի դիագրամի վրա պատկերված են նոմինալ համակարգի բնութագրիչ փոխանցման ֆունկցիաների հոդոգրաֆները և անորոշության տիրույթները յուրաքանչյուր հոդոգրաֆի համար $\omega_l=2,20$ հաճախությունների դեպքում:

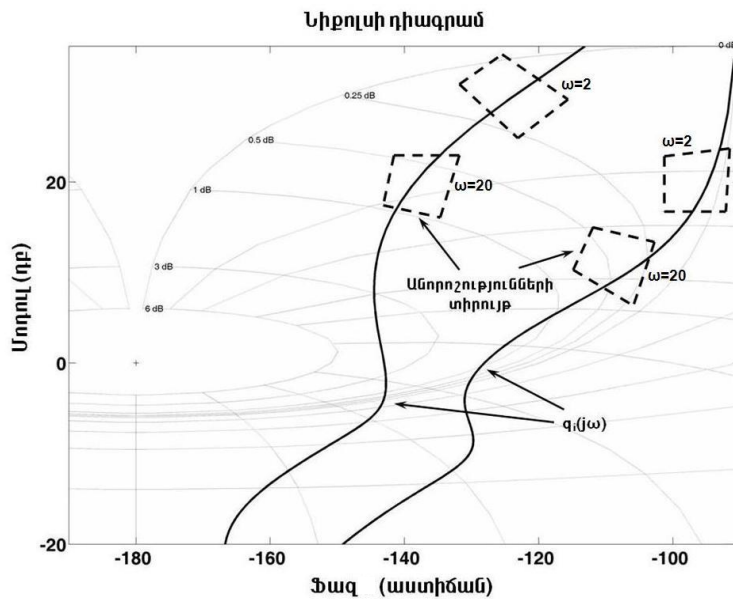


Նկ. 7. Առանց կարգավորիչի համակարգի բնութագրերն ըստ Նիքոլսի դիագրամի

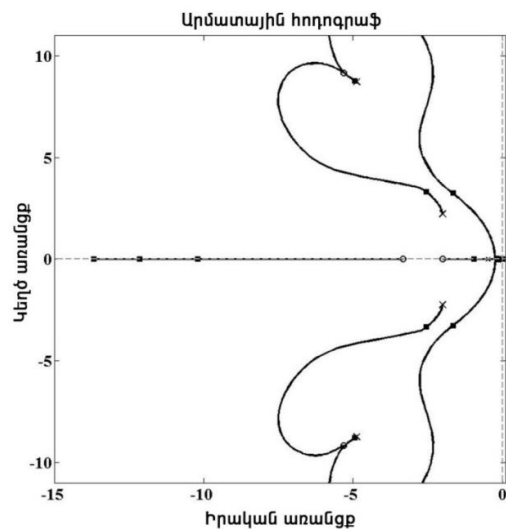
Նկարից հետևում է, որ համակարգը կայուն է, սակայն որակական պահանջները չեն բավարարվում: Նշված պահանջների ապահովման համար համակարգում ներմուծվել է կարգավորիչ, որի փոխանցման մատրիցը հետևյալն է՝

$$G(s) = \begin{bmatrix} \frac{30(s+3.323)}{s(s+13.68)} & 0 \\ 0 & \frac{30(s+3.323)}{s(s+13.68)} \end{bmatrix} : \quad (11)$$

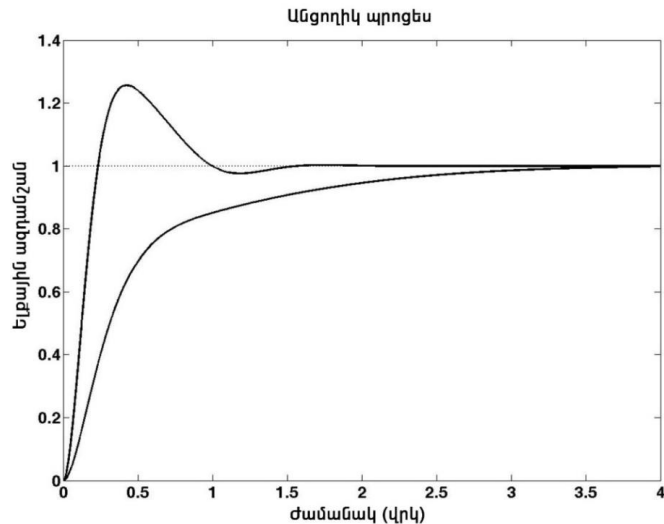
Նկ. 8-ում Նիքոլսի դիագրամի վրա պատկերված են ճշգրտված համակարգի բնութագրերը, որտեղից երևում է, որ համակարգը կայուն է, ու ապահովված են որակական պահանջները, իսկ նկ. 9-ում և 10-ում պատկերված են ճշգրտված նոմինալ համակարգի արմատային հոդոգրաֆն ու անցողիկ պրոցեսը: Այս մեթոդը կիրառելի է ցանկացած քառակուսային բազմաչափ համակարգերի համար:



Նկ. 8. Ճշգրտված համակարգի բնութագրերն ըստ Նիքոլսի դիագրամի



Նկ. 9. Ճշգրտված նոմինալ համակարգի արմատային հոդոգրաֆը



Նկ. 10. Ճշգրտված նուրբ համակարգի ելքային ազդանշանների անցողիկ պրոցեսները

Եզրակացություն. առաջարկված մոտեցումը թույլ է տալիս պարամետրիկ անորոշություններով բազմաչափ ԱԿՀ-ում նախագծել կարգավորիչ, որն ապահովում է համակարգի կայունությունն ու որակական չափանիշները տրված անորոշությունների դեպքում:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Գասպարյան Օ.Ն., Հովհաննիսյան Ս.Ա.** Բազմաչափ միատիպ համակարգերի նախագծումը որակական հետադարձ կապի մեթոդով փոխադարձ կապերի անորոշության դեպքում // ՀՊՃՀ. Լրաբեր.- 2011. – Հատոր 3, №1. - էջ 258-262:
2. **Գասպարյան Օ.Ն., Հովհաննիսյան Ս.Ա.** Բազմաչափ միատիպ համակարգերի նախագծումը որակական հետադարձ կապի տեսությամբ փոխանցման ֆունկցիաների անորոշության դեպքում // Տեղեկատվական տեխնոլոգիաներ և կառավարում, ISSN 1829-071x.- 2011.- Հատոր 6. - էջ 223-230:
3. **Horowitz Isaac** Invited paper Survey of quantitative feedback theory (QFT) // INT.J. CONTROL.- 1991.-Vol. 53, No. 2.- P. 255-291.
4. **Horowitz Isaac M., Sidi Marcel** Synthesis of feedback systems with large plant ignorance for prescribed time-domain tolerances // INT. J. CONTROL.- 1972.- Vol. 16, No. 2.- P. 287-300.
5. **Houpis Constantine H., Rasmussen Steven J.** Quantitative feedback theory: fundamentals and applications.- Marcel Dekker, Inc., 1999.
6. **Гаспарян О.Н.** Теория многосвязных систем автоматического регулирования.- Ереван: Изд-во “Асогик”, Авторское издание, 2010.

ՀՊՃՀ (ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿ): Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 21.02.2014:

О.Н. ГАСПАРЯН, С.А. ОГАНИСЯН

**ТЕОРИЯ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ В МНОГОМЕРНЫХ
СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ**

Дано применение теории количественной обратной связи в многомерных системах управления при помощи метода характеристических передаточных функций. Проведен анализ качества системы при помощи диаграммы Никольса.

Ключевые слова: теория количественной обратной связи, многомерная система управления, метод характеристических передаточных функций, диаграмма Никольса.

O.N. GASPARYAN, S.A. HOVHANNISYAN

**THE QUANTITATIVE FEEDBACK THEORY IN MULTIVARIABLE CONTROL
SYSTEMS**

The quantitative feedback theory is applied in multivariable control systems on the basis of the characteristic transfer functions method,. The system performance in the presence of uncertain parameters is analyzed on the Nichols` diagram.

Keywords: quantitative feedback theory, multivariable control systems, method of characteristic transfer functions, Nichols` diagram.

ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ Գ.Լ., ԲԱՐՍԵՂՅԱՆ Ա.Ա., ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ Հ.Գ.

Փոքր երթանքով Հիբրոնում լվացած գլանաքանդակները

ՆԱԽԱՊԱՏՐԱՍՏՎԱԾՔԻ ԾԱԿՈՏԿԵԼՈՒԹՅԱՆ ՈՐՈՇՄԱՆ ՄԵԹՈԴ 265

ՄՈՒԹԱՅՅԱՆ Լ.Հ., ԱՎԱԳՅԱՆ Ռ.Ե., ԲԱԼԱՍՄԱՆՅԱՆ Ա.Բ.

Մշակված ՄԱԿԵՐԵՎՈՒՅԹԻ ՈՐԱԿԻ ՎՐԱ ՊԼԱՍՏԻԿ ԴԵՖՈՐՄԱՑԻԱՅԻ

ԱԶԴԵՑՈՒԹՅԱՆ ԱՌԱՆՁՆԱՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ ԸՆԴՀԱՏ ԿՏՐՄԱՆ ԴԵՊՔՈՒՄ 274

ԱԲՈՅԱՆ Ա.Հ.

ԴԻՄԼՈԿԱՑԻԱՆԵՐԻ ՌԵՆՏԳԵՆԱԻՆՏԵՐՖԵՐԱԶԱՓԱԿԱՆ ՊԱՏԿԵՐԸ՝ ԿԱԽՎԱԾ

ԲԱԶՄԱՊԱՏԻԿ ԻՆՏԵՐՖԵՐԱԶԱՓՆԵՐՈՒՄ ԱՌԱՋՆԱՅԻՆ ՓՆՁԻ ԱՆԿՄԱՆ

ՈՒՂՂՈՒԹՅՈՒՆԻՑ 280

ՊՈՂՈՍՅԱՆ Ա.Կ., ԿԱՐԱՊԵՏՅԱՆ Ա.Ն., ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ Կ.Վ.

ՀԱԿԱՇՓԱԿԱՆ ՊՈԼԻՄԵՐԱՅԻՆ ՆՅՈՒԹԵՐԻ ՖԻԶԻԿԱՔԻՄԻԱԿԱՆ ԶԵՎԱՓՈԽՈՒՄԸ

ՀԱՆՔԱՆՑՈՒԹԵՐՈՎ 293

ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ Ս.Ս., ԱՂԱՍԼՅԱՆ Ա.Ս., ՕՐԴՅԱՆ Ն.Ա., ՂԱԶԱՐՅԱՆ Ա.Ն.

ԱԼՄԱՍՍԱՅԻՆ ԳՈՐԾԻՔՆԵՐԻ ԱՐՏԱԴՐՈՒԹՅԱՆ ՀԱՄԱՐ ՄԵՏԱՂԱՓՈՇԻՆԵՐԻ

ՀԻՄՔՈՎ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱԿԱՆ ԿԱՊԱԿՑԱՆՑՈՒԹԵՐԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ 300

ԱՎԱԳՅԱՆ Պ.Բ., ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ Ն.Վ., ՎԱՆԴՈՒՑ Տ.Վ., ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ Զ.Ա.

ԱՅՐՄԱՆ ՌԵԺԻՄՈՒՄ ՄԻՆԵՐԱԶՎԱԾ ՄԱԳՆԵԶԻՏՈՒՄ-ՑԻՆԿԱՅԻՆ ՖԵՐԻՏԻ

ԹՐՈՒՄԸ 307

ԱԲՐԱՀԱՄՅԱՆ Ռ.Ս.

ԳԱԶԱՅԻՆ ՊԱՐԱԳՈՒՅՆ ՍԱՌԵՑՆՈՂ ՄԵՔԵՆԱՅԻ ԿԱՅՈՒՆՈՒԹՅԱՆ ՌԵԺԻՄԻ

ՀԱՍՏԱՏՈՒՄԸ 315

ՊԱԼՅԱՆ Ա.Խ., ՊԱԼՅԱՆ Ա.Ա.

ԲԱՇԽՎԱԾ ՀԱՇՎՈՂԱԿԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐՈՒՄ ԿԻՐԱՌԱԿԱՆ ԾՐԱԳՐԵՐԻ

ՓՈԽԱՐԳԵԼԱՓԱԿՄԱՆ ՄԵԹՈԴԸ ԵՎ ՆՐԱ ԾՐԱԳՐԱՅԻՆ ԻՐԱԿԱՆԱՑՈՒՄԸ 320

ԲԱԼԱԲԱՆՅԱՆ Ա.Հ.

ԻՆՏԵԳՐԱԼ ՍԽԵՄԱՅԻ ՄՆՄԱՆ ԼԱՐՄԱՆ ՇԵՂՄԱՆ ՀԱՅՏՆԱԲԵՐՄԱՆ ԵՎ

ԳՆԱՀԱՏՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ 325

ՄԻՄՈՆՅԱՆ Ս.Հ.

ԿՈՄՊԼԵՔՍ ՄԻԱՊԱՐԱՄԵՏՐԱԿԱՆ ԸՆԴՀԱՆՐԱՑՎԱԾ ՀԱԿԱԴԱՐՁ ՄԱՏԻՑՆԵՐԻ

ՈՐՈՇՄԱՆ ԴԵԿՈՄՊՈԶԻՑԻՈՆ ՄԵԹՈԴՆԵՐ (I) 336

ԳԱՄՊԱՐՅԱՆ Օ.Ն., ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ Ս.Ա.

ՔԱՆԱԿԱԿԱՆ ՀԵՏԱԴԱՐՁ ԿԱՊԻ ՏԵՍՈՒԹՅՈՒՆԸ ԲԱԶՄԱԶԱՓ ԿԱՌԱՎԱՐՄԱՆ

ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐՈՒՄ 345

СОДЕРЖАНИЕ

ПЕТРОСЯН Г.Л., БАРСЕГЯН А.А., ПЕТРОСЯН А.Г. МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОРИСТОСТИ ГИДРОПРЕССОВАННОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ СПЕЧЕННОЙ ЗАГОТОВКИ С МАЛЫМ ПРОХОДОМ.....	265
МУТАФЯН Л.А., АВАКЯН Р.Е., БАЛАСАНИЯН А.Б. ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ МАТЕРИАЛА ПРИ ПРЕРЫВИСТОМ РЕЗАНИИ НА КАЧЕСТВО ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ	274
АБОЯН А.О. РЕНТГЕНОИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ ДИСЛОКАЦИЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ НАПРАВЛЕНИЯ ПАДЕНИЯ ПЕРВИЧНОГО ПУЧКА В КРАТНЫХ ИНТЕРФЕРОМЕТРАХ.....	280
ПОГОСЯН А.К., КАРАПЕТЯН А.Н., ОГАНЕСЯН К.В. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЕ МОДИФИЦИРОВАНИЕ АНТИФРИКЦИОННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	293
МАРТИРОСЯН А.М., АГБАЛЯН А.С., ОРДЯН Н.А., КАЗАРЯН А.Н. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СВЯЗКИ НА ОСНОВЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА АЛМАЗНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ	300
АВАКЯН П.Б., МАРТИРОСЯН Н.В., ВАНДУНЦ Т.В., ГРИГОРЯН З.А. ОТЖИГ МАГНИЕВО-ЦИНКОВОГО ФЕРРИТА, СИНТЕЗИРОВАННОГО В РЕЖИМЕ ГОРЕНИЯ.....	307
АБРАМЯН Р.М. ДОСТИЖЕНИЕ УСТАНОВИВШЕГОСЯ РЕЖИМА РАБОТЫ ПРОСТЕЙШЕЙ ГАЗОВОЙ ХОЛОДИЛЬНОЙ МАШИНЫ	315
ПАЛЯН А.Х., ПАЛЯН А.А. МЕТОД ВЗАИМОБЛОКИРОВКИ ПРИКЛАДНЫХ ПРОГРАММ В РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ И ЕГО ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ	320
БАЛАБАНИЯН А.Г. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ И ОЦЕНИВАНИЯ ОТКЛОНЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ ПИТАНИЯ ИНТЕГРАЛЬНОЙ СХЕМЫ	325
СИМОНЯН С.О. ДЕКОМПОЗИЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ ОДНОПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ОБОБЩЕННЫХ ОБРАТНЫХ МАТРИЦ (I).....	336
ГАСПАРЯН О.Н., ОГАНИСЯН С.А. ТЕОРИЯ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ В МНОГОМЕРНЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ.....	345

CONTENTS

PETROSYAN G.L., BARSEGHYAN A.A., PETROSYAN H.G. PECULIARITIES OF DETERMINING THE POROSITY BY A FINE PITCH OF A HYDROPPRESSED CYLLINDRICAL SINTERED BAR	265
MUTAFYAN L.H., AVAGYAN R.E., BALASANYAN A.B. THE INFLUENCE PECULIARITIES OF PLASTIC DEFORMATION OF A MATERIAL ON THE MACHINED SURFACE QUALITY AT INTERRUPTED CUTTING	274
ABOYAN A.O. THE X - RAY INTERFEROMETRIC IMAGE OF DISLOCATIONS DEPENDING ON THE DIRECTION OF INCIDENCE OF THE PRIMARY BEAM IN MULTIPLE INTERFEROMETERS	280
POGOSIAN A.K., KARAPETYAN A.N., HOVHANNISYAN K.V. PHYSICO-CHEMICAL MODIFICATION OF ANTIFRICTION POLYMER MATERIALS BY MINERALS	293
MARTIROSYAN A.M., AGHBALYAN A.S., ORDYAN N.A., GHAZARYAN A.N. DEVELOPING A TECHNOLOGICAL CONNECTIVE BASED ON METAL POWDERS FOR PRODUCING DIAMOND TOOLS	300
AVAKYAN P.B., MARTIROSYAN N.W., VANDUNDS T.V., GRIGORYAN Z.A. SINTERING THE MAGNESIUM-ZINC FERRITE SYNTHESIZED UNDER THE COMBUSTION MODE	307
ABRAHAMIAN R.M. ACHIEVING THE ESTABLISHED OPERATION MODE OF A SIMPLEST GAS REFRIGERATING MACHINE	315
PALYAN A.KH., PALYAN A.A. A METHOD FOR THE APPLIED PROGRAM INTERLOCKING IN DISTRIBUTED COMPUTING SYSTEMS AND ITS SOFTWARE IMPLEMENTATION	320
BALABANYAN A.H. DEVELOPING A SYSTEM FOR DETECTING AND ESTIMATING THE SUPPLY VOLTAGE DEVIATION OF AN INTEGRATED CIRCUIT	325
SIMONYAN S.H. DECOMPOSITION METHODS FOR DETERMINING COMPLEX ONE-PARAMETRIC GENERALIZED INVERSE MATRICES (I)	336
GASPARYAN O.N., HOVHANNISYAN S.A. THE QUANTITATIVE FEEDBACK THEORY IN MULTIVARIABLE CONTROL SYSTEMS	345