

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. ԱՂԲԱԼՅԱՆ**,
Ռ.Վ. ԱԹՈՅԱՆ, **Վ.Վ. ԲՈՒՆԻԱՏՅԱՆ**, **Ժ.Դ. ԴԱՎԻԴՅԱՆ**, **Ս.Պ. ԴԱՎԹՅԱՆ**,
Ս.Ս. ՂԱԶԱՐՅԱՆ, **Ո.Զ. ՄԱՐԴՈՒԽՅԱՆ**, **ՅՈՒ.Լ. ՍԱՐԳՍՅԱՆ**, **Վ.Ս. ՍԱՐԳՍՅԱՆ**,
Ս.Հ. ՄԻՍՈՆՅԱՆ, **Մ.Գ. ՍՏԱԿՅԱՆ**, **Վ.Ս. ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ**

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**, **Ж.Д. ДАВИДЯН**, **С.П. ДАВТЯН**, **С.М. КАЗАРЯН**,
В.З. МАРУХЯН, **Ю.Л. САРКИСЯН**, **В.С. САРКИСЯН**,
С.О. СИМОНЯН, **М.Г. СТАКЯН**, **В.С. ХАЧАТРЯН**

EDITORIAL BOARD

R.M. MARTIROSSYAN (Editor-in-Chief), **H.A. TERZIAN** (Vice-Editor-in-Chief),
Z.K. STEPANYAN (Secretary - in - Chief), **S.G. AGHBALYAN**,
R.V. ATOYAN, **V.V. BUNIATYAN**, **Zh.D. DAVIDYAN**, **S.P. DAVTYAN**,
S.M. GHAZARYAN, **V.Z. MARUKHYAN**, **YU.L. SARGSYAN**, **V.S. SARKISSYAN**,
S.H. SIMONYAN, **M.G. STAKYAN**, **V.S. KHACHATRYAN**

Հրատ. խմբագիր՝

ԺԱՆՆԱ ՄԵՅՐԱՆՅԱՆ

և ձևավորումը՝

Համակարգչային շարվածքը

ԼԻԼԻԹ ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆԻ

Խմբագիրներ՝

ԼԵՅԼԱ ՍՏԵՓԱՆՅԱՆ

ՆԵԼԼԻ ԱՆԱՆՅԱՆ

Г.В. МУСАЕЛЯН, Л.О. ЗАКАРЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РАМЫ И НАДРАМНИКА АВТОМОБИЛЯ-САМОСВАЛА

Разработана расчетная модель, учитывающая особенности взаимодействия рамы, надрамника грузового автомобиля-самосвала и их составляющих частей. Проведен анализ напряженно-деформированного состояния взаимодействия контактируемых поверхностей двух швеллеров.

Ключевые слова: рама, надрамник грузового автомобиля-самосвала, конечно-элементная модель несущей системы, закл, почные и сварные соединения.

Данная работа посвящена моделированию особенностей взаимодействия рамы, надрамника и составляющих частей грузовых автомобилей-самосвалов. Как известно, надрамник получил широкое применение в несущих системах автомобилей-самосвалов [1]. Его наличие обусловлено появлением больших ускорений в вертикальной плоскости при эксплуатации автомобиля-самосвала в тяжелых дорожных условиях. В этом случае надрамник придает дополнительную твердость и жесткость.

При нагрузке в тяжелых эксплуатационных режимах граничные условия взаимодействия надрамника с рамой изменяются. При сжатии друг на друга составных частей рамы и надрамника относительное перемещение по направлению нормали контактируемых поверхностей исчезает.

В случае, когда относительные перемещения по нормали имеют положительный знак, контактируемые поверхности становятся независимыми друг от друга. В этом случае в указанных участках связь обеспечивается только с помощью соединений (конструкции могут быть разными) [2]. Вышеуказанные особенности выявляются на конкретном примере.

Рассматриваются особенности взаимодействия контактируемых поверхностей двух швеллеров на участках контактов. Длина 1-го швеллера – 400 мм, ширина – 20 мм, высота – 40 мм. Размеры 2-го швеллера 200x20x20 мм. Толщина швеллеров – 8 мм. Швеллеры 1 и 2 на участке А приварены друг к другу, а участок В представляет собой неподвижную опору (рис. 1). Приложенная нагрузка (800 кг) представлена в виде распределенной нагрузки, которая действует на верхнюю полку 2-го швеллера. В применяемой программе ANSYS 8.0 тонкостенные стержни смоделированы с помощью конечного элемента типа SHELL 63 [3].

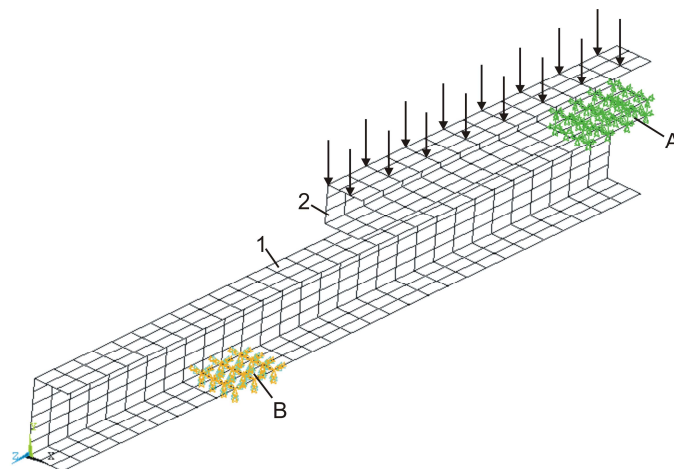


Рис. 1. Расчетная модель для исследования взаимодействия контактных поверхностей двух швеллеров, находящихся под воздействием вертикальной нагрузки

В результате решения задачи становится очевидным, что срединная линия нижней полки 2-го швеллера на переднем конечном участке переместилась вниз на $0,13..0,15 \text{ мм}$, а срединная линия верхней полки 1-го швеллера на том же участке – на $0,025..0,046 \text{ мм}$ (рис. 2), что свидетельствует о наличии так называемого явления “врезывания” [4].

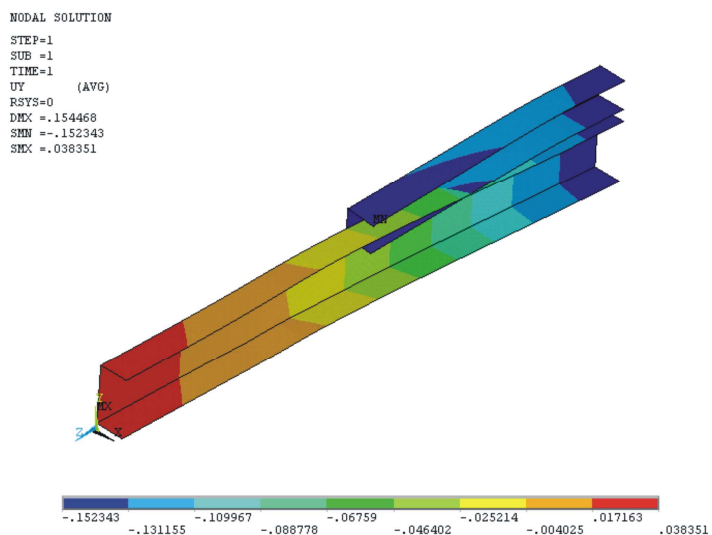


Рис. 2. Контактируемые поверхности, врезанные друг в друга

Для предотвращения этого явления были применены конечные элементы контактного типа. При решении задачи в качестве контактируемых элементов из библиотеки конечных элементов программного пакета были выбраны элементы типов CONTA 173 и TARGE 170. CONTA 173 представляет собой пространственный контактный элемент, который определяется с помощью четырех узлов и характеризует контактную поверхность (на рис. 3 обозначено буквой С), а основная особенность TARGE 170 (на рис. 3 обозначено буквой Т) – характеристика ответной поверхности [5].

В расчетной модели, применив по два элемента контактного и ответного типов (рис. 3) и решив задачу для вышеуказанных граничных условий и действия нагруженности той же величины, получаем результат, представленный на рис. 4.

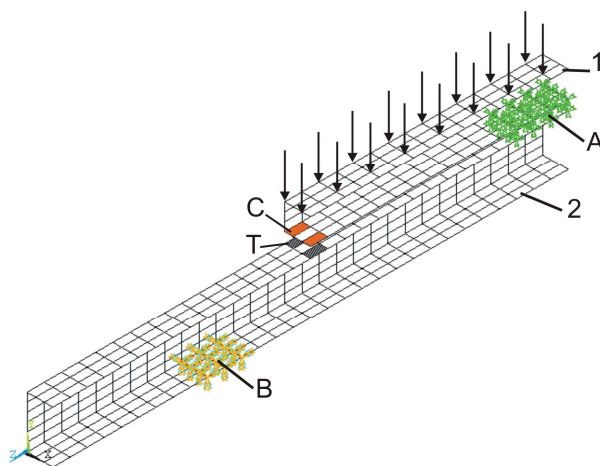


Рис. 3. Расчетная модель с применением конечных элементов CONTA173 и TARGE170

Как видно из рис. 4, здесь отсутствует явление врезывания поверхностей друг в друга, и в вышеуказанном “участке врезывания” поверхности двух швеллеров переместились вниз на 0,025..0,046 мм.

Применение приведенных конечных элементов дает возможность учитывать также трение между этими поверхностями при разработке расчетной модели автомобиля-самосвала. Для решения задачи важное значение имеет правильное определение конечных элементов на участках контактируемых поверхностей, имеющих меняющиеся граничные условия при деформации несущей системы автомобиля, на которых предопределено применение CONTA 173 и TARGE 170. Конечные элементы типа CONTA 173 и TARGE 170 применимы также на поверхностях объемного конечного элемента SOLID 45.

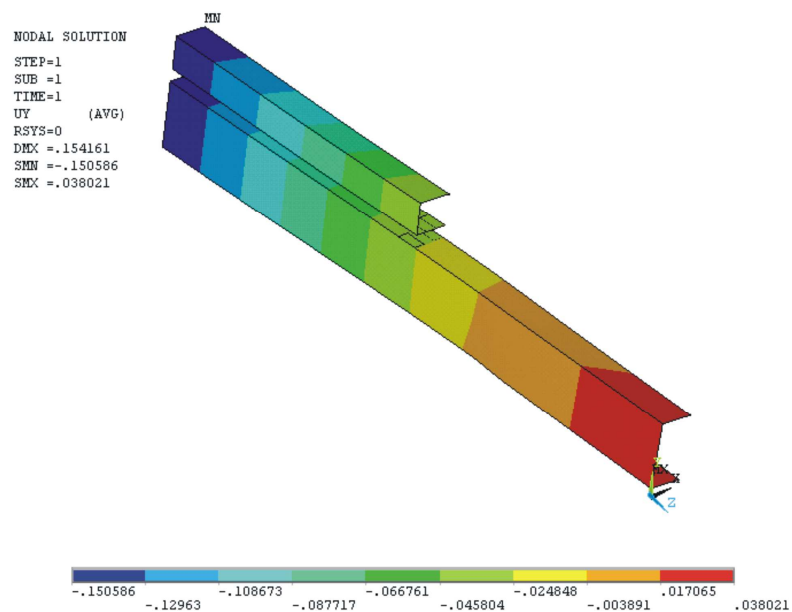


Рис. 4. Контактируемые поверхности без врезывания

Моделирование особенностей процесса взаимодействия контактируемых поверхностей швеллеров, приведенных в данной статье, было применено при разработке расчетной модели рамы и надрамника грузового автомобиля-самосвала КамАЗ-5511 (рис. 5).

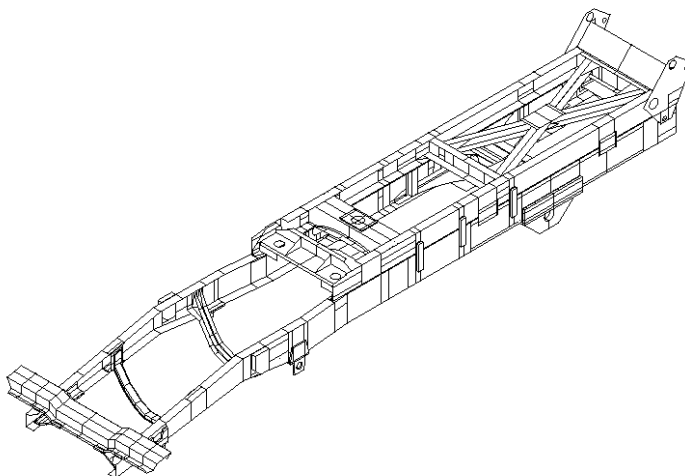


Рис. 5. Расчетная модель несущей системы автомобиля-самосвала КамАЗ-5511

Составляющие тонкостенные части рамы и надрамника грузового автомобиля смоделированы с помощью конечного элемента типа SHELL 63, а объемные детали – SOLID 45. Связи между составляющими частями элементов рамы смоделированы согласно конструкции (заклепочное соединение или сварка).

Разработанная расчетная модель дает возможность определить деформированное состояние несущей системы, распределение напряжений и деформаций, оценить ее жесткость, установить места и число точек креплений рамы с надрамником, усовершенствовать связывающие и конструкционные элементы несущей системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Белокуров В.Н., Гладков О.В., Захаров А.А., Мелик-Саркисянц А.С.** Автомобили-самосвалы. – М.: Машиностроение, 1987. – 216с.
2. **Барун В.Н.** Автомобили КамАЗ: Техническое описание и инструкция по эксплуатации. – М.: Машиностроение, 1978. – 328 с.
3. **Մուսայելյան Գ.Վ.** Ավտոմոբիլների կրող համակարգեր: Ուսումնական ձեռնարկ. – Երևան: Ճարտարագետ, 2007. – 180 էջ:
4. **Мусаелян Г.В., Закарян Л.О.** Исследование изгиба рамы грузового автомобиля в вертикальной плоскости методом конечных элементов // Известия НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. – 2006. – Том 59, N 3. – С. 465 – 471.
5. **Басов К.А.** ANSYS: Справочник пользователя. – М.: ДМК Пресс, 2005. – 640 с.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 14.06.2008.

Գ.Վ. ՄՈՒՍԱՅԵԼՅԱՆ, Լ.Հ. ԶԱԲԱՐՅԱՆ

ԱՎՏՈՄՈԲԻԼ-ԻՆՔՆԱԹԱՓԻ ՀԻՄՆԱԿԱՆ ԵՎ ՕԺԱՆԴԱԿ ՇՐՋԱՆԱԿՆԵՐԻ ՓՈԽԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱՌԱՆՁԱՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄ

Մշակվել է բեռնատար ավտոմոբիլ-ինքնաթափի հիմնական և օժանդակ շրջանակների ու դրանց բաղկացուցիչների փոխազդեցությունների առանձնահատկությունները հաշվի առնող հաշվարկային մոդել: Կատարվում է երկու շվելերների հպվող մակերեսների փոխազդեցության լարվածադեֆորմացիոն վիճակի ուսումնասիրություն:

Առանցքային բառեր. շրջանակ, բեռնատար ավտոմոբիլ-ինքնաթափի օժանդակ շրջանակ, կրող համակարգի մոդել՝ վերջավոր տարրերի բաժանված վիճակում, զամային և եռակցված միացություններ:

G.V. MUSAYELYAN, L.H. ZAKARYAN

TRUCK FRAME AND TIPPER FRAME SUPPLEMENT INTERACTION PARTICULARITY INVESTIGATION

The calculation model that analysis takes account of tipper frame interaction particularity, supplement frame and components is worked out. A deflected model analysis of contacting surfaces of two channel bars is given

Keywords: frame and tipper frame, finite-element model of the system, riveted and welded coupling.

Է.Ա. ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ, Ռ.Ս. ՍԱՐՈՅԱՆ, Ա.Հ. ՂԱԶԱՐՅԱՆ

**ՄԵՏԱՂԱԿԱՆ ՏԻՏԱՆԻ ՍՏԱՅՄԱՆ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱԿԱՆ ԵՂԱՆԱԿԻ
ԱԶԳԵՅՈՒԹՅՈՒՆԸ ԹԾՎԱՅԻՆ ՄԻՋԱՎԱՅՐԵՐՈՒՄ ՆՐԱ ԿՈՌՈԶԻՈՆ ԵՎ
ԷԼԵԿՏՐԱՔԻՄԻԱԿԱՆ ՎԱՐՔԱԳԾԻ ՎՐԱ**

Գործնական հետաքրքրություն ներկայացնող մի շարք անօրգանական և օրգանական թթուներում կատարվել է տարբեր տեխնոլոգիական ծագում ունեցող մետաղական տիտանի երկու փորձանմուշների՝ յոդիդային (Ti_{յոդ}) և հիդրիդային տիտանների (Ti_{հիդ}) կոռոզիոն և էլեկտրաքիմիական հատկությունների համեմատական ուսումնասիրություն: Յույց է տրված, որ այդ հատկությունները մեծապես կախված են վերջիններիս ստացման տեխնոլոգիական առանձնահատկություններից: Հաստատված է, որ նշված փորձանմուշների ստացման եղանակը պայմանավորում է նաև դրանց խնամակցությունը աղտոբեցիոն ինհիբիտորների նկատմամբ:

Առանցքային բառեր. տիտանի փորձանմուշներ, անօրգանական և օրգանական թթուներ, կոռոզիոն և էլեկտրաքիմիական հատկություններ, աղտոբեցիոն ինհիբիտորներ:

Հայաստանի Հանրապետության Գիտությունների Ազգային Ակադեմիայի քիմիական ֆիզիկայի ինստիտուտի ԲԻՍ պրոցեսների տեխնոլոգիաների լաբորատորիայում մետաղական տիտանը ստանում են սկզբունքորեն նոր՝ տիտանի հիդրիդի դեհիդրման եղանակով (հիդրիդային տիտան՝ Ti_{հիդ}): Այս եղանակի առանձնահատկությունները մանրամասն բերված են [1] աշխատանքում: Սակայն նշված եղանակով ստացված տիտանի ֆիզիկական, առավել ևս, քիմիական հատկությունները, գրեթե չեն ուսումնասիրված: Մինչդեռ վերոհիշյալ եղանակով ստացված տիտանի կոռոզիոն և էլեկտրաքիմիական հատկությունների ուսումնասիրությունը մի շարք ագրեսիվ միջավայրերում և դրանց արդյունքների համադրումը ավանդական եղանակներով ստացված տիտանի համանման հատկությունների հետ, որոշակի հետաքրքրություն է ներկայացնում:

Ծագումնաբանական տարբեր նախապատմություններ ունեցող տիտանի երկու փորձանմուշների՝ յոդիդային տիտանի (քիմիական բաղադրությունը զանգ. %՝ C-0,02; O₂-0,03; N₂-0,005; H₂-0,03; Si-0,02; Fe-0,04; Ti- մնացածը) և տիտանի հիդրիդի դեհիդրման եղանակով ստացված տիտանի (քիմիական բաղադրությունը զանգ. %՝ C-0,04; O₂-0,04; N₂-0,003; H₂-0,05; Si-0,01; Fe-0,028; Ti - մնացյալը) կոռոզիոն հատկությունների համեմատական ուսումնասիրությունները կատարվել են գործնական մեծ հետաքրքրություն ներկայացնող մի շարք հանքային և օրգանական թթուներում: Ուսումնասիրության շրջանակներում ընդգրկվել են տարբեր կոնցենտրացիաների ծծմբաթթվի, աղաթթվի, ֆոսֆորական թթվի, ազոտական թթվի, ինչպես նաև մրջնաթթվի, քացախաթթվի ու կիտրոնաթթվի ջրային լուծույթները:

Որոշակի կոնցենտրացիայի լուծույթները պատրաստվել են քիմիապես մաքուր թթուները կրկնակի թորված ջրով նոսրացնելով: Փորձերը կատարվել են հետադարձ

սառնարաններով օժտված քիմիական բաժակներում, տարբեր ջերմաստիճանային ռեժիմներում (293...373 K ջերմաստիճանային տիրույթում):

Աղյուսակ 1

Տեխնոլոգիական տարբեր ծագում ունեցող տիտանի փորձանմուշների կոռոզիոն հատկությունները մի շարք անօրգանական և օրգանական թթուներում,
 $V/S = 0,1 \dots 0,2 \text{ մ}^3 \cdot \text{մ}^{-2}$

Կոռոզիոն միջավայր, կոնցենտր., %	Ջերմաստիճան, K	Փորձարկման ժամանակա- միջոցը, ժամ	Կոռոզիայի արագությունը, $10^{-3} \text{ կգ.մ}^{-2} \cdot \text{ժ}^{-1}$	
			Տիտան Ti _{չոդ.}	Տիտան Ti _{հիդ.}
Օժմբական թթու				
5	353	2	10,5	14,7
10	293	4	2,80	3,64
20	323	1	5,32	15,8
40	353	1	52,2	262,4
Աղաթթու				
5	313	3	0,1	1,1
10	333	2	3,2	7,4
15	333	1	5,4	18,8
20	353	1	44,2	132,4
Ֆոսֆորական թթու				
5	313	3	0,002	0,004
10	333	2	0,004	0,006
20	333	1	0,002	0,008
40	293	1	2,2	8,6
Ազոտական թթու				
10	293	5	0,005	0,01
20	293	5	0,002	0,008
40	303	2	0,003	0,014
50	303	2	0,02	0,02
Մրջնաթթու				
40	30	2	3,2	4,6
80	100	6	0,0	0,8
80	60	6	0,0	0,2
Քացախաթթու				
5	303	2	0,25	1,2
25	333	4	0,0	0,4
50	373	2	1,1	4,4
99,5	373	2	1,1	14,4
Կիտրոնաթթու				
5	373	4	0,0	0,0
10	303	4	0,0	0,8
10	373	2	0,9	1,2
50	303	2	0,0	1,2
50	333	2	1,4	1,8

Փորձարկումներից առաջ նմուշները ենթարկվել են քիմիական ակտիվացման:

Կոռոզիայի արագությունը որոշվել է ըստ արտամղված ջրածնի ծավալի և արտահայտվել է $q_{\text{H}_2} \cdot t^2 \cdot d$ ($q_{\text{H}_2} \cdot t^2 \cdot d$) միավորներով [2]:

Բևեռացման կորերը հանվել են «PS-4» մակնիշի պոտենցիաստատի և «PV-3 Variator»- ի միջոցով, պոտենցիադինամիկ ռեժիմով, 1, 2 $B/d_{\text{առ}}$ արագությամբ:

Կոռոզիոն և էլեկտրաքիմիական չափումների մեթոդիկան առավել մանրամասն նկարագրված է աշխատանք [3]-ում:

Ուսումնասիրվող փորձանմուշների կոռոզիոն փորձարկումների համեմատական արդյունքները բերված են աղյուսակ 1-ում:

Ինչպես երևում է բերված աղյուսակից, ուսումնասիրվող գրեթե բոլոր լուծույթներում հիդրիդային տիտանի լուծման արագությունը շուրջ 30...40% -ով գերազանցում է յոդիդային տիտանի լուծման արագությունն այն դեպքում, երբ երկու փորձանմուշներն էլ գործնականում ունեն մաքրության միևնույն աստիճանը:

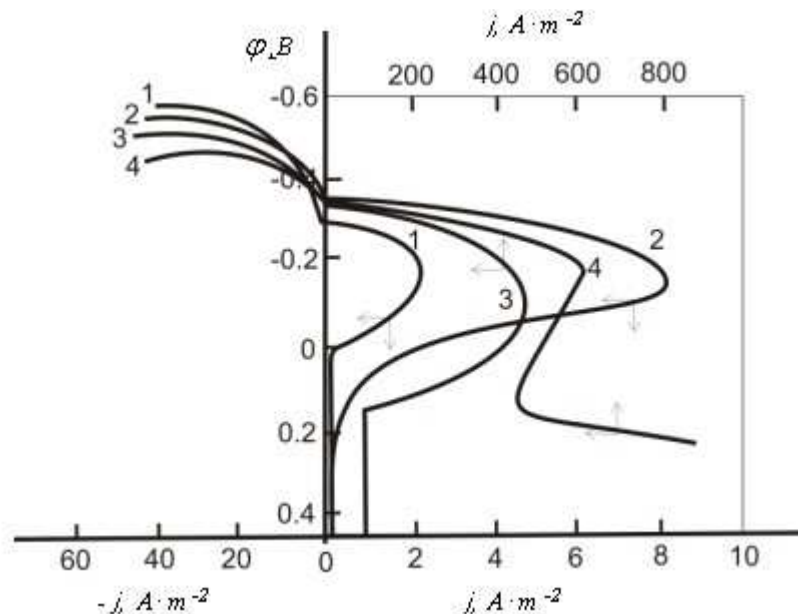
Նրանց լուծման արագությունների տարբերությունն այնքան ավելի ցայտուն է դրսևորվում, որքան բարձր են լուծույթների կոնցենտրացիան և ռեակցիոն միջավայրի ջերմաստիճանը: Այսպես, 40%-ոց ծծմբաթթվի մեջ 353 K-ում հիդրիդային տիտանի լուծման արագությունը ավելի քան 5 անգամ գերազանցում է յոդիդային տիտանի լուծման արագությունը:

Բերված տվյալները համոզիչ կերպով ցույց են տալիս, որ մետաղական տիտանի ստացման տեխնոլոգիական եղանակից կախված, նրա տարբեր փորձանմուշներ կարող են ունենալ միանգամայն տարբեր կոռոզիոն հատկություններ:

Միանգամայն տարբեր են նաև այս փորձանմուշների էլեկտրաքիմիական հատկությունները՝ ջրածնի գերլարվածությունը, կոռոզիոն հոսանքները, հակումը պասիվացման նկատմամբ և այլն: Մասնավորապես, այդ մասին են վկայում նկարում բերված տվյալները, որտեղ 40% - ոց ծծմբաթթվի և 35% - ոց աղաթթվի ջրային լուծույթներում յոդիդային տիտանի էլեկտրաքիմիական վարքագիծը համադրված է հիդրիդային տիտանի էլեկտրաքիմիական վարքագծի հետ:

Ինչպես երևում է նկարից, թե՛ մեկ, թե՛ մյուս էլեկտրոլիտներում հիդրիդային տիտանի կատոդային բևեռացման կորերն անցնում են զգալիորեն ավելի դրական պոտենցիալների վրայով: Դա վկայում է այս փորձանմուշի վրա ջրածնի անջատման ավելի փոքր գերլարվածության մասին:

Հաշվի առնելով, որ թթու միջավայրերում տիտանի լուծումն ուղեկցվում է ջրածնային ապաբևեռացմամբ [4], ջրածնային ցածր գերլարվածությունը հիդրիդային տիտանի մակերեսի վրա կարող է կապված լինել փորձանմուշի թույլ հակակոռոզիոն հատկությունների հետ:



Նկ. Տիտանի փորձանմուշների կատոդային և անոդային բևեռացման կորերը 40%-ոց H_2SO_4 (1,4) և 35%-ոց HCl (2,3)-ի լուծույթներում: 1, 2- յոդիդային տիտան; 3,4-հիդրիդային տիտան, 293 K

Մակայն, համադրելով նույն փորձանմուշների անոդային բևեռացման կորերը (նկ., 1-4 կորեր), կարելի է արձանագրել, որ հիդրիդային տիտանի վրա անհամեմատ փոքր գերլարվածությամբ են ընթանում նաև անոդային պրոցեսները:

Այսպես, միևնույն հաստատուն պոտենցիալի դեպքում $\varphi = -0,25 \text{ B}$ (որը գտնվում է պոտենցիալների ակտիվ լուծման տիրույթում), հիդրիդային տիտանի անոդային հոսանքի խտությունը 35%-ոց HCl -ում շուրջ 80, իսկ 40%-ոց H_2SO_4 -ում ավելի քան 120 անգամ գերազանցում է յոդիդային տիտանի անոդային լուծման արագությանը:

Այս փորձանմուշների էլեկտրաքիմիական վարքագծերի տարբերությունն էլ ավելի ցայտուն է դրսևորվում պոտենցիալների ակտիվ-պասիվ և պասիվ տիրույթներում: Եթե ընդունենք, որ մետաղի պասիվացման քանակական բնութագիրը պասիվացման կրիտիկական հոսանքն է [5], ապա բերված տվյալներից երևում է, որ 40%-ոց ծծմբաթթվի մեջ յոդիդային տիտանի պասիվացման ունակությունը 300 անգամ գերազանցում է հիդրիդային տիտանի համանման ունակությանը:

Նկարից միաժամանակ երևում է, որ սկսած $\varphi \geq +0,1 \text{ B}$ պոտենցիալից, ինչպես աղաթթվի, այնպես էլ ծծմբաթթվի ուսումնասիրվող լուծույթներում յոդիդային տիտանը գտնվում է կայուն պասիվ վիճակում:

Ինչպես հայտնի է, դա պայմանավորված է անոդային բևեռացման պայմաններում մետաղի մակերեսի վրա TiO_2 -ի պաշտպանիչ շերտի առաջացմամբ, որն օժտված է էլեկտրոնային խիստ ցածր հաղորդականությամբ և մեծ թթվակայունությամբ [6,7]: Հիդրիդային տիտանի փորձանմուշի վրա նույն

պայմաններում առաջացած օքսիդային շերտը հավանաբար անկատար է և աչքի է ընկնում իր թույլ պաշտպանիչ ընդունակությամբ, այդ պատճառով փորձանմուշն ուսումնասիրվող լուծույթներում շարունակում է մեծ արագությամբ լուծվել նաև պոտենցիալների պասիվ տիրույթում: Ավելին, այս փորձանմուշի անոդային բևեռացման կորի վրա, 40%-ոց ծծմբաթթվի լուծույթում, նեղ պասիվացման տիրույթից անմիջապես հետո, արձանագրվում է վառ արտահայտված ակտիվացման մի տիրույթ, որտեղ անգամ անգեն աչքով կարելի է նկատել, որ մետաղը լուծվում է՝ առաջացնելով կոռոզիոն խոցեր: Նկատի ունենալով մի շարք աշխատանքների [8,9] արդյունքները, վերոհիշյալ ակտիվացման տիրույթը կարելի է մեկնաբանել որպես միջավայրում գտնվող SO_4^{2-} անիոններով մետաղի մակերեսի վրա առաջացած ոչ կայուն պասիվացման շերտի քայքայման դրսևորում:

Աղաթթվի և ծծմբաթթվի լուծույթներում տիտանի տարբեր փորձանմուշների լուծման վրա տարբեր արդյունավետությամբ են ազդում նաև աղսորբցիոն ինհիբիտորները:

(Պաշտպանման Z աստիճանը որոշվել է $Z = (K_0 - K) / K_0$ բանաձևով, որտեղ K_0 -ն և K -ն կոռոզիայի արագությունն են համապատասխանաբար ինհիբիտորի բացակայության և առկայության պայմաններում):

Այսպես, թեև ինհիբիտորների բացակայության դեպքում հիդրիդային տիտանն ուսումնասիրվող լուծույթներում լուծվում է ավելի մեծ արագությամբ, այնուամենայնիվ, ինհիբիտորների առկայությամբ այս փորձանմուշի լուծման արագությունը անհամեմատ փոքր է յոդիդային տիտանի լուծման արագության համեմատությամբ (աղ.2): Հետևաբար, կարելի է եզրակացնել, որ հիդրիդային տիտանն օժտված է ինհիբիտորների նկատմամբ ավելի մեծ աղսորբցիոն ընդունակությամբ, քան յոդիդային տիտանը:

Աղյուսակ 2

Տիտանի տարբեր փորձանմուշների կոռոզիայի արագությունը (K , 10^{-3} կգ.մ⁻² ժ) և ինհիբիտորների պաշտպանման աստիճանը (Z) 40% H_2SO_4 - ի և 35 % HCl լուծույթներում, 313 K-ում

N/N	Ինհիբիտոր	Կոնցենտրացիա, 10^{-3} մոլ. L^{-1}	Յոդիդային տիտան		Հիդրիդային տիտան	
			K	Z	K	Z
1	KCNS	30	11,04	8,2	10,4	25,8
2	Տրիլոն-Բ	2,8	7,4	37,6	5,4	62,4
3	Ուրոտրոպին	200	6,72	44,4	2,3	80,2
35% HCl –ի լուծույթում						
1	Ուրոտրոպին	200	3,02	65	0,82	82

Այսպիսով, բերված փորձնական տվյալները թույլ են տալիս եզրակացնել, որ մետաղական տիտանի ստացման տեխնոլոգիական առանձնահատկությունները էական ազդեցություն են թողնում նրա կոռոզիոն, էլեկտրաքիմիական և աղսորբցիոն

հատկությունների վրա: Հնարավոր մյուս պատճառների հետ միասին հատկությունների նման տարբերությունների պատճառն այն է, որ կախված մետաղի ստացման եղանակից կարող են փոփոխվել դրա բյուրեղային կառուցվածքը, բյուրեղների առանձին նիստերի գերադասելի ուղղորդվածությունը, դիսլոկացիաների, արատների ու ակտիվ կենտրոնների կոնցենտրացիան և թիվը, որոնք կարող են ազդել լուծման պրոցեսի վրա: Այսպես, ծծմբաթթվի մեջ երկաթի լուծման օրինակի վրա Լորենցի և Էյխկորնի [10] կողմից ցույց է տրված, որ մետաղի բյուրեղային կառուցվածքի կտրուկ փոփոխությունը կարող է ազդել ոչ միայն մետաղի լուծման արագության վրա, այլև ընդհանրապես փոխել նրա լուծման մեխանիզմը:

Սակայն, կատարված չափումներն առայժմ բավարար չեն միանիշ կապ տեսնել մետաղի ստացման տեխնոլոգիայի, նրա բյուրեղային ցանցի կառուցվածքի և կոռոզիոն ու էլեկտրաքիմիական հատկությունների միջև:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Долуханян С.К., Алексанян А.Г., Тер-Галстян О.П., Шехтман В.Ш., Сахаров М.К., Абросимова Г.Е.** Особенности формирования сплавов и их гидридов в системе Ti-Zr-H // Химическая физика.- 2007.- Т. 26, N11.- С. 36-43.
2. **Жук Н.П.** Коррозия и защита металлов (расчеты).- М.: Машгиз, 1957.- 314 с.
3. **Хачатрян Э.А., Томашов Н.Д.** Коррозионное и электрохимическое поведение титана ВТ-1 и сплава Ti + 0,2% Pd в смешанных растворах уксусной и серной кислот //Защита металлов.- 1978.- N3. - С. 326-329.
4. **Томашов Н.Д., Альтовский Р.М.** Коррозия и защита титана.- М.: Машгиз, 1963.- 107 с.
5. **Колотыркин Я.М., Княжева В.М.** Экспериментальные и теоретические основы анодной защиты металлов от коррозии в агрессивных средах //Химическая промышленность.-1963.- N1.- С.40-47.
6. **Андреева В.В., Казарин В.И.** Исследование влияния легирующих элементов на коррозионное и электрохимическое поведение титана в сильно агрессивных растворах //Докл. АН СССР.- 1958.-N 123.- С.1048-1052.
7. **Андреева В.В., Яковлева Е.А.** Исследование механизма влияния ионов Ti^{4+} на электрохимическое и коррозионное поведение титана в растворах серной кислоты // Коррозия и защита конструкционных сплавов.-М.: Наука, 1966.- С.124-147.
8. **Фрейман Л.И., Колотыркин Я.М.** Исследование влияния анионов на пассивацию железа в нейтральных растворах кислот // Защита металлов.- М., 1965.- Т.1, N2.- С.161-167.
9. **Бунэ Н.Я.** К вопросу об электрохимическом и коррозионном поведении никеля в растворах серной и хлорной кислот // Защита металлов.- М., 1965.-Т.1, N2.- С.168-172.
10. **Лоренц В., Эйхкорт Г.** Влияние границ субзерен и дефектов кристаллической решетки на механизм анодного растворения железа // Труды Третьего Международного конгресса по коррозии металлов. – М., 1968.-Т.1.-С.184-189.

ՎՊՄԻ: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 10.10.2008:

Э.А. ХАЧАТРЯН, Р.С. САРОЯН, А.Г. КАЗАРЯН

**ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО СПОСОБА ПОЛУЧЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО
ТИТАНА НА ЕГО КОРРОЗИОННОЕ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ В
КИСЛЫХ СРЕДАХ**

В ряде практически важных кислот неорганического и органического характера проведено сравнительное изучение коррозионного и электрохимического поведения титановых образцов различного технологического происхождения. Показано, что эти свойства во многом зависят от технологического способа их получения. Установлено, что способ получения этих образцов обуславливает также сродство к адсорбционным ингибиторам коррозии.

Ключевые слова: титановые образцы, неорганические и органические кислоты, коррозионные и электрохимические свойства, адсорбционные ингибиторы.

E.A. KHACHATRYAN, R.S. SAROYAN, A.G. KHAZARYAN

**THE INFLUENCE OF THE TECHNOLOGICAL METHOD FOR OBTAINING METALLIC
TITANIUM IN ACID ENVIRONMENT ON ITS CORROSIVE AND ELECTROCHEMICAL
BEHAVIOUR**

Among the practically important acids of organic and inorganic character a comparative study of the corrosion and electrochemical conduct of titanic samples having different technological origin is carried out - iodic and hydric titanium. It is shown that these properties mainly depend on the technological method of getting them. It is stated that the method of obtaining samples is also conditioned by the affinity to the adsorptive inhibitor of corrosion.

Keywords: samples of titanium, organic and inorganic acids, corrosive and electrochemical properties, adsorptive inhibitors.

С.Н. ЕНГИБАРЯН, Г.А. СУХУДЯН

ХИМИЧЕСКОЕ ОБЕСКРЕМНИВАНИЕ ПЕМЗОВОГО И ФЕЛЬЗИТОВОГО ТУФОВ

Показано, что в идентичных условиях химическое обескремнивание (ХО) пемзового туфа раствором каустической щелочи при атмосферном давлении по сравнению с фельзитовым туфом протекает более глубоко. Установлено, что при ХО исходного пемзового туфа в поле ультразвуковых (УЗ) колебаний и термообработанного пемзового туфа в сосуде с мешалкой и в поле УЗ колебаний получают качественные концентраты гидроалюмосиликата натрия. Концентраты, полученные из термообработанного пемзового туфа в поле УЗ колебаний, более высокого качества. Они могут найти широкое применение в производстве глинозема разными способами, а также коагулянтов, адсорбентов и других материалов.

Ключевые слова: пемза, фельзит, туф, обескремнивание, ультразвук, коагулянт, адсорбент.

Известно, что низкокачественные нефелиновые и псевдолейцитовые сиениты, в том числе и армянские, экономически невыгодно перерабатывать на глинозем способом спекания из-за высокого содержания диоксида кремния и сравнительно низкого содержания глинозема [1]. Для повышения эффективности их переработки предложены в основном два варианта: а) совместная переработка с глиноземсодержащими породами и отходами с высоким содержанием глинозема способом прямого спекания с известняком и содой, например, с бедными бокситами [2], металлургическими шлаками [3] и др.; б) предварительное ХО породы и спекание полученного концентрата с известняком. Варианты совместной переработки из-за простоты более желательны для промышленной реализации. Однако таких пород и отходов в Армении нет; с другой стороны, их не удастся реализовать в промышленных условиях из-за залипания цепей и нарушения проходимости шихты в печи спекания [4]. Предложенные способы ХО - обжига с содой [5], бикарбонатами натрия и калия [6] с последующим выщелачиванием силикатов натрия и калия водой в промышленных условиях тоже не удастся реализовать по тем же причинам. Обескремнивание породы в автоклавах раствором каустической щелочи протекает в технически сложных условиях при высоких температуре и давлении, взвешанная пульпа плохо фильтруется [7]. На наш взгляд, практический интерес могут представлять варианты совместной переработки низкокачественных нефелиновых сиенитов (НС) с природными качественными щелочными алюмосиликатами и искусственными гидроалюмосиликатами натрия (ГАСН) и калия (ГАСК) с высоким содержанием глинозема $Al_2O_3 \geq 28...29\%$ и низким содержанием диоксида кремния $SiO_2 \leq 40,0\%$ способом спекания. Однако первые мало распространены, а с другой стороны, даже у нефелинового концентрата Кольского полуострова содержание диоксида кремния высокое: $SiO_2 = 43...45\%$. Поэтому получение качественных ГАСН и ГАСК в мягких условиях при атмосферном давлении особенно в случаях, позволяющих

эффективное и комплексное использование сырья, представляет большой практический интерес. Для решения данной задачи определенный интерес могут представлять выветренные глиноземсодержащие породы, фазовый состав которых позволяет непосредственно или после термической обработки подвергать их глубокому обескремниванию при атмосферном давлении. По рекомендации геологов, для исследования выбраны пемзовые (П) и фельзитовые (Ф) разновидности туфов, соответственно, Ноемберянского и Анийского месторождений.

Работ по изучению ХО туфов Армении в доступной нам литературе не обнаружено.

Целью настоящей работы является получение высококачественных ГАСН и ГАСК из туфов при атмосферном давлении.

Экспериментальная часть. Исследования по ХО пемзовых и фельзитовых туфов проведены при атмосферном давлении и температуре кипения раствора в круглодонной колбе с мешалкой и обратным холодильником и в поле УЗ (20 кГц) колебаний аппарата УЗ обработки суспензий [8] в следующих условиях: размеры частиц туфов $d_p = 1,25 \cdot 10^{-4}$ м; химический состав раствора $Na_2O_{кт} = 285,0$ г/л, $Na_2O_{кб} = 12,4$ г/л; температура и продолжительность процесса ХО: $t = 109...112$ °С, $\tau = 1$ час; массовое отношение жидкости к твердому Ж:Т=4. Нагрев колбы и УЗ аппарата осуществляли на масляной бане, масло которого постоянно циркулировало через термостат. Термообработку измельченных туфов проводили в муфельной печи при заранее определенной оптимальной температуре 750°С и продолжительности $\tau = 1$ час. Конструкция аппарата УЗ обработки суспензий и его работа приведены в [8,9]. В аппарате данной конструкции путем равномерного распределения частиц твердой фазы и кавитационных полостей в зоне обработки суспензий обеспечивается наиболее полное и эффективное использование энергии кавитационных полостей и наблюдаются явления, образуемые при их захлопывании. Рентгенофазовый анализ полученных концентратов ГАСН проведен на приборе УРС - 50 ИМ с Си-К излучениями. Химический состав использованных образцов туфов и полученных концентратов ГАСН приведен в таблице.

Обсуждение результатов. Результаты ХО пемзового и фельзитового туфов в сосуде с мешалкой в приведенных выше условиях показывают, что в обоих случаях извлекаются значительные количества диоксида кремния, но из пемзовых туфов – в большей степени. Различие выходов кремнезема, на наш взгляд, обусловлено различием фазового состава, а также микро- и макроструктуры. По данным [10], содержание вулканических стекол, являющихся основным источником аморфного кремнезема в пемзовых туфах значительно больше и колеблется в пределах 50...70 %. По данным [11], аморфный кремнезем в стекле находится в виде аморфных, деформированных кремнекислородных цепей (каркасов), образующих с алюмокремниевыми цепями (каркасами) различные композиции пористого, спутанно-волокнутого или струйчато-волокнутого строения. Наоборот, у фельзитового туфа превалирует содержание мельчайших кристаллических образований, погруженных в тонкораспределенную стекловатую фазу.

Влияние внутренней макроструктуры обоих видов туфов (каналы и внутренние пористые поры) на интенсивность и глубину извлечения диоксида кремния в сосуде

с мешалкой не может быть существенным из-за пассивной обновляемости жидкой фазы в каналах и порах, вследствие чего массоперенос в них происходит путем молекулярной диффузии. Некоторое повышение глубины извлечения диоксида кремния пемзового туфа может иметь место за счет большей наружной удельной поверхности частиц (вследствие большей пористости) с относительно большими размерами открытых пор и входов в каналы, на поверхности которых массоперенос протекает путем турбулентной диффузии.

Таблица

Влияние термообработки и УЗ на глубину ХО фельзитового (Ф) и пемзового (П) туфов

И п/п	Наименование проб	Химический состав, масс. %							
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	ппп+вл.
1	Ф туф	70,2	15,95	2,7	0,35	2,38	1,16	4,54	2,72
2	Конц. Ф туфа	54,8	20,5	3,6	0,25	2,40	10,2	3,0	6,55
3	Конц. Ф туфа в поле УЗ	50,7	21,8	3,6	0,22	2,24	9,7	2,8	8,74
4	Конц. предварит. обработ. в поле УЗ в водной среде Ф туфа	47,4	23,2	3,6	0,28	3,75	13,8	0,81	7,60
5	П туф	70,3	15,89	1,7	0,36	2,17	4,38	2,89	3,15
6	Конц. П туфа	46,1	23,2	3,6	0,28	3,75	13,8	0,81	7,60
7	Конц. предварит. обработ. в поле УЗ в водной среде П туфа	42,2	25,4	3,8	0,33	3,65	14,2	0,50	9,30
8	Конц. П туфа в поле УЗ	38,7	28,7	4,0	0,44	3,84	15,6	0,25	9,6
9	Конц. термообр. (750°C, 1 час) П туфа	41,2	27,8	3,8	0,29	3,72	15,32	0,22	7,25
10	Конц. термообр. (750°C, 1 час) П туфа в поле УЗ	36,2	30,2	4,2	0,48	3,95	16,65	0,34	7,85

При проведении процесса Х0 в поле УЗ колебаний наблюдается резкое повышение глубины извлечения диоксида кремния обоих видов туфов, однако, как и в случае Х0 в сосуде с мешалкой у пемзового туфа, повышение значительно больше. На наш взгляд, значительный рост глубины извлечения диоксида кремния обусловлен несколькими причинами: а) активацией (эрозией) поверхности частиц под воздействием кавитации. Установлено, что под воздействием кавитации процессы растворения кристаллических веществ, протекающих в кинетической области, ускоряются в несколько раз [12]; б) активацией процессов массопереноса в капиллярах и порах частиц. Образующиеся при захлопывании кавитационных полостей микропотоки жидкости и электромагнитные волны, проникая с большой скоростью в объем капилляров и пор, завихряют и обновляют в них жидкость. В результате молекулярно-диффузионный характер массопереноса переходит в турбулентный; в) дополнительным измельчением материала и созданием микро- и макродефектов как в ячейках кристаллов, так и в структуре твердых многофазных частиц.

Изучена также возможность предварительной активации туфов в водной среде с температурой 80,0 °С обработкой в поле УЗ колебаний. Результаты исследования показывают, что степень извлечения диоксида кремния фельзитового туфа повышается на 10,5 %, а пемзового туфа - 5,5 %, т.е. почти в два раза меньше. Столь значительное различие повышения степени извлечения диоксида кремния фельзитового туфа, на наш взгляд, обусловлено большей степенью измельчения твердого и хрупкого фельзитового туфа. Возможно также, что этому сопутствует другой механизм активации. Полученный при УЗ обработке пемзового туфа концентрат с содержанием основных компонентов $\text{SiO}_2 = 38,7 \%$, $\text{Al}_2\text{O}_3 = 28,7 \%$, $\text{R}_2\text{O} = 16,0 \%$ является качественным сырьем для производства глинозема разными способами, а также коагулянтов, адсорбентов и других материалов.

Результаты исследования показывают, что термическая обработка пемзового туфа при 750°С в течение 1 часа резко повышает выход диоксида кремния в сосуде с мешалкой. Причинами такого резкого повышения выхода диоксида кремния, на наш взгляд, могут быть: дополнительная аморфизация зародышевых кристаллов; образование дефектов микро- и макроструктуры ячеек кристаллов и макродефектов в многофазных кристаллических частицах как следствие разности термических коэффициентов линейного расширения фаз, способных образовать сдвиговые напряжения и микротрещины между фазами; явления концентрирования и обособления кремнекислородных и алюмокремниевых деформированных цепей неравновесного вулканического стекла и др. Полученный концентрат по содержанию основных компонентов не уступает нефелиновому концентрату Кольского полуострова, а по активности (подобно белого шлама) [13] - превышает. Более резкое повышение выхода диоксида кремния наблюдается при Х0 термообработанного пемзового туфа в поле УЗ колебаний. О причинах повышения глубины извлечения диоксида кремния в поле УЗ колебаний отмечалось выше. Полученный концентрат ГАСН высокого качества.

Результаты процессов Х0 исходного пемзового туфа при атмосферном давлении в поле УЗ колебаний и термообработанного пемзового туфа в сосуде с мешалкой дают основание полагать, что их переработку можно вести комплексно. Полученные

концентраты пемзового туфа могут найти широкое применение для производства глинозема разными способами, а также коагулянтов, адсорбентов и других материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Китлер И.Н., Лайнер Ю.А.** Нефелины-комплексное сырьё, алюминиевой промышленности. - М.: Металлургиздат, 1962.- 40 с.
2. **Хазанов Е.И., Шишкенникова Э.М.** // Цветные металлы. - 1965.- №7.- С. 58.
3. **Исаков У.И., Рахимов А.Р., Нурмагамбетов Х.Н.** // Цветные металлы. - 1966.- №12.- С. 52.
4. **Мошкина М.К., Сажин В.С., Дементьева С.Д.** // Укр. хим ж.- 1965.- № 8. - С. 851.
5. А.с. 467580 (СССР) / **Л.К. Яковлев, Т.И. Авдеева, А.А. Новолодская.** - 1977.
6. А.с. 939387 (СССР) / **Л.К. Яковлев, Т.А. Шершнева, Л.С. Теботин.** - 1982.
7. **Манвелян М.Г.** Химия и технология глинозема // Тр. Всес. совещ. - Ереван: Изд. НТИ СНХ АрмССР.- С. 31, 121.
8. А.с. 882645 (СССР) / **С.Н. Енгибарян, И.П. Мухленов, П.И. Костанян** - 1987.
9. **Енгибарян С.Н., Геворкян С.В.** // Хим. ж. Армении. - 1999.- Т. 52, №1-2.- С. 20.
10. Геология АрмССР, Т.7. Неметаллические полезные ископаемые. - Ереван: Изд. АН АрмССР, 1966.- 577 с.
11. **Наседкин В.В.** Водосодержащие вулканические стекла кислого состава, их генезис и изменения // Тр. ИГЕМ АН СССР.- М., 1963.- Вып. 98.- 210 с.
12. Ультразвуковая технология / Под ред. **Б.А. Аграната.** - М.: Металлургия, 1974.- 346 с.
13. **Авдеева Т.И., Новолодская А.А.** // Цветные металлы.- 1975.- №11.- С. 34.

ИОНХ НАН РА. Материал поступил в редакцию 21.10.2008.

Ս.Ն. ԵՆԳԻԲԱՐՅԱՆ, Գ.Ա. ՍՈՒԽՈՒԴՅԱՆ

**ՊԵՄՁԱՅԻՆ ԵՎ ՖԵԼԶԻՏԱՅԻՆ ՏՈՒՖԵՐԻ ՍԻԼԻՑԻՈՒՄԻ ԵՐԿՕՔՍԻՐԻ ԿՈՐՁՈՒՄ
ՔԻՄԻԱԿԱՆ ՃԱՆԱՊԱՐՀՈՎ**

Ցույց է տրված, որ նույն պայմաններում, պեմզային տուֆի սիլիցիումի երկօքսիդի կորզման գործընթացը ֆելզիտային տուֆի համեմատությամբ ավելի խորն է զնում: Հաստատված է, որ ելանյութային պեմզային տուֆի սիլիցիումի երկօքսիդի կորզման գործընթացը մթնոլորտային ճնշման տակ կաուստիկ հիմքի լուծույթով, ուլտրաձայնային տատանումների (ՈԻՁ, 20 կՀց) դաշտում, իսկ ջերմամշակված պեմզային տուֆի դեպքում՝ խառնիչով անոթում և ՈԻՁ տատանումների դաշտում իրականացնելու դեպքում ստացվում են նատրիումի հիդրոալյումոսիլիկատի (ՆՀԱՍ) բարձրորակ խտանյութեր: Ջերմամշակված պեմզային տուֆի SiO_2 – ի կորզման գործընթացը ՈԻՁ տատանումների դաշտում իրականացնելու դեպքում ստացվում են ՆՀԱՍ-ի ավելի բարձրորակ խտանյութեր, որոնցում հիմնական բաղադրամասերի բաղադրությունները կազմում են, զանգ.%. $\text{Al}_2\text{O}_3=29-30\%$, $\text{SiO}_2=36-37\%$, $\text{R}_2\text{O}=17,0-17,5\%$. Դրանք կարող են լայն կիրառություն գտնել տարբեր եղանակներով կատարվող կավահողի, մակարդիչների, ադսորբենտների արտադրության մեջ ինչպես նաև արդյունաբերության տարբեր ճյուղերում:

Ստանցային բառեր. պեմզա, ֆելզիտ,տուֆ, սիլիցիումազերծում, ուլտրաձայն, մակարդիչ, ադսորբենտ:

S.N. YENGIBARYAN, G.A. SUKHUDYAN

CHEMICAL DESILICONIZING OF PUMICE AND FELSITE TUFF

It is shown that in identical conditions the chemical desiliconizing of pumice tuff with a solution of caustic alkali under the atmosphere pressure proceeds deeper as compared with felsite tuff. It has been stated that if the chemical desiliconizing of initial pumice tuff with a solution of caustic alkali under the atmosphere pressure within the field of ultrasonic vibrations (UV), and in case of heat-treated pumice tuff in a vessel with a stirring rod and within the field of ultrasonic vibrations, the high quality hydroalumina silicate of natrium concentrates are obtained. In the latter case concentrates of higher quality are obtained. They will be widely adopted in the production of alumina coagulants, adsorbents and in various branches of industry as well.

Keywords: pumice, felsite, tuff, desiliconizing, ultrasonic, coagulants, adsorbents.

В.С. ХАЧАТРЯН, А.С. АПРОЯН

ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ФУНКЦИИ ПОТЕРЬ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ ОТНОСИТЕЛЬНО КОЭФФИЦИЕНТОВ ТРАНСФОРМАЦИИ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Рассматривается чувствительность функции потерь активной мощности относительно коэффициентов трансформации трансформаторов.

Ключевые слова: функция, мощность, чувствительность, коэффициент, потери, трансформатор, модель, узел, схема, сопротивление, система.

Исходным для решения рассматриваемой задачи является вопрос построения функции потерь мощностей в зависимости от комплексных коэффициентов трансформации трансформаторов. При этом в качестве исходных пассивных параметров можно использовать как $\underline{Z}$, так и $\underline{Y}$ параметры схемы замещения рассматриваемой электроэнергетической системы (ЭЭС).

В настоящее время существует множество работ, посвященных расчетам режимов ЭЭС с учетом комплексных коэффициентов трансформации трансформаторов [1-21].

При построении функции потерь мощностей [18] используется прямоугольная матрица коэффициентов распределения, которая в последнее время полностью исключена при решении режимных задач ЭЭС. При построении соответствующей функции потерь принимается ряд допущений, тем не менее она получается громоздкой, и ее применение вызывает вычислительные затруднения.

В [20, 21] построены функции потерь мощностей, зависящие от комплексных коэффициентов трансформации трансформаторов, используя соответственно $\underline{Z}$ и $\underline{Y}$ матрицы обобщенных параметров. Полученные функции потерь успешно можно использовать для исследования чувствительности относительно любых режимных параметров и коэффициентов трансформации трансформаторов.

В [20] установлена следующая функция потерь активной мощности:

$$P_a = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M I_i' I_j' \underline{R}_{ij} + \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M I_i'' I_j'' \underline{R}_{ij}, \quad (1)$$

или в матричной форме:

$$P_a = I'^T \underline{R} I' + I''^T \underline{R} I''. \quad (2)$$

Здесь $\underline{R}$ - квадратная неособенная матрица узловых активных сопротивлений, определяемая на основании выражения

$$\underline{R} = \text{Re} \left[\left(\underline{\hat{M}} \underline{Z}_B^{-1} \underline{\dot{M}}^T \right)^{-1} \right]. \quad (3)$$

В прямоугольных матрицах соединений $\underline{\hat{M}}$ и $\underline{\dot{M}}^T$ учитывается наличие комплексных коэффициентов трансформации трансформаторов, которые функционируют в электрической схеме замещения исследуемой ЭЭС. Фактически, посредством выражения (3) устанавливается зависимость матрицы $\underline{R}$ от коэффициентов трансформации трансформаторов. При рассмотрении конкретной электрической схемы замещения ЭЭС можно построить соответствующую $\underline{R}$ матрицу и учесть ее в (1) или (2).

Таким образом, с учетом (3) в (1) или в (2) получим функцию потерь активной мощности, зависящую от составляющих комплексных коэффициентов трансформации трансформаторов.

Имея функцию потерь активной мощности, можно рассмотреть вопрос ее чувствительности относительно коэффициентов трансформации трансформаторов. Если функция потерь активной мощности зависит от всех коэффициентов трансформации трансформаторов, то этого нельзя сказать относительно чувствительности потерь активной мощности. Следует отметить, что функция потерь активной мощности находится в нелинейной зависимости от коэффициентов трансформации трансформаторов.

Как было отмечено выше, функции потерь активной мощности зависят от коэффициентов трансформации. Предположим, во всех N ветвях схемы замещения рассматриваемой ЭЭС функционируют трансформаторы с комплексными коэффициентами трансформации. Если их обозначить через $\dot{K}_{T1}, \dot{K}_{T2}, \dots, \dot{K}_{TN}$, то функцию потерь активной мощности относительно коэффициентов трансформации трансформаторов можно в неявно выраженной форме представить в следующем виде:

$$P_a = P_a(K'_{T1}, K'_{T2}, \dots, K'_{TN}; K''_{T1}, K''_{T2}, \dots, K''_{TN}), \quad (4)$$

где

$$\dot{K}_T = K'_T + jK''_T, \quad (5)$$

отсюда следует

$$K'_T = \text{Re}(\dot{K}_T), \quad K''_T = \text{Im}(\dot{K}_T). \quad (6)$$

Однако на практике не бывает случая, когда во всех ветвях схемы замещения исследуемой ЭЭС функционируют трансформаторы. Тем не менее функции чувствительности не зависят от всех коэффициентов трансформации трансформаторов. Это связано с тем, что при определении чувствительности потерь активной мощности необходимо взять частные производные от этой функции по соответствующим коэффициентам трансформации трансформатора. При этом в каждом случае в функции чувствительности остается тот коэффициент трансформации трансформатора, относительно которого берутся производные от потерь активной мощности.

Предположим, берется производная от функции потерь мощности по коэффициентам трансформации трансформатора с индексом “ ℓ ”. Тогда соответствующие функции чувствительности принимают вид

$$\frac{\partial \Pi_a}{\partial K'_{T\ell}} = f(K'_{T\ell}), \quad \frac{\partial \Pi_a}{\partial K''_{T\ell}} = \varphi(K''_{T\ell}) \quad (7)$$

где $\dot{K}_{T\ell}$ – комплексный коэффициент трансформации трансформатора, функционирующий в ℓ -й ветви.

Если функция потерь активной мощности находится в нелинейной зависимости, то функция чувствительности будет находиться в линейной зависимости относительно коэффициента трансформации трансформатора.

Теперь необходимо установить выражения (7) в явно выраженной форме относительно составляющих $K'_{T\ell}$ и $K''_{T\ell}$ комплексного коэффициента трансформации трансформатора. Фактически, необходимо определить чувствительность потерь активной мощности относительно коэффициента трансформации трансформатора, функционирующего в ветви с индексом “ ℓ ”. Для установления необходимых выражений требуется построить соответствующую математическую модель чувствительности.

Рассмотрим ветвь с индексом “ ℓ ”, в которой функционирует трансформатор с комплексным коэффициентом трансформации, находящуюся между узлами i – j (рис.1).

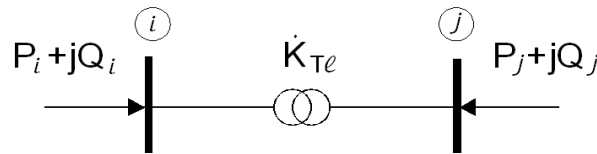


Рис. 1. Ветвь с трансформатором

Как можно заметить, трансформаторная ветвь со сторонами узлов i и j питается комплексными мощностями $P_i + jQ_i$ и $P_j + jQ_j$ соответственно.

Математическая модель строится с учетом следующих соображений. Поскольку рассматривается чувствительность потерь активной мощности относительно коэффициента трансформации трансформатора, функционирующего в ветви “ ℓ ”, то можно сказать, что в функции потерь активной мощности будут фигурировать также мощности $P_i, Q_i; P_j, Q_j$, так что можем написать

$$\Pi_a = \Pi_a(P_i, Q_i; P_j, Q_j). \quad (8)$$

С другой стороны, необходимо отметить, что при формировании выражений P_i, Q_i ; P_j, Q_j в них будет фигурировать коэффициент трансформации трансформатора ветви “ ℓ ”. В результате имеем

$$P_i = P_i(\dot{K}_{T\ell}); \quad Q_i = Q_i(\dot{K}_{T\ell}); \quad (9)$$

$$P_j = P_j(\dot{K}_{T\ell}); \quad Q_j = Q_j(\dot{K}_{T\ell}).$$

Если комплексный коэффициент трансформации трансформатора представить в алгебраической форме, т.е. в виде (5), то функции (9) можно представить в следующем виде:

$$P_i = P_i(K'_{T\ell}, K''_{T\ell}); \quad Q_i = Q_i(K'_{T\ell}, K''_{T\ell}); \quad (10)$$

$$P_j = P_j(K'_{T\ell}, K''_{T\ell}); \quad Q_j = Q_j(K'_{T\ell}, K''_{T\ell}).$$

В совокупности (8), (9) или (8), (10) изображают математическую модель чувствительности потерь активной мощности относительно коэффициента трансформации трансформатора с индексом “ ℓ ”.

На основании вышеприведенной математической модели чувствительности (8), (10) можно написать следующие выражения:

$$\frac{\partial P_a}{\partial K'_{T\ell}} = \frac{\partial P_a}{\partial P_i} \cdot \frac{\partial P_i}{\partial K'_{T\ell}} + \frac{\partial P_a}{\partial Q_i} \cdot \frac{\partial Q_i}{\partial K'_{T\ell}} + \frac{\partial P_a}{\partial P_j} \cdot \frac{\partial P_j}{\partial K'_{T\ell}} + \frac{\partial P_a}{\partial Q_j} \cdot \frac{\partial Q_j}{\partial K'_{T\ell}}, \quad (11)$$

$$\frac{\partial P_a}{\partial K''_{T\ell}} = \frac{\partial P_a}{\partial P_i} \cdot \frac{\partial P_i}{\partial K''_{T\ell}} + \frac{\partial P_a}{\partial Q_i} \cdot \frac{\partial Q_i}{\partial K''_{T\ell}} + \frac{\partial P_a}{\partial P_j} \cdot \frac{\partial P_j}{\partial K''_{T\ell}} + \frac{\partial P_a}{\partial Q_j} \cdot \frac{\partial Q_j}{\partial K''_{T\ell}}. \quad (12)$$

Разумеется, что в случае действительного коэффициента трансформации трансформатора чувствительность потерь активной мощности относительно него принимает вид

$$\frac{\partial P_a}{\partial K_{T\ell}} = \frac{\partial P_a}{\partial P_i} \cdot \frac{\partial P_i}{\partial K_{T\ell}} + \frac{\partial P_a}{\partial Q_i} \cdot \frac{\partial Q_i}{\partial K_{T\ell}} + \frac{\partial P_a}{\partial P_j} \cdot \frac{\partial P_j}{\partial K_{T\ell}} + \frac{\partial P_a}{\partial Q_j} \cdot \frac{\partial Q_j}{\partial K_{T\ell}}. \quad (13)$$

Теперь необходимо установить выражения частных производных, входящих в функции (11) и (12).

Поскольку функция P_a непосредственно не зависит от активной мощности, то имеем

$$\frac{\partial \Pi_a}{\partial P_i} = \frac{\partial \Pi_a}{\partial I'_i} \cdot \frac{\partial I'_i}{\partial P_i} + \frac{\partial \Pi_a}{\partial I''_i} \cdot \frac{\partial I''_i}{\partial P_i}, \quad (14)$$

$$\frac{\partial \Pi_a}{\partial Q_i} = \frac{\partial \Pi_a}{\partial I''_i} \cdot \frac{\partial I''_i}{\partial Q_i} + \frac{\partial \Pi_a}{\partial I'_i} \cdot \frac{\partial I'_i}{\partial Q_i}, \quad (15)$$

$$\frac{\partial \Pi_a}{\partial P_j} = \frac{\partial \Pi_a}{\partial I'_j} \cdot \frac{\partial I'_j}{\partial P_j} + \frac{\partial \Pi_a}{\partial I''_j} \cdot \frac{\partial I''_j}{\partial P_j}, \quad (16)$$

$$\frac{\partial \Pi_a}{\partial Q_j} = \frac{\partial \Pi_a}{\partial I''_j} \cdot \frac{\partial I''_j}{\partial Q_j} + \frac{\partial \Pi_a}{\partial I'_j} \cdot \frac{\partial I'_j}{\partial Q_j}. \quad (17)$$

Для определения частных производных типа $\partial I/\partial P$ и $\partial I/\partial Q$ воспользуемся следующими выражениями [19]:

$$I'_{i(j)} = \frac{1}{U_{i(j)}} P_{i(j)} \cos \Psi_{ui(j)} + \frac{1}{U_{i(j)}} Q_{i(j)} \sin \Psi_{ui(j)}, \quad (18)$$

$$I''_{i(j)} = \frac{1}{U_{i(j)}} P_{i(j)} \sin \Psi_{ui(j)} - \frac{1}{U_{i(j)}} Q_{i(j)} \cos \Psi_{ui(j)}. \quad (19)$$

Разумеется, что для определения частных производных типа $\partial \Pi_a/\partial I'$ и $\partial \Pi_a/\partial I''$ необходимо воспользоваться выражением функции потерь активной мощности (1). В данном случае получим

$$\frac{\partial \Pi_a}{\partial I'_i} = 2 \sum_{j=1}^M \underline{R}_{ij} I'_j, \quad \frac{\partial \Pi_a}{\partial I''_i} = 2 \sum_{j=1}^M \underline{R}_{ij} I''_j. \quad (20)$$

С другой стороны, устанавливаем выражения следующих частных производных:

$$\frac{\partial I'_{i(j)}}{\partial P_{i(j)}} = \frac{1}{U_{i(j)}} \cos \Psi_{ui(j)}, \quad (21)$$

$$\frac{\partial I'_{i(j)}}{\partial Q_{i(j)}} = \frac{1}{U_{i(j)}} \sin \Psi_{ui(j)}, \quad (22)$$

$$\frac{\partial I_{i(j)}''}{\partial P_{i(j)}} = \frac{1}{U_{i(j)}} \sin \Psi_{ui(j)}, \quad (23)$$

$$\frac{\partial I_{i(j)}''}{\partial Q_{i(j)}} = -\frac{1}{U_{i(j)}} \cos \Psi_{ui(j)}. \quad (24)$$

Теперь необходимо установить выражения частных производных типа $\frac{\partial P_i}{\partial K_{T\ell}'}, \frac{\partial P_i}{\partial K_{T\ell}''}; \frac{\partial Q_i}{\partial K_{T\ell}'}, \frac{\partial Q_i}{\partial K_{T\ell}''}$ и др. Для этого установим зависимости P_i, Q_i от составляющих комплексных коэффициентов трансформации трансформаторов посредством составляющих комплексных сопротивлений. Имеем следующие выражения для P_i, Q_i [19]:

$$P_i = U_B I_i' + \sum_{j=1}^M [(I_i' I_j' + I_i'' I_j'') \underline{R}_{ij} - (I_i' I_j'' - I_i'' I_j') \underline{X}_{ij}], \quad (25)$$

$$Q_i = -U_B I_i' + \sum_{j=1}^M [(I_i' I_j' + I_i'' I_j'') \underline{X}_{ij} - (I_i' I_j'' - I_i'' I_j') \underline{R}_{ij}], \quad (26)$$

где U_B - напряжение базисного узла.

Действительно, P_i и Q_i зависят от составляющих комплексных коэффициентов трансформации трансформаторов через сопротивления $\underline{R}$ и $\underline{X}$ согласно выражениям (3) и

$$\underline{X} = \text{Im} \left[\left(\hat{\underline{M}} \underline{Z}_B^{-1} \hat{\underline{M}}^T \right)^{-1} \right]. \quad (27)$$

Выражения (25) и (26) в неявно выраженной форме можно представить в виде

$$P_i = P_i[I', I''; \underline{R}(K_T', K_T''), \underline{X}(K_T', K_T'')], \quad (28)$$

$$Q_i = Q_i[I', I''; \underline{R}(K_T', K_T''), \underline{X}(K_T', K_T'')] \quad (29)$$

или

$$P_i = P_i(I', I''; K_T', K_T''), \quad (30)$$

$$Q_i = Q_i(I', I''; K_T', K_T''). \quad (31)$$

При этом искомые частные производные $\frac{\partial P_i}{\partial K_T'}, \frac{\partial P_i}{\partial K_T''}; \frac{\partial Q_i}{\partial K_T'}, \frac{\partial Q_i}{\partial K_T''}$ и др. нетрудно установить на основании функций (30), (31). Необходимо отметить,

что для большей ясности необходимо рассмотреть схемы замещения исследуемой ЭЭС.

Для примера рассмотрим схему замещения одной ЭЭС, состоящей из семи узлов и девяти ветвей (рис.2).

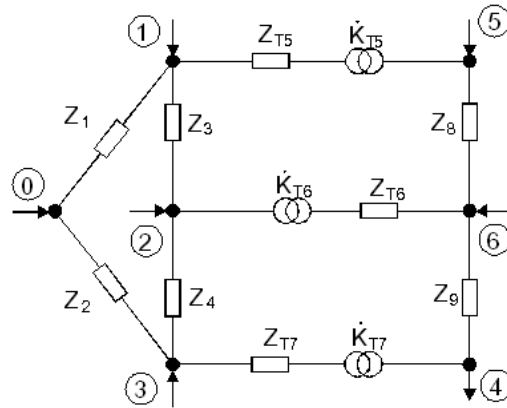


Рис.2. Расчетная электрическая схема замещения рассматриваемой ЭЭС

При этом неособенная квадратная матрица узловых комплексных проводимостей для схемы, приведенной на рис. 2, имеет вид

$$Y = \begin{bmatrix} Y_1 + Y_3 + Y_5 & -Y_3 & 0 & 0 & 0 & -Y_5 K_{T5} \\ -Y_3 & Y_3 + Y_4 & -Y_4 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -Y_4 & Y_2 + Y_4 + Y_7 & -Y_7 K_{T7} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -Y_7 \hat{K}_{T7} & Y_7 K_{T7}^2 + Y_9 & -Y_9 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -Y_9 & Y_8 + Y_9 & -Y_8 \\ -Y_5 \hat{K}_{T5} & 0 & 0 & 0 & -Y_8 & Y_5 K_{T5}^2 + Y_8 \end{bmatrix}. \quad (32)$$

При численных значениях пассивных параметров:

$$\begin{aligned} Y_1 &= 0,020533 - j0,033156, & Y_2 &= 0,010065 - j0,031507, \\ Y_3 &= 0,023388 - j0,039283, & Y_4 &= 0,030179 - j0,056281, \\ Y_5 &= 0,000747 - j0,027882, & Y_6 &= 0,000267 - j0,021094, \\ Y_7 &= 0,000514 - j0,019828, & Y_8 &= 0,020126 - j0,028543, \\ Y_9 &= 0,014750 - j0,025298, \\ \dot{K}_{T5} &= 0,490000 + j0,004780, & \dot{K}_{T6} &= 0,500000 + j0,004520, \\ \dot{K}_{T7} &= 0,682000 + j0,003300 \end{aligned} \quad (33)$$

матрица (32) с численными элементами принимает вид

0,044667- -j0,100296	-0,023387+ +j0,039258	0	0	0	-0,000499+ +j0,013658
-0,023387+ +j0,039258	0,053634- -j0,100812	-0,030179+ +j0,056280	0	-0,000004+ +j0,010548	0
0	-0,030179+ +j0,056280	0,040757- -j0,107615	-0,000415+ +j0,013520	0	0
0	0	-0,000284+ +j0,013524	0,014988- -j0,034520	-0,014750+ +j0,025298	0
0	-0,000228+ +j0,010545	0	-0,014750+ +j0,025298	0,035143- -j0,074935	-0,020126+ +j0,028543
-0,000232+ +j0,013665	0	0	0	-0,020126+ +j0,028543	0,020305- -j0,035238

(34)

Обращая неособенную квадратную матрицу (34), получаем неособенную матрицу узловых сопротивлений:

6,422048+ +j13,810095	4,485795+ +j10,180788	2,576071+ +j6,900661	3,968104+ +j10,212992	4,045988+ +j10,197802	6,737599+ +j12,132493
4,509942+ +j10,155279	9,673146+ +j20,165795	5,209540+ +j13,189479	6,766331+ +j15,004277	5,888640+ +j13,914946	6,879996+ +j14,670081
2,589202+ +j6,889253	5,198133+ +j13,201076	6,261476+ +j17,114905	6,375919+ +j14,446369	4,013953+ +j11,900092	4,351159+ +j12,131392
4,048259+ +j10,175757	6,787363+ +j14,999822	6,442824+ +j14,409036	14,252961+ +j56,204920	3,718918+ +j35,635910	3,188283+ +j33,153676
4,118388+ +j10,170621	5,876330+ +j13,947617	4,040075+ +j11,903657	3,694960+ +j35,662071	5,858541+ +j41,007945	4,617039+ +j37,902807
6,861238+ +j12,034803	6,908449+ +j14,650794	4,402862+ +j12,105554	3,194287+ +j33,143074	4,645975+ +j37,867104	17,210307+ +j56,548979

(35)

В полученной $\underline{Z}$ матрице (35) учтены комплексные коэффициенты трансформации трансформаторов.

Имея $\underline{Z}$ матрицу (35), можно определить $\underline{R}$ и $\underline{X}$, зависящие от составляющих комплексных коэффициентов трансформации трансформаторов:

$$\underline{R} = \underline{R}(\underline{K}'_T, \underline{K}''_T), \quad \underline{X} = \underline{X}(\underline{K}'_T, \underline{K}''_T). \quad (36)$$

Квадратные матрицы $\underline{R}$ и $\underline{X}$ получены при заданных $\dot{K}_{T5}$, $\dot{K}_{T6}$ и $\dot{K}_{T7}$, причем они изменяются при изменении численных значений коэффициентов трансформации трансформаторов.

Имея численные значения матрицы (34), а следовательно и (35), а также пользуясь выражениями (7), можно установить численные значения чувствительности потерь активной мощности относительно составляющих $\underline{K}'_T$ и $\underline{K}''_T$ комплексных коэффициентов трансформации трансформаторов.

Таким образом, для исследования чувствительности потерь активной мощности относительно K'_T и K''_T необходимо рассмотреть множество их численных значений и установить закономерность следующих функций:

$$\begin{aligned}\frac{\partial P_a}{\partial K'_{T5}} &= f_1(K'_{T5}); \quad \frac{\partial P_a}{\partial K''_{T5}} = \varphi_1(K''_{T5}); \\ \frac{\partial P_a}{\partial K'_{T6}} &= f_2(K'_{T6}); \quad \frac{\partial P_a}{\partial K''_{T6}} = \varphi_2(K''_{T6}); \\ \frac{\partial P_a}{\partial K'_{T7}} &= f_3(K'_{T7}); \quad \frac{\partial P_a}{\partial K''_{T7}} = \varphi_3(K''_{T7}).\end{aligned}\tag{37}$$

Следует отметить, что при задании множества численных значений коэффициентов трансформации трансформаторов необходимо учесть ограничения типа неравенств, налагаемых на них:

- при действительных значениях коэффициентов трансформации трансформаторов:

$$K_T^{\min} \leq K_T \leq K_T^{\max};\tag{38}$$

- при комплексных значениях коэффициентов трансформации трансформаторов:

$$\begin{aligned}K_T'^{\min} &\leq K'_T \leq K_T'^{\max}; \\ K_T''^{\min} &\leq K''_T \leq K_T''^{\max},\end{aligned}\tag{39}$$

где $\max$, $\min$ - предельные максимальные и минимальные значения коэффициентов трансформации трансформаторов.

Предельные значения коэффициентов трансформации трансформаторов устанавливаются согласно постановке задачи.

Как известно, при решении оптимизационных задач коэффициенты трансформации трансформаторов характеризуются управляющими переменными. При этом учет ограничений типа неравенств, налагаемых на коэффициенты трансформации трансформаторов, принимает особо важное значение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Мельников Н.А.** Расчет режимов работы сетей электрических систем.-М.: Госэнергоиздат, 1950.-324 с.
2. **Фазылов Х.Ф.** Теория и методы расчета электрических систем.-Ташкент: Изд - во АН УзССР, 1953.-176 с.
3. **Ward J.B., Hale H.W.** Digital computer solution of power – flow problems // Power Apparatus and systems. -1956.- V. 75, N 24.- P. 398-404.
4. **Gupta P.P., Graduate B.S., Dabies M.W.** Digital computers in power system anaiysis //IEEE.- 1961.- N 3484S.-P. 383-404.
5. **Brown H.E., Carter G.H., Happ H.H., Person C.E.** Power flow soution by impedance matrix iterative method //IEEE Transactions.-1963.-PAS-82, N 65.-P. 1-10.
6. **Холмский В.Г., Щербина Ю.В., Сулейманов В.Н.** Точный метод расчета режимов многократно замкнутых электрических сетей при наличии неуравновешенных трансформаторов связи и вольтодобавочных трансформаторов //Энергетика и электротехническая промышленность.- 1963.-N 4,5,6.-С. 35-40.
7. **Мельников Н.А.** Метод расчета рабочих режимов для схем, содержащих элементы трансформации с комплексными параметрами // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт.- 1964.-N 4.-С. 427-433.
8. **Мельников Н.А.** Метод расчета рабочих режимов электрических сетей нескольких номинальных напряжений // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт.-1965.-N 6.-С. 73-77.
9. **Brown H.E.** Contingencies evaluated by a Z-matrix method //IEEE Transactions.- 1969.- V. PAS-88, N 4. - P. 409-412.
10. **Качанова Н.А., Гоголина Л.А.** Учет комплексных коэффициентов трансформации трансформаторов в расчетах установившихся режимов энергосистем.-В кн.: Проблемы технической электродинамики.-25.-Киев: Наукова думка, 1970.-С. 30-36.
11. **Лопушинская Л.Л.** Алгоритм расчета установившегося режима сложных энергосистем при учете комплексных коэффициентов трансформации трансформаторов.-В кн.: Проблемы технической электродинамики.-25. Киев -Наукова думка, -1970.-С. 64-66.
12. **Бартоломей П.Н.** Об учете коэффициентов трансформации при расчете режимов электрических сетей методом уравнений узловых напряжений // Электричество.-1971.- N 10.- С 88-90.
13. **Peterson N.M., Meyer W.S.** Automatic adjustment of transformer and phase shifter taps in the Newton power flow //IEEE Transactions.-1971.-V. PAS-90, N 1.-P. 103-108.
14. **Despotovic S. T., Babic B. S. and Mastilovic V.P.** A rapid and reliable method for solving load-flow problems //IEEE Transactions.-1971.-V. PAS-90, N 1.-P. 123-130.
15. **Фазылов Х.Ф., Насыров Т.Х., Брискин И.Л.** К расчету установившихся режимов энергосистем с учетом комплексных коэффицентов трансформации трансформаторов // Электричество.- 1972.-N 12.-С. 7-9.
16. **Жуков Л.А., Стратан И.П.** Установившиеся режимы сложных электрических сетей и систем.- М.: Энергия, 1979.-416 с.
17. **Бернас С.С., Цек З.З.** Математические модели элементов электроэнергетических систем.-М.: Энергоиздат, 1982.-313 с.
18. **Александров О.И., Домников С.В., Бабкевич Г.Г.** Общая формула потерь мощности в электрических сетях с учетом комплексных коэффициентов трансформации в ветвях //Изв. вузов СССР. Энергетика.-1991.-№9.-С.6-11.
19. **Хачатрян В.С., Этмекчян Э.А.** Оптимизация режимов электрических систем/ЕрПИ.-Ереван, 1991.-120с.

20. **Хачатрян В.С., Бадалян Н.П., Хачатрян К.В., Григорян С.Э.** Построение функции потерь мощностей, зависящих от коэффициентов трансформации трансформаторов // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН.-2008. Т.61, №3 -С. 421-431.
21. **Хачатрян В.С.** Функция потерь активной мощности в Y-форме с учетом комплексных коэффициентов трансформации трансформаторов //Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН.- 2008.- Т.61, №4.-С. 548-557.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 14.10.2008.

Վ.Ս. ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ, Ա.Ս. ԱՊՐՈՅԱՆ

**ԱԿՏԻՎ ՀԶՈՐՈՒԹՅԱՆ ԿՈՐՍՏԻ ԶԳԱՅՈՒՆՈՒԹՅՈՒՆԸ ՏՐԱՆՍՖՈՐՄԱՏՈՐԻ
ՏՐԱՆՍՖՈՐՄԱՑԻԱՅԻ ԳՈՐԾԱԿՑԻ ՆԿԱՏՄԱՄԲ**

Դիտարկվում է ակտիվ հզորության կորստի ֆունկցիայի զգայունությունը տրանսֆորմատորի տրանսֆորմացիայի գործակցի նկատմամբ, երբ տրանսֆորմացիայի գործակիցն աճում է: Առաջարկված մեթոդը զուգորդվում է ԷԷՀ-ի համապատասխան հաշվարկային փոխարինման էլեկտրական սխեմայի հետ, որը բաղկացած է ինը ճյուղերից և յոթ հանգույցներից:

Առանցքային բառեր. ֆունկցիա, զգայունություն, գործակից, կորուստ, հանգույց, տրանսֆորմատոր, մոդել, սխեմա, դիմադրություն, համակարգ:

V.S. KHACHATRYAN, A.S. APROYAN

**ACTIVE POWER LOSS SENSIBILITY CONCERNING TRANSFORMER
TRANSFORMATION COEFFICIENTS**

Active power loss function sensibility concerning transformer transformation coefficients is considered.

Keywords: function, power, sensibility, coefficient, losses, transformer, model, unit, scheme, resistance, system.

Տ.Ս. ԳՆՈՒՆԻ, Լ.Հ. ԱԼԵԽՍԱՆՅԱՆ

**0,38/0,22 կՎ ՄԱՅՐՈՒՂԱՅԻՆ ԷԼԵԿՏՐԱՀԱՂՈՐԴՄԱՆ ԳԾԵՐՈՒՄ
ԱՆՀԱՎԱՍԱՐԱԶԱՓՈՒԹՅԱՆ ԳՈՐԾԱԿՑԻ ԱՐԺԵՔԻ ՈՐՈՇՈՒՄԸ ՈՉ
ՀՍՏԱԿ ԾՐԱԳՐԱՎՈՐՄԱՄԲ**

Դիտարկվել է անհավասարաչափության գործակցի որոշման մեթոդ՝ կախված 0,38/0,22 կՎ էլեկտրական ցանցի կոնկրետ տեղամասի առանձնահատկություններից: Որպես էլեկտրական ցանցի տեղամասի բնութագրիչ հատկանիշներ դիտարկվել են միաֆազ սպառողների և դրանց կողմից սպառված էլեկտրաէներգիայի ծավալների մասնաբաժինները, որոնց փոփոխման տիրույթներն արտահայտվել են լեզվաբանական փոփոխականների միջոցով: Խնդիրը լուծվել է ոչ հստակ մաթեմատիկական ծրագրավորման մեթոդների կիրառմամբ՝ MatLab ծրագրային փաթեթի օգնությամբ: Բերված է խնդրի լուծման թվային օրինակը:

Առանցքային բառեր. անհավասարաչափության գործակից, ոչ հստակ բազմություն, ոչ հստակ տրամաբանություն, լեզվաբանական փոփոխական, պատկանելության ֆունկցիա:

Հայտնի մոտեցումների [1, 2] և ՀՀ հանրային ծառայությունները կարգավորող հանձնաժողովի կողմից հաստատված «0,38-35 կՎ լարման էլեկտրական ցանցերում էլեկտրաէներգիայի տեխնոլոգիական կորուստների հաշվման մեթոդիկայի» [3] համաձայն՝ 0,38/0,22 կՎ էլեկտրական ցանցերի տարրերում էլեկտրաէներգիայի բեռնվածքային կորուստների հաշվարկն իրականացվում է

$$\Delta W = k_{\omega\delta} I_{\phi\delta}^2 r T_{\text{հաշ}} \quad (1)$$

բանաձևով, որտեղ $k_{\omega\delta}$ -ը բեռնվածքի անհավասարաչափության գործակիցն է, $I_{\phi\delta}$ -ը՝ գծային հոսանքի միջին արժեքը (U), r -ը՝ էլեկտրական ցանցի տարրի ակտիվ դիմադրությունը (Ohm), $T_{\text{հաշ}}$ -ը՝ հաշվետու ժամանակահատվածի տևողությունը (σ):

Ընդհանուր դեպքում անհավասարաչափության գործակցի մեծությունը որոշվում է

$$k_{\omega\delta} = \frac{3nU_{\phi\delta}^2}{S_{\phi\delta}^2} \sum_{i=1}^n (I_{Ai}^2 + I_{Bi}^2 + I_{Ci}^2 + F I_{Ni}^2) \quad (2)$$

բանաձևով, որտեղ $n = T_{\text{հաշ}} / \Delta t$ -ը հատվածների թիվն է հաշվետու ժամանակահատվածում $T_{\text{հաշ}}$ ընտրված դիսկրետ Δt քայլի համար, I_A -ն, I_B -ն, I_C -ն ֆազային հոսանքներն են, I_N -ը՝ չեզոք հաղորդալարի հոսանքը, i -ն՝ ֆազային հոսանքի ընթացիկ արժեքը նշող ինդեքս, $F = r_i / r_{\phi}$ -ը՝ չեզոք (r_i) և ֆազային (r_{ϕ}) հաղորդալարերի դիմադրությունների հարաբերությունը, $U_{\phi\delta}$ -ը՝ չափումների ամբողջ

Ժամանակահատվածում ֆագային լարման միջին արժեքը, $S_{\text{միջ}}$ -ը՝ չափումների ամբողջ ժամանակահատվածում սպառվող հզորության միջին արժեքը:

Նախորդ հետազոտությունների արդյունքներից [4] հայտնի է, որ մայրուղային էլեկտրահաղորդման գծերի գլխամասային հատվածներում $k_{\text{ազ}}$ անհավասարաչափության գործակցի բաշխումը համապատասխանում է լոգարիթմական նորմալ օրինաչափությանը՝ արտահայտված անհավասարաչափության գործակցի միջնարժեքի $a=1,545$ և միջին քառակուսային շեղման $\sigma=0,237$ թվային բնութագրերով:

Ստացված օրինաչափության տեսական նշանակություններից մեկն [4] այն է, որ այն թույլ է տալիս որոշել չկրկնվող ընտրաքանակի ծավալը՝ կախված գլխավոր ամբողջականության ծավալից և ընտրաքանակի ճշտությանը ներկայացվող պահանջից:

Լոգարիթմական նորմալ բաշխման օրինաչափության արգումենտի փոփոխման $k_{\text{ազ}}=(0; \infty)$ տիրույթը ներառում է արգումենտի $k_{\text{ազ}}<1$ արժեքներ, ինչն ըստ (2) բանաձևի զուրկ է որևէ ֆիզիկական իմաստից: Բացի դրանից, վերը նշված թվային բնութագրերով արտահայտված լոգարիթմական նորմալ բաշխման օրինաչափության վերլուծությունը [5] ցույց է տալիս, որ անհավասարաչափության գործակցի արժեքի $k_{\text{ազ}}=[1;2]$ տիրույթում գտնվելու հավանականությունը կազմում է $P(1 \leq k_{\text{ազ}} \leq 2)=0,83$, իսկ $k_{\text{ազ}}=[1; 2,5]$ տիրույթում գտնվելը՝ $P(1 \leq k_{\text{ազ}} \leq 2,5)=0,95$: Դա նշանակում է, որ անհավասարաչափության գործակցի արժեքը բնութագրվում է միջնարժեքի նկատմամբ զգալի ցրվածությամբ: Այդ փաստը կարելի է անտեսել ընդհանրացված հաշվարկներում: Սակայն կոնկրետ ցանցային տեղամասում այսպիսի անտեսումը էլեկտրաէներգիայի կորուստների հաշվարկի ժամանակ կարող է հանգեցնել զգալի սխալների:

Այսպիսով, 0,38/0,22 $k_{\text{ազ}}$ մայրուղային էլեկտրահաղորդման գծում էլեկտրաէներգիայի կորուստների մեծությունը բնութագրող անհավասարաչափության գործակցի արժեքի որոշումը, կախված էլեկտրական ցանցի տեղամասի առանձնահատկություններից, վերածվում է բնական անորոշության պայմաններում որոշում կայացնելու խնդրի: Ստորև բերված է ներկայացված խնդիրների լուծման եղանակ՝ հիմնված ոչ հստակ բազմությունների տեսության մեթոդների կիրառման վրա:

Դիտարկենք ոչ հստակ բազմությունների տեսության հիմնական դրույթները [6-8]: Ս ընդհանրացված բազմությունում $\tilde{A}$ ոչ հստակ բազմությունը (fuzzy set) կոչվում է $(\mu_A(u), u)$ ամբողջական զույգ, որտեղ $\mu_A(u)$ -ն բնութագրում է $u \in U_K$ տարրի՝ $\tilde{A}$ ոչ հստակ բազմությանը պատկանելության աստիճանը: Պատկանելության աստիճանը $[1; 0]$ տիրույթի որոշակի թիվ է: Որքան մեծ է պատկանելության աստիճանը, ընդհանրացված բազմության տարրն այնքան ավելի շատ կհամապատասխանի ոչ հստակ բազմության հատկություններին: Պատկանելության ֆունկցիա (membership function) է կոչվում որոշակի մաթեմատիկական ֆունկցիա, որը նկարագրում է ընդհանրացված բազմության ցանկացած տարրի՝ ոչ հստակ բազմությանը պատկանելության աստիճանը:

Եթե ընդհանրացված բազմությունը բաղկացած է սահմանափակ քանակությամբ տարրերից $U = \{u_1, u_2, \dots, u_k\}$, ապա $\tilde{A}$ ոչ հստակ բազմությունը նկարագրվում է

$$\tilde{A} = \sum_{i=1}^k (\mu_A(u_i)/u) \quad (3)$$

արտահայտությամբ:

Օրինակ՝ $\tilde{A} = 0/0 + 0,4/2 + 0,8/4 + 1/5 + 0,8/6 + 0,4/8 + 0/10$ ոչ հստակ բազմությունը նկարագրում է «մոտավորապես հավասար է 5» հասկացությունը: Այս արտահայտությունը նշանակում է, որ 0-ն և 10-ը չեն պատկանում բերված հասկացությանը, 5-ը պատկանում է դրան ամբողջությամբ, իսկ մնացած թվերը զբաղեցնում են միջանկյալ դիրքեր, օրինակ՝ 2-ը և 8-ը պատկանում են դրան 40%-ով:

Եթե U ընդհանրացված բազմությունն անընդհատ է, ապա $\tilde{A}$ ոչ հստակ բազմությունը նկարագրելու համար օգտագործվում է

$$\tilde{A} = \int_U (\mu_A(u)/u) \quad (4)$$

արտահայտությունը:

Ոչ հստակ բազմությունների տեսության ներքո կիրառվող ընթացակարգերից կարևորագույնը համարվում է դեֆազիֆիկացիան (defuzzification), որը թույլ է տալիս ոչ հստակ բազմությունը փոխակերպել հստակ թվի: Դեֆազիֆիկացիայի ընթացակարգը համանման է հավանականության տեսությունում պատահական մեծությունների բնութագրիչների (մաթեմատիկական սպասումի, մոդի, միջնարժեքի) որոշմանը: Դեֆազիֆիկացիայի ընթացակարգի իրականացման պարզագույն եղանակը պատկանելության ֆունկցիայի առավելագույնին համապատասխանող հստակ թվի ընտրությունն է: Սակայն տվյալ մեթոդի պիտանելիությունը սահմանափակվում է միայն միաէքստրեմումային պատկանելության ֆունկցիաներով: Բազմաէքստրեմումային պատկանելության ֆունկցիաների դեֆազիֆիկացման համար մշակված են մի շարք մոտեցումներ, որոնց թվին են պատկանում ծանրության կենտրոնի, միջնարժեքի, առավելագույնից առավելագույնի, առավելագույնից նվազագույնի, առավելագույնների կենտրոնի որոշման մեթոդները:

Մասնավորապես, ծանրության կենտրոնի՝ Մամդանիի մեթոդի կիրառմամբ (4) ոչ հստակ բազմության դեֆազիֆիկացիան իրականացվում է հետևյալ բանաձևով՝

$$a = \left[\int_U u \cdot \mu_A(u) du \right] / \left[\int_U \mu_A(u) du \right] : \quad (5)$$

Բերված (5) բանաձևի ֆիզիկական համանմանը կոորդինատային առանցքներով և պատկանելության ֆունկցիայի գրաֆիկով սահմանափակված հարթ պատկերի ծանրության կենտրոնի որոշումն է:

Անդրադառնալով վերոհիշյալ խնդրին՝ դիտարկենք 0,38/0,22 և 4 մայրուղային էլեկտրահաղորդման գծում անհավասարաչափության գործակցի որոշման առաջարկով եղանակը՝ հաշվի առած այդ գծով սնվող էլեկտրական ցանցի տեղամասի առանձնահատկությունները, որոնք բնութագրում են միաֆազ սպառողների որոշակի n և դրանց կողմից սպառված էլեկտրաէներգիայի որոշակի w մասնա-բաժիններով:

Արտահայտենք k_{wg} , n և w մեծությունները հետևյալ լեզվաբանական փոփոխականների միջոցով: Տրված են՝

1. ընդհանրացված բազմություններ՝ $K_{wg}=[1; 2,2]$, $N=[0; 100]$ և $W=[0; 100]$,
2. տերմ-բազմություն $T = \{t_1, t_2, t_3, t_4, t_5\} = \{\text{«շատ ցածր»}, \text{«ցածր»}, \text{«միջին»}, \text{«բարձր»}, \text{«շատ բարձր»}\}$ ՝ հետևյալ պատկանելության ֆունկցիաներով՝
($k_{wg} \in K_{wg}, n \in N$ և $w \in W$):

$$\mu_{t_i}(u_j) = \begin{cases} \frac{u_j + (2-i) \cdot a_j}{a_j}, & \text{եթե } (i-2) \cdot a_j \leq u_j \leq (i-1) \cdot a_j, \\ \frac{-u_j + i \cdot a_j}{a_j}, & \text{եթե } (i-1) \cdot a_j \leq u_j \leq i \cdot a_j, \\ 0, & \text{եթե } u_j \notin [(i-2) \cdot a_j, i \cdot a_j], \end{cases} \quad (6)$$

որտեղ i -ն տերմ-բազմության համապատասխան տարրերի ինդեքսն է, u_j -ն և a_j -ն $u = |n, w, k_{wg}|^T$ և $a = |25 \ 25 \ 0.3|^T$ սյունյակային մատրիցների $j=(1, 2, 3)$ ինդեքսին համապատասխանող տարրերն են:

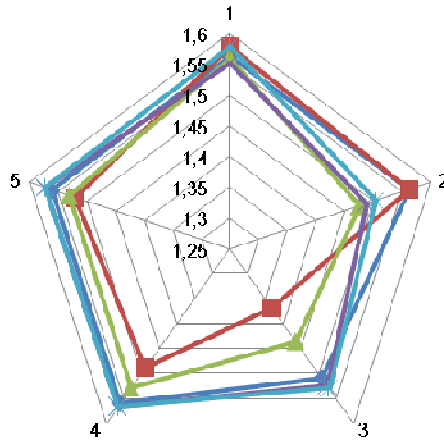
Անհավասարաչափության գործակցի առկա ընտրաբանակից որոշվում են անհավասարաչափության գործակցի միջին արժեքները՝ տերմ-բազմության ինդեքսներին համապատասխանող n և w մեծությունների տարբեր տիրույթներում (աղ. 1):

Աղյուսակ 1

Անհավասարաչափության գործակցի միջին արժեքները n և w մեծությունների տարբեր տիրույթներում

n w		t_1	t_2	t_3	t_4	t_5
		$0 \leq w \leq 25$	$0 \leq w \leq 50$	$25 \leq w \leq 75$	$50 \leq w \leq 100$	$75 \leq w \leq 100$
t_1	$0 \leq n \leq 25$	1,563	1,563			
t_2	$0 \leq n \leq 50$	1,579	1,563	1,368		
t_3	$25 \leq n \leq 75$	1,560	1,476	1,436	1,529	
t_4	$50 \leq n \leq 100$	1,553	1,488	1,524	1,567	1,573
t_5	$75 \leq n \leq 100$	1,579	1,504	1,530	1,567	1,573

Ինչպես տեսնում ենք, աղյուսակ 1-ում առկա են դատարկ բջիջներ, քանի որ n և w մեծությունների այդ տիրույթների համար վստահելի վիճակագրական տեղեկատվությունը բացակայում է: Բացակայող փոփոխականների արժեքների վերականգնման համար աղյուսակ 1-ի տվյալներով կառուցենք Radar տեսակի գրաֆիկական պատկեր (նկ.1):



Նկ. 1. Անհավասարաչափության գործակցի միջին արժեքների գրաֆիկական պատկեր

Վերլուծելով անհավասարաչափության գործակցի միջին արժեքների փոփոխման միտումները՝ ներկայացնենք անհավասարաչափության գործակցի միջին արժեքներն ըստ տերմ-բազմության լեզվաբանական փոփոխականների (աղ. 2):

Աղյուսակ 2

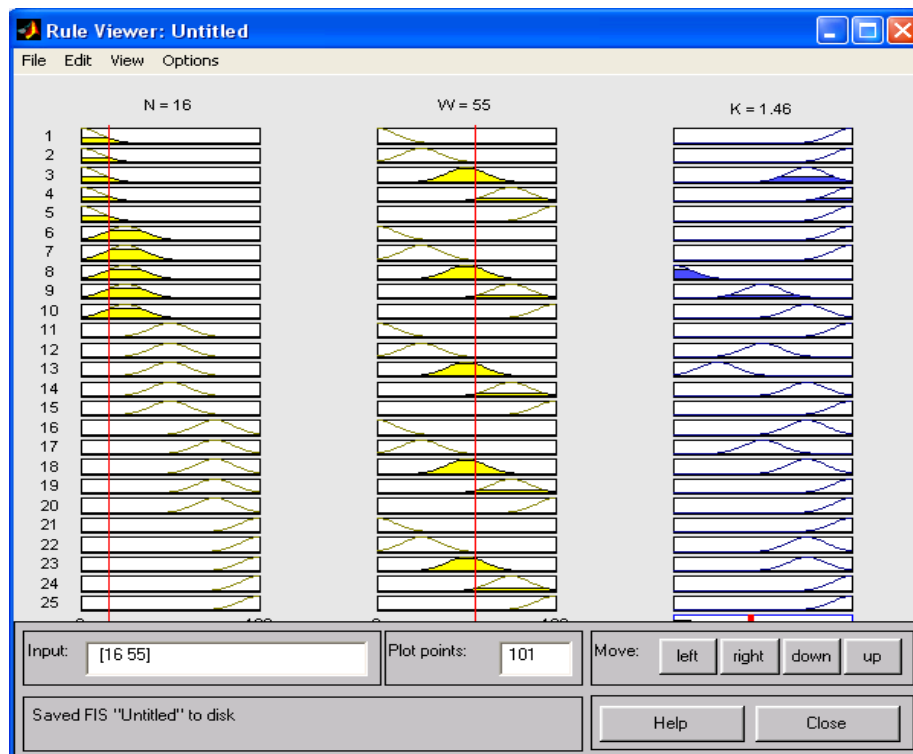
Անհավասարաչափության գործակցի՝ լեզվաբանական փոփոխականներով արտահայտված արժեքները n և w մեծությունների տարբեր տիրույթներում

n	w	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5
		$0 \leq w \leq 25$	$0 \leq w \leq 50$	$25 \leq w \leq 75$	$50 \leq w \leq 100$	$75 \leq w \leq 100$
t_1	$0 \leq n \leq 25$	t_5	t_5	t_4	t_5	t_5
t_2	$0 \leq n \leq 50$	t_5	t_5	t_1	t_3	t_4
t_3	$25 \leq n \leq 75$	t_5	t_3	t_2	t_4	t_4
t_4	$50 \leq n \leq 100$	t_4	t_3	t_4	t_5	t_5
t_5	$75 \leq n \leq 100$	t_5	t_4	t_4	t_5	t_5

MatLab ծրագրային կառուցվածքում տեղակայված Fuzzy կիրառական ծրագրային փաթեթի միջոցով հնարավոր է ստեղծել ոչ հստակ լեզվաբանական և ոչ հստակ դասակարգման համակարգեր: Երկխոսության ռեժիմում Fuzzy մոդելը թույլ է տալիս ոչ հստակ համակարգերը ենթարկել դեֆազիֆիկացիայի ընթացակարգի՝ Մամդանիի մեթոդի կիրառմամբ: Այս տիպի համակարգերում տրամաբանական եզրակացության հիմք է հանդիսանում համապատասխան կանոնների բազան, որը պարունակում է «Եթե-ապա» տեսակի ոչ հստակ արտահայտություններ, օրինակ՝ «Եթե x =ցածր է և y =միջին, ապա z =ցածր է»:

Նկարագրված պատկանելության ֆունկցիաները (6) և աղյուսակ 2-ում բերված լեզվաբանական փոփոխականների միջև գոյություն ունեցող տրամաբանական կապերը ներմուծվել են Fuzzy մոդել:

Ստեղծված մոդելի օգնությամբ կարելի է հաշվարկել $k_{\text{աճ}}$ անհավասարաչափության գործակցի արժեքներ՝ կախված 0,38/0,22 χ^2 էլետրական ցանցի կոնկրետ տեղամասի առանձնահատկություններից: Մասնավորապես, եթե միաֆազ սպառիչների մասնաբաժինը կազմում է ընդհանուրի 16%-ը, իսկ դրանց կողմից սպառված էլեկտրաէներգիայի մասնաբաժինը՝ ընդհանուրի 55%-ը, ապա նկարագրված եղանակով հաշվարկի արդյունքում կստանանք, որ տվյալ հարաչափերի դեպքում անհավասարաչափության գործակցի արժեքը կազմում է 1,46: Այս օրինակի լուծման արդյունքների տեսքը, Fuzzy ծրագրային փաթեթի պատուհանի արտապատկերմամբ, բերված է նկար 2-ում:



Նկ.2. Ոչ հստակ տրամաբանական եզրակացության արտապատկերումը RuleViewer պատուհանում

Եզրակացություններ.

1. Որոշվել են բեռնվածքի անհավասարաչափության գործակցի միջին արժեքները 0,38/0,22 *կՎ* մայրուղային էլեկտրահաղորդման գծերի գլխամասային հատվածներում էլեկտրական ցանցի տեղամասի միաֆազ սպառողների և դրանց կողմից սպառված էլեկտրաէներգիայի մասնաբաժինների տարբեր տիրույթների համար:
2. Կազմվել են ոչ հստակ հարաբերությունների աղյուսակներ, որոնցում բացակա-յող արժեքները վերարտադրվել են տրամաբանական մեկնաբանությունների հիման վրա:
3. MatLab ծրագրային փաթեթի կիրառմամբ իրականացվել է ոչ հստակ բազմութ-յան դեֆազիֆիկացումը՝ Մամդանիի մեթոդով:
4. Ստացված մաթեմատիկական մոդելը թույլ է տալիս ոչ հստակ մուտքային տվյալների դեպքում իրականացնել անհավասարաչափության գործակցի հստակ հաշվարկ:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Железко Ю.С., Артемьев А.В., Савченко О.В.** Расчет, анализ и нормирование потерь электрической энергии в сетях: Руководство для практических расчетов. –М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2003. – 280с.
2. Потери электроэнергии в электрических сетях энергосистем /Под ред. **В.Н. Казанцева.** –М.: Энергоатомиздат, 1985. –366 с.
3. 0,38-35 *կՎ* լարման էլեկտրական ցանցերում էլեկտրաէներգիայի տեխնոլոգիական կորուստների հաշվման մեթոդիկա / Հաստատված է ՀՀ հանրային ծառայությունները կարգավորող հանձնաժողովի առ 8 հոտեմբերի 2002թ. թիվ 65ա որոշմամբ:
4. **Гнуни Т.С.** Исследование величины коэффициента неравномерности графика нагрузки в электрических сетях 0.4 кВ Армении// Энергетика (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). -2005. -№ 6. - С. 13-20.
5. **Кремер Н.Ш.** Теория вероятностей и математическая статистика: Учебник для вузов. –М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2003. –543 с.
6. **Заде Л.** Понятие лингвистической переменной и ее применение к принятию приближенных решений.–М.: Мир, 1976.–165 с.
7. **Kosko B.** Fuzzy systems as universal approximators // IEEE Transactions on Computers. - November, 1994. -Vol. 43, № 11.– P. 1329-1333.
8. **Cordon O., Herrera F.A.** General study on genetic fuzzy systems // Genetic Algorithms in engineering and computer science.- 1995. – P. 33-57.

ՀՀ «Էներգետիկայի ԳՀԻ» ՓԲԸ. Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 17.09.2008:

Т.С. ГНУНИ, Л. Г. АЛЕКСАНИЯ

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ КОЭФФИЦИЕНТА НЕРАВНОМЕРНОСТИ В
МАГИСТРАЛЬНЫХ ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ 0.38/0.22 кВ НА ОСНОВЕ
НЕЧЕТКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ**

Рассмотрен метод определения коэффициента неравномерности в зависимости от характерных особенностей конкретного участка электрических сетей 0.38/0.22 кВ. В качестве показателей характерных особенностей электросетевого участка изучены долевые значения количества однофазных потребителей и объемов потребленной ими электроэнергии, интервалы изменения которых выражены с помощью лингвистических переменных. Поставленная задача решена на основе применения методов нечеткого математического программирования с использованием программного пакета MatLab. Приведен числовой пример решения задачи.

Ключевые слова: коэффициент неравномерности, нечеткое множество, лингвистическая переменная, функция принадлежности.

T.S. GNUNI, L.H. ALEKSANYAN

**DEFINITION OF NON-UNIFORMITY COEFFICIENT IN THE 0.38/0.22kV MAINS
ELECTRIC LINES THROUGH UNCERTAIN PROGRAMMING**

The method of non-uniformity coefficient definition depending on the character of certain section of 0.38/0.22kV electric networks is considered. As electrical networks section characteristic features, the shares of single phase consumers and the electricity consumed by them are studied, the alteration intervals of which are expressed by linguistic variables. The problem put forth is solved by application of uncertain mathematical programming methods with the help of software package Matlab. The digital sample of problem solution is given.

Keywords: non-uniformity coefficient, fuzzy set, linguistic variables, membership function.

Վ.Պ. ԱՌԱՔԵԼՅԱՆ, Լ.Ա. ՀԱԿՈԲՅԱՆ

ՕՐԱՅԻՆ ԳԾԵՐԻ ԱՌԱՋՆԱՅԻՆ ՊԱՐԱՄԵՏՐԵՐԻ ՈՐՈՇՄԱՆ ՄԵԹՈԴ՝ ՀԻՄՆՎԱԾ ԷԼԵԿՏՐԱՄԱԳՆԻՍԱԿԱՆ ԴԱՇՏԵՐԻ ՀԱՇՎԱՐԿԻ ՎՐԱ

Ներկայացվում է օդային գծերի առաջնային պարամետրերի որոշման մեթոդ, որը հիմնված է Մաքսվելի հավասարումների վերլուծական (անալիտիկ) լուծման արդյունքների վրա:

Առանցքային բառեր. օդային գիծ, էլեկտրամագնիսական դաշտ, ներքին դիմադրություն, արտաքին դիմադրություն:

Այսօր Հայաստանում քննարկվում են դեպի հարևան երկրներ էլեկտրաէներգիայի արտահանման հնարավորությունները: Այդ մասին են վկայում այսօր գործող և նախագծման փուլում գտնվող մի շարք մեծ և փոքր ՀԷԿ-երը: Բացի դրանից ՀՀ էներգետիկայի նախարարությունում քննարկվում են նոր ԱԷԿ-ի կառուցման մի շարք նախագծեր: Հաշվի առնելով մեր երկրի էներգետիկ պոտենցիալը, կարելի է եզրակացնել, որ մոտ ապագայում Հայաստանը տա-րածաշրջանում կարող է դառնալ էլեկտրաէներգիա արտահանող պետություն: Եվ բնական է, որ այսօր միջպետական էլեկտրաէներգետիկական կապերի խնդրի լուծումը շարունակում է մնալ Հայաստանի համապատասխան կառուցվածքների ուշադրության կենտրոնում [1]:

Այս պայմաններում կարևորելով օդային գծերը (ՕԳ) որպես միջպետական էլեկտրաէներգետիկական կապեր և որպես էլեկտրաէներգետիկական համա-կարգերը կապող օղակներ, առաջարկվում է գծերի առաջնային պարամետրերի որոշման նոր մեթոդ:

Ինչպես հայտնի է, ՕԳ-երի առաջնային պարամետրեր են համարվում դրանց միավոր երկարության ակտիվ և ռեակտիվ դիմադրություններն ու հաղորդականությունները:

Առաջարկվող մեթոդն ունի հետևյալ առավելությունները.

- 1) ապահովում է հաշվարկի բարձր ճշտություն,
- 2) հնարավորություն է տալիս հաշվարկել ՕԳ-ի հաղորդալարերի ինչպես սեփական, այնպես էլ փոխադարձ դիմադրությունները,
- 3) ապահովում է կիրառության լայն սահմաններ:

Խնդրի լուծման ընթացքում արվում են հետևյալ ենթադրությունները և թույլտվությունները.

- 1) ենթադրվում է, որ ՕԳ-ը բաղկացած է կլոր կտրվածքով, հարթ մակերևույթով համասեռ հաղորդալարերից, որոնք զուգահեռ են ինչպես միմյանց, այնպես էլ հողի մակերևույթին,

- 2) խնդիրը լուծվում է համասեռ և իզոտրոպ միջավայրերի համար, որտեղ ազատ լիցքերը բացակայում են:

Ընդունված թույլտվությունների դեպքում Մաքսվելի հավասարումների լուծման արդյունքների հիման վրա արտածվում են ալիքային հավասարումները:

«Բազմահաղորդալար գիծ-հող» համակարգում դրանց լուծումից ստացվում են գծի համար Հելմհոլցի հավասարումները [2]:

Տեսական էլեկտրատեխնիկայի դասընթացից հայտնի է, որ բազմահաղորդալար գծի հաղորդալարերի լարումը որոշվում է

$$\text{grad}U = -E - j\omega A \quad (1)$$

բանաձևով, որտեղ A -ն մագնիսական պոտենցիալն է:

Հողում լայնական հոսանքների և լայնական դաշտերի անտեսման արդյունքում մագնիսական պոտենցիալն ընդունվում է հավասար զրոյի [3]: Այդ դեպքում էլեկտրական դաշտի ուղղաձիգ բաղադրիչի մեծության արժեքը (1) արտա-հայտության մեջ տեղադրելուց և ինտեգրելուց հետո ստացվում է k -րդ հաղորդալարի լարումը.

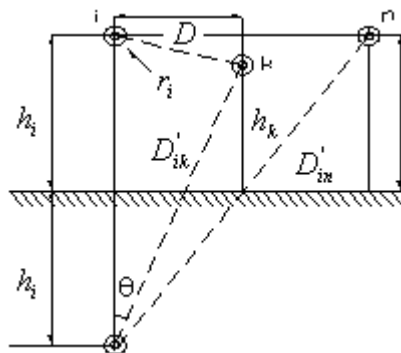
$$U_k = \frac{j}{2\pi\omega\epsilon_0} \sum_{i=1}^n N_{ik} \frac{dI_i}{dx} \quad (k = 1, 2, 3, \dots, n) : \quad (2)$$

Այս արտահայտության N մեծությունը ներկայացնենք մատրիցի տեսքով՝ հաշ-վի առնելով, որ տվյալ դեպքում բազմահաղորդալար գիծը բաղկացած է երեք հաղորդալարերից.

N	1	2	3
1	$\ln \frac{2h_1}{r_1}$	$\ln \frac{D_{12}}{D_{12}}$	$\ln \frac{D_{13}}{D_{13}}$
2	$\ln \frac{D_{21}}{D_{21}}$	$\ln \frac{2h_2}{r_2}$	$\ln \frac{D_{23}}{D_{23}}$
3	$\ln \frac{D_{31}}{D_{31}}$	$\ln \frac{D_{32}}{D_{32}}$	$\ln \frac{2h_3}{r_3}$

(3)

(3) արտահայտության բաղադրիչների որոշման համար կիրառվել է հայելային արտապատկերումների մեթոդը: Հաշվարկի ժամանակ օգտվում ենք ստորև ներկայացվող գծագրից (նկ. 1) [3].



Նկ.1. ՕԳ-ի առաջնային պարամետրերի որոշման վերաբերյալ

Հայելային արտապատկերումների մեթոդով ստանում ենք.

$$\begin{cases} h_1 = h_2 = h_3, \\ r_1 = r_2 = r_3, \\ D_{12} = D_{21} = D_{23} = D_{32} = D_{13} = D_{31}, \\ D'_{12} = D'_{21} = D'_{23} = D'_{32} = D'_{13} = D'_{31}, \end{cases} \quad (4)$$

որտեղ h_1 -ը, h_2 -ը, h_3 -ը և r_1 -ը, r_2 -ը, r_3 -ը համապատասխանաբար առաջին, երկրորդ և երրորդ ֆազերի հաղորդալարերի կախման բարձրություններն ու շառավիղներն են, D_{12} -ը և D_{21} -ը՝ առաջին և երկրորդ, D_{23} -ը և D_{32} -ը՝ երկրորդ և երրորդ, D_{13} -ը և D_{31} -ը՝ առաջին և երրորդ ֆազերի հաղորդալարերի միջև հեռավորությունները, $D'_{12} = D'_{21}$ -ը՝ երկրորդ ֆազի հաղորդալարից մինչև առաջին ֆազի հաղորդալարի հայելային արտապատկերը եղած հեռավորությունը, $D'_{23} = D'_{32}$ -ը՝ երրորդ ֆազի հաղորդալարից մինչև երկրորդ ֆազի հաղորդալարի հայելային արտապատկերը եղած հեռավորությունը, $D'_{13} = D'_{31}$ -ը՝ երրորդ ֆազի հաղորդալարից մինչև առաջին ֆազի հաղորդալարի հայելային արտապատկերը եղած հեռավորությունը:

Մաքսվելի հավասարումների լուծման արդյունքների հիման վրա արտածվում են ՕԳ-ի համար Հելմհոլցի հավասարումները: Ներկայացնենք դրանք մատրիցային տեսքով.

$$\begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{j}{2\pi\omega\epsilon_0} N_{11} & \frac{j}{2\pi\omega\epsilon_0} N_{12} & \frac{j}{2\pi\omega\epsilon_0} N_{13} \\ \frac{j}{2\pi\omega\epsilon_0} N_{21} & \frac{j}{2\pi\omega\epsilon_0} N_{22} & \frac{j}{2\pi\omega\epsilon_0} N_{23} \\ \frac{j}{2\pi\omega\epsilon_0} N_{31} & \frac{j}{2\pi\omega\epsilon_0} N_{32} & \frac{j}{2\pi\omega\epsilon_0} N_{33} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \frac{d}{dx} I_1 \\ \frac{d}{dx} I_2 \\ \frac{d}{dx} I_3 \end{bmatrix}, \quad (5)$$

որտեղ U -ն և I -ն ՕԳ-ի հաղորդալարերի վրա լարումների և դրանցով հոսող հոսանքների սյունային մատրիցներն են, U_1 -ը, U_2 -ը, U_3 -ը և I_1 -ը, I_2 -ը, I_3 -ը՝ լարումների և հոսանքների սյունային մատրիցների տարրերը, ՕԳ-ի համապատասխանաբար առաջին, երկրորդ և երրորդ ֆազերի հաղորդալարերի վրայի լարումները և դրանցով հոսող հոսանքներն են, N -ը՝ քառակուսային սիմետրիկ մատրից, որի տարրերը որոշվում են (3) արտահայտությամբ և բնութագրում են հողի իդեալական հաղորդականության դեպքում հաղորդալարերի արտաքին սեփական և փոխադարձ ինդուկտիվ դիմադրությունները:

(5) արտահայտության ձևափոխման արդյունքում արտաքինում է ՕԳ-ի միավոր երկարության սեփական և փոխադարձ դիմադրությունների քառակուսային մատրիցը [3].

Z_0	1	2	3
1	$\frac{j\omega\epsilon_0}{2\pi} ([N_0] + [F_0] + [M_0])$	$\frac{j\omega\epsilon_0}{2\pi} ([N_0] + [F_0])$	$\frac{j\omega\epsilon_0}{2\pi} ([N_0] + [F_0])$
2	$\frac{j\omega\epsilon_0}{2\pi} ([N_0] + [F_0])$	$\frac{j\omega\epsilon_0}{2\pi} ([N_0] + [F_0] + [M_0])$	$\frac{j\omega\epsilon_0}{2\pi} ([N_0] + [F_0])$
3	$\frac{j\omega\epsilon_0}{2\pi} ([N_0] + [F_0])$	$\frac{j\omega\epsilon_0}{2\pi} ([N_0] + [F_0])$	$\frac{j\omega\epsilon_0}{2\pi} ([N_0] + [F_0] + [M_0])$

, (6)

որտեղ M -ն անկյունագծային մատրից է, որի տարրերը հաղորդալարերի միավոր երկարության ներքին դիմադրություններն են և որոշվում են հետևյալ արտահայտությամբ [2] .

$M_0 = Z_{0\text{դերք}}$	1	2	3
1	$\frac{\bar{k}}{2\pi\gamma_1} \frac{I_0(\bar{k}r_1)}{I_1(\bar{k}r_1)}$	0	0
2	0	$\frac{\bar{k}}{2\pi\gamma_2} \frac{I_0(\bar{k}r_2)}{I_1(\bar{k}r_2)}$	0
3	0	0	$\frac{\bar{k}}{2\pi\gamma_3} \frac{I_0(\bar{k}r_3)}{I_1(\bar{k}r_3)}$

: (7)

F քառակուսային սիմետրիկ մատրիցի տարրերը հողի վերջավոր հաղորդականության հետևանքով առաջացող հաղորդալարերի միավոր երկարության լրացուցիչ արտաքին սեփական և փոխադարձ դիմադրություններն են.

F_0	1	2	3
1	$-\left(\ln \frac{\gamma' r}{2\sqrt{e}} + j\frac{\pi}{4}\right)$	$-\left(\ln \frac{\gamma' r}{2\sqrt{e}} + j\frac{\pi}{4}\right)$	$-\left(\ln \frac{\gamma' r}{2\sqrt{e}} + j\frac{\pi}{4}\right)$
2	$-\left(\ln \frac{\gamma' r}{2\sqrt{e}} + j\frac{\pi}{4}\right)$	$-\left(\ln \frac{\gamma' r}{2\sqrt{e}} + j\frac{\pi}{4}\right)$	$-\left(\ln \frac{\gamma' r}{2\sqrt{e}} + j\frac{\pi}{4}\right)$
3	$-\left(\ln \frac{\gamma' r}{2\sqrt{e}} + j\frac{\pi}{4}\right)$	$-\left(\ln \frac{\gamma' r}{2\sqrt{e}} + j\frac{\pi}{4}\right)$	$-\left(\ln \frac{\gamma' r}{2\sqrt{e}} + j\frac{\pi}{4}\right)$

: (8)

որտեղ $\ln \gamma' = 0,5772$ - Էյլերի հաստատունն է, r -ը՝ Կարսոնի պարամետրը [3] :

Հաշվի առնելով, որ N մատրիցի տարրերը որոշվում են (3), իսկ F մատրիցի տարրերը՝ (8) արտահայտությամբ, (6) արտահայտությունը կարելի է ձևափոխել՝ ընդունելով, որ $\gamma' \approx \sqrt{e}$.

Z_0	1	2	3
1	$Z_{0\text{ցերք}} + Z_{0\text{արտ}}$	$Z_{0\text{արտ}}$	$Z_{0\text{արտ}}$
2	$Z_{0\text{արտ}}$	$Z_{0\text{ցերք}} + Z_{0\text{արտ}}$	$Z_{0\text{արտ}}$
3	$Z_{0\text{արտ}}$	$Z_{0\text{արտ}}$	$Z_{0\text{ցերք}} + Z_{0\text{արտ}}$

,

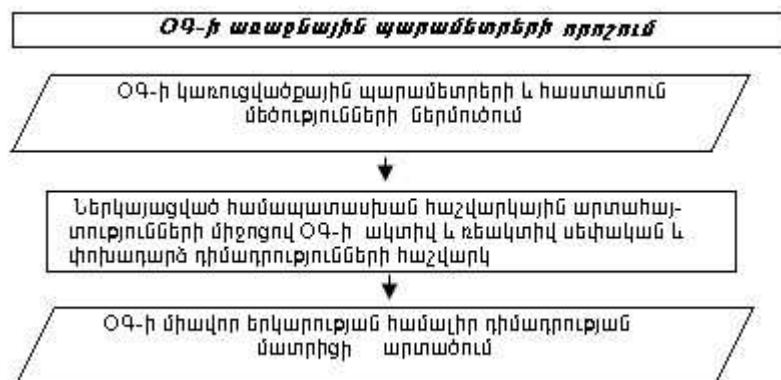
(9)

որտեղ ՕԳ-ի միավոր երկարության արտաքին դիմադրությունների մատրիցի տարրերը որոշվում են հետևյալ արտահայտությամբ.

$Z_{0\text{արտ}}$	1	2	3
1	$j \frac{\varpi \mu_0}{2\pi} \ln \sqrt{\rho_h \cdot 10^7} + \frac{\varpi \mu_0}{8}$	$j \frac{\varpi \mu_0}{2\pi} \ln \left(\frac{\sqrt{\rho_h \cdot 10^7}}{10\pi D_{12}} \right) + \frac{\varpi \mu_0}{8}$	$j \frac{\varpi \mu_0}{2\pi} \ln \left(\frac{\sqrt{\rho_h \cdot 10^7}}{10\pi D_{13}} \right) + \frac{\varpi \mu_0}{8}$
2	$j \frac{\varpi \mu_0}{2\pi} \ln \left(\frac{\sqrt{\rho_h \cdot 10^7}}{10\pi D_{21}} \right) + \frac{\varpi \mu_0}{8}$	$j \frac{\varpi \mu_0}{2\pi} \ln \sqrt{\rho_h \cdot 10^7} + \frac{\varpi \mu_0}{8}$	$j \frac{\varpi \mu_0}{2\pi} \ln \left(\frac{\sqrt{\rho_h \cdot 10^7}}{10\pi D_{23}} \right) + \frac{\varpi \mu_0}{8}$
3	$j \frac{\varpi \mu_0}{2\pi} \ln \left(\frac{\sqrt{\rho_h \cdot 10^7}}{10\pi D_{31}} \right) + \frac{\varpi \mu_0}{8}$	$j \frac{\varpi \mu_0}{2\pi} \ln \left(\frac{\sqrt{\rho_h \cdot 10^7}}{10\pi D_{32}} \right) + \frac{\varpi \mu_0}{8}$	$j \frac{\varpi \mu_0}{2\pi} \ln \sqrt{\rho_h \cdot 10^7} + \frac{\varpi \mu_0}{8}$

:(10)

Ներկայացվող մեթոդիկայով իրականացվել է հայկական էներգահամակարգի «Կանթեղ1» և «Կանթեղ-2» ՕԳ-երի առաջնային պարամետրերի հաշվարկ, կազմվել է նաև հաշվողական ծրագիր՝ օգտագործելով հետևյալ բլոկ-սխեման (նկ. 2).



Նկ. 2. ՕԳ-երի առաջնային պարամետրերի հաշվարկի բլոկ-սխեմա

ՕԳ-երի էլակետային տվյալները և հաշվարկի արդյունքները ներկայացվում են աղյուսակում.

Աղյուսակ

Ելակետային տվյալներ							
Ս _n , կՎ	Մակնիշ	Գծի անվանումը	Ֆազերի դասավոր- վածություն	H, մ	D, մ	F, [մմ]²	r, մմ
110	ԱՊ 185/29	«Կանթեղ1», «Կանթեղ2»	⋈	14,5	5,5	181	9,4

Հաշվարկման արդյունքներ		
պարամետր մեթոդ, տեղեկագիրք՝	R_0 , Օհմ/կմ	X_0 , Օհմ/կմ
Մեթոդ	0,163	0,392
Տեղեկագիրք	0,162	0,413

Եզրակացություններ

Էլեկտրամագնիսական դաշտերի հաշվարկման հիման վրա մշակված ՕԳ-երի առաջնային պարամետրերի որոշման մեթոդն ապահովում է.

1. Հաշվարկի բարձր ճշտություն. ակտիվ դիմադրության հաշվարկի սխալը չի գերազանցում 0,6%-ը, ռեակտիվ դիմադրության սխալը՝ 5,3%-ը:

2. ՕԳ-ի առաջնային պարամետրերի հաշվարկ՝ Կարսոնի փոքր պարամետրի դեպքում, երբ $r \leq 0,25$:

3. 110 կՎ լարման ՕԳ-ի սեփական և փոխադարձ ակտիվ և ռեակտիվ դիմադրությունների հաշվարկ:

4. C++ միջավայրում հաշվողական ծրագրի կազմման հնարավորություն, որն ապահովում է հաշվարկի բարձր ճշտություն և կիրառության լայն սահմաններ:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Առաքելյան Վ.Պ., Հակոբյան Լ.Ա.** Էլեկտրահաղորդման գծերի զարգացման հեռանկարները // ՀՃԱԼ.-2007.-շ.4, N 4.-էջ. 554-558:
2. **Бессонов Л.А.** Теоретические основы электротехники. - М.: Высшая школа, 1973.- 752 с.
3. **Костенко М.В., Перельман Л.С., Шкарин Ю.П.** Волновые процессы и электрические помехи в многопроводных линиях высокого напряжения. - М.: Энергия, 1973.- 271 с.

ՀՊՃՀ. Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 10.06.2008:

В.П. АРАКЕЛЯН, Л.А. АКОПЯН

**МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЕРВИЧНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ,
ОСНОВАННЫЙ НА РАСЧЕТЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ**

Предлагается метод определения первичных параметров воздушных линий, который основан на результатах аналитического решения уравнений Максвелла.

Ключевые слова: воздушная линия, электромагнитное поле, внутреннее сопротивление, наружное сопротивление.

V.P. ARAKELYAN, L.A. HAKOPYAN

**AIR LINE PRIMARY PARAMETER DEFINITION METHOD BASED ON
ELECTROMAGNETIC FIELD CALCULATION**

An air line primary parameter definition method based on the results of Maxwell equation solution is proposed.

Keywords. air line, electromagnetic field, internal resistance, external resistance.

В.С. САФАРЯН

РАСЧЕТ РЕЖИМОВ НЕЛИНЕЙНЫХ РЕЗИСТИВНЫХ ЦЕПЕЙ

Исследуются вопросы существования, единственности и сходимости итерационного процесса решения уравнений состояния нелинейных резистивных цепей. Выявлены свойства положительной определенности матриц обобщенных параметров резистивных цепей.

Ключевые слова: резистивная цепь, вольт-амперная характеристика, единственность, сходимость, положительно определенная матрица.

Целью настоящей работы является исследование существования, единственности и сходимости итерационного процесса решения уравнений состояния нелинейных резистивных цепей (НРЦ) с определенным классом нелинейности вольт-амперных характеристик (ВАХ). Рассматриваются также некоторые свойства обобщенных параметров резистивных цепей.

Исследованию цепей с нелинейными резистивными элементами посвящено значительное число работ [1 - 5]. В частности, в [1] приведено доказательство (на основании теоремы Телледжена) однозначности решения для цепей с нелинейными резисторами, ВАХ которых являются возрастающие монотонные функции. В [2] установлены критерии диссипативности (ограниченность токов $i(t)$, начиная с некоторого момента $t_0 > 0$, при ограниченных ЭДС и токах источников и любых начальных условиях), найдены необходимые условия их конвергентности (независимости стационарного режима от начальных условий). В [3] рассматриваются линейные свойства нелинейных резистивных электрических цепей, имеющих степенную ВАХ резисторов. Получены точные для последовательно-параллельных цепей и приближенные для цепей произвольной топологии аналитические решения, обеспечивающие расчет токов и напряжений элементов схем. В [4] рассматриваются электрические цепи, включающие линейные индуктивности, резисторы и нелинейные резисторы с положительными статическими сопротивлениями. Для однофазной и симметричной трехфазной цепей с гармоническим возбуждением исследуется устойчивость стационарных точек.

Рассмотрим резистивную электрическую цепь, ВАХ которой имеет вид

$$\varphi_i^\beta - \varphi_j^\beta = K_{ij} I_{ij}^\gamma, \quad (1)$$

где φ_i, φ_j - потенциалы соответственно i -го и j -го узлов; I_{ij} - ток в ветви (i, j) ; K_{ij} - параметр (i, j) ветви; β, γ - положительные реальные числа.

ВАХ в виде (1) задана в неявной форме, поскольку для $\beta \neq 1$ ее невозможно представить в виде $\varphi_i - \varphi_j = f(I_{ij})$. Отметим, что газотранспортную сеть можно

смоделировать эквивалентной НРЦ с параметрами $\beta = 2$ и $\gamma = 2$ ($\gamma = 1,75$). Предполагается, что в узлах цепи заданы либо узловые токи (J), и искомыми являются потенциалы, либо узловые потенциалы (базисные узлы), и искомыми являются узловые токи.

Исходя из (1), можно утверждать, что в контурах резистивной цепи выполняются соотношения

$$\sum_{i,j \in L} K_{ij} I_{ij}^\gamma = 0, \quad (2)$$

где L - множество ветвей контура (берется алгебраическая сумма).

Следовательно, существует НРЦ (назовем ее явной цепью), топология, параметры ветвей K_{ij} и токи в ветвях I_{ij} которой одинаковы с исходной НРЦ, а ВАХ выражается в явной форме:

$$\phi'_i - \phi'_j = K_{ij} I_{ij}^\gamma, \quad (3)$$

$$\phi'_i = \phi_i^\beta, \quad i = \overline{1, m}, \quad (4)$$

где ϕ'_i - потенциал i -го узла явной цепи; m - число узлов цепи.

Таким образом, режимы НРЦ вида (1) сводятся к расчету режимов НРЦ вида (3) с явной ВАХ.

Согласно [1], для НРЦ с ВАХ вида (3) всегда существует однозначное решение режима. Исходя из соотношения (4), можно утверждать, что режим НРЦ вида (1) существует тогда и только тогда, когда в режиме явной НРЦ выполнено условие

$$\phi'_i \geq 0, \quad i = \overline{1, m}. \quad (5)$$

Поскольку для НРЦ с явной ВАХ (3) всегда существует единственное решение режима, то с использованием метода по параметру (метод продолжения) [6] можно достичь абсолютной сходимости решения уравнений режима. Перепишем (3) в следующем виде:

$$\phi'_i - \phi'_j = K_{ij} I_{ij}^{1+\lambda(\gamma-1)}, \quad (6)$$

где при $\lambda = 0$ имеем линейную ВАХ, а при $\lambda = 1$ получаем (3).

Разобьем интервал $[0, 1]$ точками $0 \leq \lambda_0 < \lambda_1 < \lambda_2 < \dots < \lambda_n = 1$ и рассмотрим решение режима НРЦ при $\lambda = \lambda_i$, применив итерационный метод Ньютона, используемый в качестве начального приближения на i -ом этапе значения искомого, полученных на предыдущем этапе.

Если разность $\lambda_i - \lambda_{i-1}$ достаточно мала, то решение $(i-1)$ -го этапа окажется достаточно хорошим начальным приближением, обеспечивающим сходимость.

Отметим об одном свойстве резистивных цепей. Рассмотрим уравнение состояния резистивных цепей в форме узловых потенциалов, предполагая, что сначала пронумерованы небазисные узлы:

$$G_\Sigma \Phi_\Sigma = J_\Sigma, \quad (7)$$

где G_{Σ} - квадратная матрица порядка $(n + m)$ узловых проводимостей; Φ_{Σ} , J_{Σ} - векторы-столбцы порядка $(n + m)$ соответственно узловых потенциалов и токов; n - число небазисных узлов; m - число базисных узлов сети.

Представим (7) в следующем виде:

$$G\Phi + G_A\Phi_A = J, \quad (8)$$

где G - квадратная матрица порядка n узловых потенциалов для небазисных узлов; Φ - искомый вектор порядка n небазисных узловых потенциалов; J - заданный вектор порядка n узловых токов небазисных узлов; G_A - матрица размерности $n \times m$ (собственные и взаимные проводимости между базисными и небазисными узлами); Φ_A - заданный вектор порядка m потенциалов базисных узлов. Последние m уравнений системы (7) используются для определения неизвестных узловых токов базисных узлов.

Решая систему (8) относительно Φ , получим

$$\Phi = \Phi_0 + RJ, \quad (9)$$

где R - квадратная матрица узловых сопротивлений ($R = G^{-1}$); Φ_0 - вектор - столбец потенциалов узлов в холостом режиме ($\Phi_0 = -RG_B\Phi_B$).

Отметим, что если $m \neq 0$ и граф сети является связанным, то $|G| \neq 0$.

Уравнение режима (9) можно представить также в форме

$$\Phi = RJ_{\Sigma}, \quad (10)$$

где $J_{\Sigma} = J - G_B\Phi_B$.

Уравнение состояния (10) соответствует сети с объединением всех базисных узлов в единый (обобщенный) узел с нулевым потенциалом, к узлам которого приложены дополнительные токи величиной $G_B\Phi_B$. Для сети, состояние которой выражено в форме (10), потери активной мощности примут вид

$$\Delta P = J_{\Sigma}^t \Phi = J_{\Sigma}^t R J_{\Sigma} \geq 0, \quad (11)$$

где J_{Σ}^t - вектор - строка.

Из соотношения (11) следует, что матрица R - положительно определенная [6], поскольку $\Delta P = 0$ лишь при $J_{\Sigma} = 0$. Из положительной определенности матрицы R следует, что матрица G положительно определенная, если $|G| \neq 0$, и положительно полуопределенная, если $|G| = 0$ (для полной матрицы или для сетей, граф которой является несвязанным). Покажем, что при добавлении ветви между существующими узлами в сети приращение потерь мощности (11) неположительно. Допустим, в исходном состоянии сети имеем матрицы G и R ($G^{-1} = R$), а при добавлении новой ветви между узлами $i - j$ получают G' и R' ($(G')^{-1} = R'$), причем

$$G' = G + \Delta G. \quad (12)$$

Приращение матрицы узловых проводимостей определяется по формуле

$$\Delta G = VV^t, \quad (13)$$

где V - вектор-столбец, элементы которого равны нулю, кроме V_i и V_j : $V_i = \sqrt{g_b}$, $V_j = -\sqrt{g_b}$, g_b - проводимость добавленной ветви между узлами i, j .

Покажем, что симметричная матрица структуры (13) положительно полуопределенная. Согласно определению положительной определенности матрицы [6]:

$$X^t V V^t X = (X^t V)(V^t X) = a^2, \quad (14)$$

где X - n -мерный вектор-столбец; a - скалярное произведение векторов X, V .

Пользуясь формулой Шермана-Моррисона [6], получим

$$R' = R - \frac{R V V^t R}{1 + V^t R V}, \quad (15)$$

где через

$$\Delta R = - \frac{R V V^t R}{1 + V^t R V} \quad (16)$$

представляем приращение матрицы узловых сопротивлений. Покажем, что матрица ΔR отрицательно полуопределенная. Знаменатель (16) положительный, поскольку матрица R положительно определенная. Числитель (16) приводится к структуре (13), следовательно, матрица ΔR отрицательно полуопределенная.

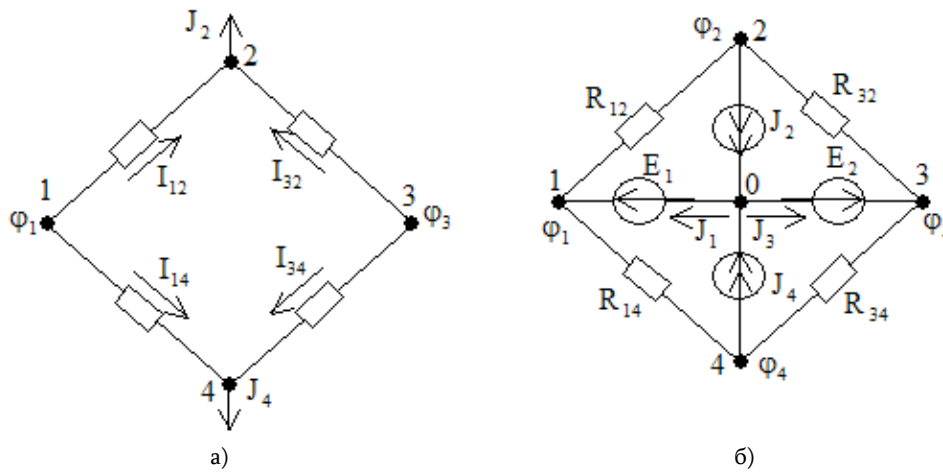


Рис. Схема НРЦ с четырьмя узлами

Приращение потерь активной мощности в сети определяется выражением

$$\Delta(\Delta P) = -J_{\Sigma}^t \Delta R J_{\Sigma} \leq 0, \quad (17)$$

причем приращение потерь мощности равно нулю лишь при $\Phi_i = \Phi_j$.

Рассмотрим пример НРЦ, имеющей ВАХ вида (1) с четырьмя узлами, $\beta = \gamma = 2$ (рис. а), где узлы 1 и 3 являются базисными с заданными потенциалами: $\Phi_1 = E_1 = 10 \text{ В}$ и $\Phi_3 = 12 \text{ В}$, $J_2 = 40 \text{ А}$, $J_4 = 30 \text{ А}$. Параметры ветвей: $K_{12} = 0,1$; $K_{23} = 0,2$; $K_{34} = 0,4$; $K_{14} = 0,3$.

На рис. б представлена та же цепь с выделением узла нулевого потенциала ($\Phi_0 = 0$).

Результаты расчетов режимов цепей приведены в табл. 1 и 2.

Таблица 1
Результаты расчета цепи с неявной ВАХ

Узел	$\Phi \text{ (В)}$	$J \text{ (А)}$	$P \text{ (Вт)}$
1	10	33,65	336
2	7,83	40	313,2
3	12	36,35	436,2
4	6,43	30	192,9

Ветвь	$I \text{ (А)}$	$U \text{ (В)}$	$\Delta P \text{ (Вт)}$	$R \text{ (Ом)}$	$K(B^{\beta}/A^{\gamma})$
1-2	19,67	2,17	42,68	0,11	0,1
1-4	13,98	3,57	49,91	0,255	0,3
3-2	20,33	4,17	84,78	0,205	0,2
3-4	16,02	5,57	89,23	0,35	0,4

Таблица 2
Результаты расчета цепи с явной ВАХ

Узел	$\Phi \text{ (В)}$	$J \text{ (А)}$	$P \text{ (Вт)}$
1	100	33,65	3365
2	61,31	40	2452,4
3	144	36,35	5234,4
4	41,345	30	1240,35

Ветвь	$I \text{ (А)}$	$U \text{ (В)}$	$\Delta P \text{ (Вт)}$	$R \text{ (Ом)}$	$K(B^{\beta}/A^{\gamma})$
1-2	19,67	38,69	761,03	1,966	0,1
1-4	13,98	58,655	819,93	4,195	0,3
3-2	20,33	82,69	1681,08	4,067	0,2
3-4	16,02	102,65	1644,45	6,407	0,4

Выводы

1. Расчет режима НРЦ с ВАХ (1) сводится к расчету режима НРЦ с явной ВАХ (3).
2. Решение НРЦ с ВАХ (3) всегда существует, и оно единственное.
3. Решение НРЦ с ВАХ (1) существует тогда и только тогда, когда искомые потенциалы режима НРЦ с ВАХ (3) неотрицательны.
4. Применение метода по параметру при решении уравнений режима НРЦ с ВАХ (3) обеспечивает абсолютную сходимость.
5. В среде Delphi-7 разработана программа расчета режимов НРЦ с ВАХ (3). Программа снабжена богатым графическим сервисом, позволяющим отображать топологию схемы на мониторе с возможностью просмотра и коррекции топологии и параметров сети.

По разработанной программе выполнены многократные расчеты режимов газотранспортной сети среднего давления г. Еревана, насчитывающей 2820 узлов, 2850 ветвей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Пенфилд П., Спенс Р., Дюинкер С.** Энергетическая теория электрических цепей. -М.: Энергия, 1974. - 151 с.
2. **Данилов Л.В.** Электрические цепи с нелинейными R -элементами. -М.: Связь, 1974. - 134 с.
3. **Казаков О.И.** Линейные соотношения в нелинейных резистивных цепях// Электричество. - 1991. - № 7. - С. 68-69.
4. **Скубов Д.Ю., Ходжаев К.Ш.** Некоторые свойства электрических цепей с нелинейными резистивными элементами// Электричество. - 1996. - № 10. - С. 50-56.
5. **Беркович Е.И.** Об аналогиях в решении потоковых задач и задач расчета резистивных цепей// Электричество. - 1994. - № 1. - С. 49-56.
6. **Отрега Д., Рейнболдт В.** Итерационные методы решения нелинейных систем уравнений со многими неизвестными. -М.: Мир, 1975.-558 с.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 19.09.2008.

Վ.Ս. ՍԱՖԱՐՅԱՆ

ՈՉ ԳԾԱՅԻՆ ՌԵԶԻՍՏԻՎԱՅԻՆ ՇՂԹԱՆԵՐԻ ՌԵԺԻՄՆԵՐԻ ՀԱՇՎԱՐԿԸ

Հետազոտվում են ոչ գծային ռեզիստիվային շղթաների վիճակի հավասարումների լուծման գոյության, միակության և զուգամիտության պայմանները: Բացահայտվել են նաև ռեզիստիվային շղթաների ընդհանրացված պարամետրերի մատրիցների դրական որոշյալ հատկությունները:

Առանցքային բառեր. ռեզիստիվային շղթա, վոլտ-ամպերային բնութագիծ, միակություն, զուգամիտություն, դրական որոշյալ մատրից:

V.S. SAFARYAN

CALCULATION OF NONLINEAR RESISTIVE CIRCUIT MODES

The existence, uniqueness and convergence of iterative process of nonlinear resistive circuit state equation solutions are investigated. The attributes of positive definiteness of generalized resistive circuit parameter matrixes are revealed as well.

Keywords: resistive circuit, volt-ampere characteristic, uniqueness, convergence, positively defined matrix.

УДК 621.315

НАУЧНОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ
И ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

М.Г. АЗАРЯН

ЗАДАЧА ВЕРТИКАЛЬНОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ В ЛАБОРАТОРНОМ ЗОНДОВОМ МИКРОСКОПЕ

Предлагается техническое решение задачи вертикального прецизионного позиционирования для лабораторных зондовых микроскопов. Приведены некоторые результаты испытаний созданного такого движителя.

Ключевые слова: шаговый двигатель, инерционный двигатель, позиционирование, исполнительный элемент, туннельный зазор, стенд, комбинированный движитель.

Введение и постановка задачи. Исследования в нанотехнологии немислимы без специальной наноизмерительной техники. По всей видимости, наиболее универсальным наноисследовательским устройством является зондовый микроскоп (ЗМ) [1]. Уже налажен промышленный выпуск разнообразных микроскопов этого класса. С каждой новой моделью, как правило, повышаются их функциональные возможности и сервис. Однако их довольно высокая стоимость значительно сужает круг научных коллективов и лабораторий, имеющих возможность проводить необходимые исследования. Кроме того, сам процесс исследований предполагает возможные нестандартные задачи, которые требуют приспособления к ним измерительной техники. Сложность, специфичность, закрытость доступа к функциональным узлам, наконец, сама, опять-таки, дороговизна такой техники не могут способствовать их адаптирующему конструктивному и программному видоизменению. Выходом из сложившейся ситуации могут быть разработка и конструирование самими исследователями собственных лабораторных микроскопов – наноисследовательских стендов [2-6].

На этом пути возникает необходимость создания всего комплекса работающих узлов, обеспечивающих нужное функционирование лабораторного стенда. Одним из таких узлов является двигатель предварительного позиционирования. Желательно, чтобы он позволял автоматически позиционировать твердотельный зонд на расстоянии порядка микрометров от исследуемой поверхности (ИП) и после этого с предельно малыми шагами-подвижками вводить кончик иглы в ближнеполевую область (в которой осуществляется устойчивая регистрация информативного для данного типа ЗМ сигнала).

Одним из таких решений и является предлагаемая работа.

В лабораторном исследовательском туннельно-токовом стенде [7] необходимо было обеспечить возможность вертикальных прецизионных перемещений в достаточно большом динамическом диапазоне и с высокой точностью. Испытания этого стенда стимулировали поиск, разработку и проверку на практике разнообразных принципов и

конструкций подобных двигателей [8,9]. Специфичность задачи нанопозиционирования требует совершения многократных поступательно-возвратных вертикальных перемещений.

Для использования в стенде ранее созданного движителя [10] было необходимо значительно уменьшить габаритные размеры как самой конструкции, так и используемых в нем исполнительных элементов. Помимо этого, возникает необходимость заняться созданием и доводкой малогабаритных фиксирующих и направляющих деталей конструкции.

С учетом вышеизложенного был создан движитель на базе ШД. В этом новом движителе используется специально сконструированный редуктор-трансформатор вращения вала (РТВ) ШД в линейное перемещение.

Диапазон Z-перемещений применяемого в стенде трубчатого сканера - 2 мкм. Это позволяет его использовать в алгоритме управления процессом организации туннельного зазора с обеспечением "запаса" динамического диапазона порядка 1 мкм (для устойчивого поддержания следящей системой достигнутого зазора зонд-поверхность). Однако, несмотря на его использование, практика работы со стендом продемонстрировала значительные трудности ввода кончика зонда в ближнеполевую область. Как правило, зонд соударялся с поверхностью. Если учесть, что ближнеполевая область для туннельного тока реально может иметь размеры порядка нескольких нанометров, то причина этого соударения, вероятно, кроется в величине обеспечиваемого ШД движителем шага позиционирования (~ 450 нм).

По всей видимости, система обратной связи не успевает с необходимой резкостью "отдернуть" поверхность от скачкообразно приближающегося в шаге зонда и предотвратить столкновение.

Исходя из этой картины, для разрешения возникшей проблемы следовало значительно уменьшить величину шага. Повышению редукции РТВ препятствовала технологическая сложность создания (в лабораторных условиях) малогабаритной прецизионной механики с микромасштабной фиксацией рабочих деталей конструкции.

Необходимую величину шага может обеспечить инерционный движитель (ИД).

Однако эксперименты с инерционными двигателями для вертикального перемещения разных конструкций (с применением также циклоидальных управляющих сигналов [10]) продемонстрировали труднодостижимое, многократное и стабильное осуществление подъема (отвода) зонда.

Было принято решение, воспользовавшись легкодостижимой ИД операцией спуска (подвода) зонда, объединить ИД с ШД движителем. В таком комбинированном движителе ШД должен обеспечивать грубый отвод/подвод в динамическом диапазоне, ограниченном лишь длиной вала ШД, а ИД - только операцию тонкого подвода.

Созданный ИД образован исполнительным приводом и перестраиваемой системой фиксации перемещаемого тела (ПСФТ). Организация инерционного движения предполагает:

- относительно медленное смещение на величину Δ несущей детали совместно с перемещаемым телом (без изменения силы их сцепления) из исходного положения;

- резкий возврат в исходное положение несущей детали и проскальзывание перемещаемого тела (за счет инерции, изменения силы сцепления).

Величина акта смещения зависит от массы тела, силы сцепления с несущей деталью, величины Δ . Исходя из последнего, в качестве привода используется биморфный пьезоэлемент. Закрепленный одним концом на редукторе-преобразователе, он, при достаточно малых прилагаемых напряжениях U^6 , обеспечивает такую величину Δ , которая делает ощутимым остаточный сдвиг перемещаемого тела относительно несущей детали в результате каждого акта.

Перемещаемое тело представляет собой полированный сапфировый цилиндрок (диаметром 5 мм и длиной 40 мм) с микродержателем зонда, закрепленным на нижнем конце.

ПСФТ (рис.1), обеспечивая фиксацию, одновременно служит и направляющей.

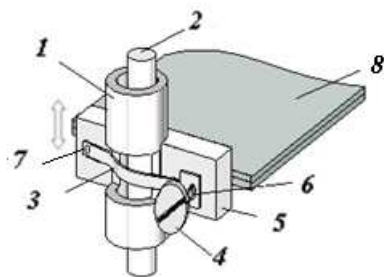


Рис.1:

- 1 – сапфировый цилиндрок, 2 – перемещаемый цилиндрический стержень, 3 – упругий прижимной элемент, 4 – винт регулировки прижима, 5 – держатель ПСФТ,
6 – дополнительная пружинка, 7 – фиксатор упругого прижимного элемента,
8 – свободный конец биморфного пьезоэлемента

Цилиндрическая форма передвигаемого тела упругим прижатием его к дугообразному ложу детали из кварцевой трубки (диаметр 5,5 мм, длина 12 мм) фиксирует его в поперечных направлениях. В то же время такая деталь свободна для вертикальных перемещений. Силы сцепления (поверхность прижимающей детали–цилиндрическое тело–дугообразное ложе) диктуются давлением упругого элемента на прижимающую деталь. Для тонкости регулировки давления воздействие регулировочного винта на упругий элемент проводится посредством дополнительной спиральной пружинки.

На рис.2 приведена схема созданного движителя.

Габаритные размеры позволяют легко интегрировать его в электромеханическую конструкцию туннельно-токового стенда.

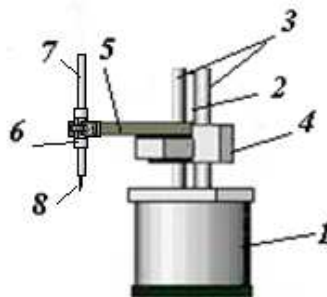


Рис.2:

1 – ШД, 2 – вал, 3 – направляющие для РТВ, 4 – корпус РТВ, 5 – биморфный пьезоэлемент, 6 – прижимная фиксирующая система для ИД, 7 – кварцевая трубка, 8 – зонд

Для исследования работы комбинированного движителя применялась ранее использованная техника. Весь комплекс экспериментальных исследований проведен с привлечением виртуального стенда, созданного в LabVIEW-среде.

Результаты испытаний и их обсуждение. На рис.3 представлена одна из экспериментальных кривых, иллюстрирующая реализованные комбинированным движителем операции, необходимые для вертикального позиционирования передвигаемого стержня в нужном месте. Это достигается попеременным использованием ШД и ИД.

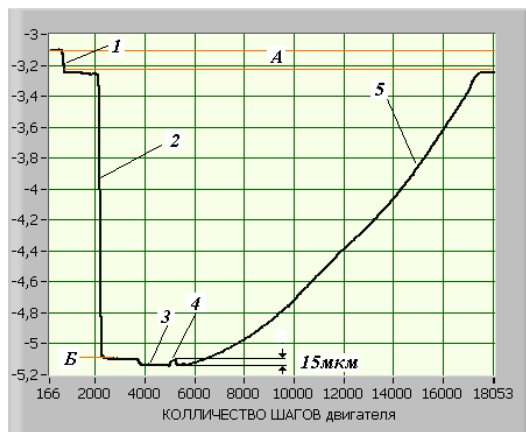


Рис.3:

1 - включение ШД, 2 - обеспечиваемое ШД перемещение, 3 - выключение ШД, 4-калибровочный сигнал, 5 - обеспечиваемое ИД перемещение

В процессе работы стенда необходимо, по возможности, свести к минимуму количество находящихся под управляющим напряжением элементов, поддерживающих туннельный зазор. Они - источники возможных помех. По этой причине необходимо отключить электрическое питание после отработки ШД своей функции (хорошо видно пространственное смещение из-за включения питания катушек ШД (отрезок 1). После некоторого ожидания (полочка на кривой) запускается работа ШД по вертикальному перемещению (подъем) из позиции *A* в позицию *B* (отрезок 2 кривой). Отключается питание ШД. Величина смещения заметно разнится от 1. Это связано с нелинейностью использованного регистратора перемещений. Калибровочная метка формируется задаваемой величиной пространственного смещения незакрепленного конца пьезобиморфа (совместно с ПСФТ) $\Delta_{бф}$. Экспериментально определенная зависимость $\Delta_{бф}$ от напряжения управления пьезобиморфом позволяет масштабировать перемещения в любой позиции. На приведенной кривой высота пика 4 эквивалентна 15 мкм.

Наконец, с помощью ИД проведено позиционирование (опускание) перемещаемого объекта в исходную позицию А5.

На рис.4 демонстрируется управление самим финишным "тонким" ИД-позиционированием.

В момент 1 запускается работа ИД с амплитудой управляющего пилообразного сигнала $U_{б.пилы1} = \cdot k_{ВВУ}$ ($k_{ВВУ}$ – коэффициент усиления используемого высоковольтного усилителя). Отрезок 2 кривой указывает на возросшую скорость опускания ($U_{б.пилы2} = 2 \cdot U_{б.пилы1}$). Скорость перемещения на отрезке 3 наиболее высокая ($U_{б.пилы} = 4 \cdot U_{б.пилы1}$). "Излом" 4 может быть обусловлен относительно плохим качеством полировки поверхности на данном отрезке перемещаемого тела.

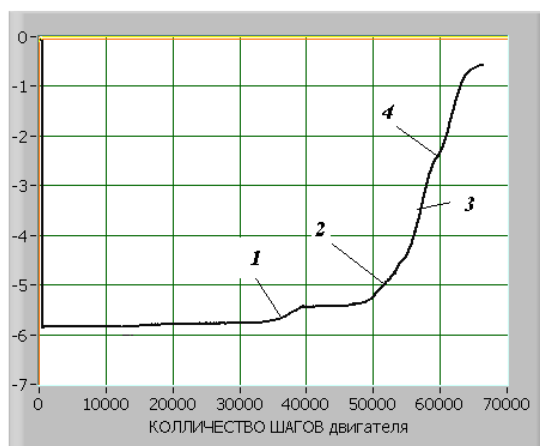


Рис.4:

- 1 – ИД-перемещение с наименьшим шагом, 2 – возрастание шага перемещения,
3 – максимальный шаг перемещения, 4 – перемещение в условиях ушербной поверхности

На рис.5 приведен интересный результат – процесс тонкого перемещения зонда ИД-двигателем в туннельном зазоре. Он получен в следующих условиях.

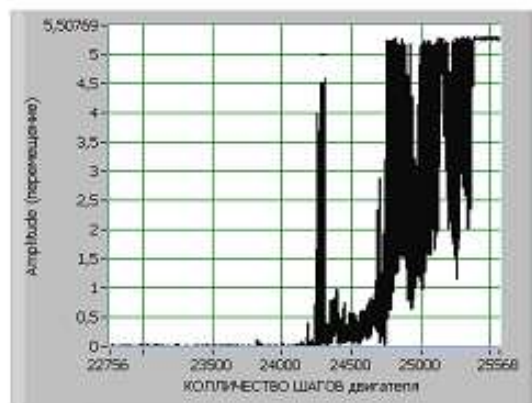


Рис.5

На первом этапе с помощью ШД зонд визуально позиционировался на достаточно малом ($\sim \text{мкм}$) расстоянии от поверхности исследуемого объекта (пирографит). На втором этапе был приведен в действие ИД. Варьируя амплитудой пилообразного напряжения, поступающего на исполнительный элемент ИД, удалось зарегистрировать перемещение зонда (в результате многократного повторения актов "ИД-шагания") в весьма малом ($\sim$ десятков нм) зазоре. В этом случае в качестве контрольного сигнала выступил регистрируемый усилителем-преобразователем стенда туннельный ток. Зонд, закрепленный на конце ПТ, перемещается в наноразмерной области, а используемый в стенде усилитель-преобразователь тока в напряжение регистрирует уже возникший туннельный ток. Запись велась при отключенной системе отслеживания постоянства величины туннельного тока. Достаточно долгое "некасание" зонда поверхности (из-за случайных механических и акустических помех), по всей видимости, обусловлено принятыми предосторожностями - электромеханика стенда накрыта вакуумным стеклянным колоколом (звукоизоляция) и помещена на специальную пассивную виброгасящую систему. Если исходить из того, что весь "видимый" на приведенной зависимости зазор порядка десятка нанометров, то картинка демонстрирует результат функционирования ИД в наномасштабном пространстве.

Таким образом, представленные результаты демонстрируют полноценную функциональность созданного движителя для вертикального позиционирования в зондовых микроскопах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Эдельман В.С.** Сканирующая туннельная микроскопия // ПТЭ.-1989.-Т.5.-С.25-49.
2. **Володин А.П., Степанян Г.А., Хайкин М.С., Эдельман В.С.** Сканирующий туннельный микроскоп с большим полем зрения, совместимый с растровым электронным микроскопом // ПТЭ.-1989.-Т.5.-С.185-187.
3. **Ермаков А.Б., Адамчук В.К.** Атомно-силовой/туннельный микроскоп и его применение для исследования диэлектрического пробоя алмазной пленки на кремнии// Письма в ЖТФ.-1992. - Т.25, вып.5. - С.80-86.
4. **Azaryan M.H.** Device for investigation of semiconductor nanostructures //National Conf.- Sevan.- 10-12 September, 2001.-P. 283-288.
5. **Гуляев П.В., Шелковников Е.Ю., Осипов Н.И., Кизнерцев С.Р., Гудцов Д.В.** Компактный сканирующий туннельный микроскоп // Материалы докладов НТК «Приборостроение в XXI веке. Интеграция науки, образования и производства».- Ижевск, 2006.- С.150-152.
6. **Kemiktarak U., Ndukum T., Schwab K. C. & Ekinici K.L.** Radio-frequency scanning tunnelling microscopy.- 1 November 2007. Vol 450.- doi:10.1038.-Nature 06238.
7. **Азарян М.Г., Лалаян А.А., Арутюнян В.М., Арзуманян Г.М., Белушкин А.В.** К созданию зондового микроскопа сверхвысокого оптического разрешения // Ядерная физика и нанотехнологии: Сборник статей ОИЯИ.- Дубна, 2008.- С.190-197.
8. А.с. SU,1541741 А1. Пьезоэлектрическое устройство перемещения / **А.О. Голубок, Д.Н. Давыдов, В.А. Тимофеев, С.Я. Типисцев.** - Оpubл. 08.10.1989.
9. **Renner Ch., Niederman Ph., Kent A.D., Fischer E.** A vertical piezoelectric inertial slider // Rev.Sci.Instr. -1990.- 61, N.3.-P.965-967.
10. **Азарян М.Г.** Способ и устройство микропозиционирования // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер.ТН.- 2007. -Т.60, N3.- С. 504-509.

ЕГУ. Материал поступил в редакцию 13.07.2007.

Մ.Հ. ԱԶԱՐՅԱՆ

ՈՒՂՂԱՀԱՅԱՑ ԴԻՐՔԱԲԵՐՄԱՆ ԽՆԴԻՐԸ ԼԱԲՈՐԱՏՈՐ ԶՈՆԴԱՅԻՆ ՄԱՆՐԱԴԻՏԱԿՈՒՄ

Առաջարկվում է գոնդային լաբորատոր մանրադիտակների ուղղահայաց պրեցիզիոն դիրքաբերման խնդրի տեխնիկական լուծումը: Բերված են ստեղծված շարժիչի ֆունկցիոնալ հնարավորություններն ապացուցող փորձնական որոշ տվյալներ:

Առանցքային բառեր. քայլային տեղափոխիչ-շարժիչ, իներցիոն շարժիչ, դիրքաբերում, կատարողական տարր, թունելային բացակ, ստենդ, համակցված շարժիչ:

M.H. AZARYAN

VERTICAL POSITIONING PROBLEM IN LABORATORY PROBE MICROSCOPES

The technical problem solution of vertical precision positioning for laboratory probe microscopes is described. Test results depicting the functional possibilities of the devised thruster are presented.

Keywords: stepper driver, inertia driver, positioning, correlate effecter, tunnel gap, stand, combined driver.

Դ.Ա. ՇԱՂԳԱՍՅԱՆ

ՄՕԿ ՏՐԱՆԶԻՍՏՈՐՆԵՐՈՎ ԿԱՌԱՎԱՐՎՈՂ ՌԵԶԻՍՏՈՐԱՑԻՆ
ՄԱՏՐԻՑԻ ՄԽԵՄԱՅԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ

Բարձր արագագործության միկրոէլեկտրոնային սարքերի մուտքի/ելքի հանգույցի դիմադրությունները պետք է համաձայնեցված լինեն արտաքին միջմիացումների ալիքային դիմադրությունների հետ: Համաձայնեցման նպատակով կիրառվում է ՄՕԿ տրանզիստորներով կառավարվող ռեզիստորներից բաղկացած ճյուղերով հանգույց (ռեզիստորային մատրից, ՌՄ), որտեղ ճյուղերի համապատասխան միացումներով կարելի է ապահովել պահանջվող թույլտվածքով համարժեք դիմադրություն: Բերվում են ճյուղերի ռեզիստորների դիմադրությունների որոշման բանաձևերը և կառավարման հանգույցի սխեման:

Առանցքային բառեր. Ռեզիստորային մատրից, կոդային կառավարումով լարման բաժանիչ, կամրջակային սխեմա:

Բարձր արագագործության միկրոէլեկտրոնային սարքերի մուտքի/ելքի հանգույցի դիմադրությունները պետք է համաձայնեցված լինեն արտաքին միջմիացումների ալիքային դիմադրությունների հետ: Համաձայնեցման նպատակով միկրոսխեմաներում նախատեսվում են պահանջվող դիմադրությամբ հանգույցներ (օրինակ՝ JESD79-3B ստանդարտի [1] համաձայն DDR3 հիշողության համակարգերի մուտք/ելք հանգույցներում պետք է նախատեսվեն N-ՄՕԿ և P-ՄՕԿ տրանզիստորներով կառավարվող և $R_x=240(1+\gamma)$ Օմ համարժեք դիմադրությամբ համաձայնեցնող հանգույցներ):

Ներկայումս տեխնոլոգիական գործընթացը թույլ է տալիս ստանալ մինչև $\pm 30\%$ թույլտվածքով ռեզիստորներ՝ առանց լազերային կարգաբերման: Որոշակի թվով զուգահեռ միացվող ռեզիստորների (ռեզիստորային մատրից, ՌՄ) կիրառմամբ կարելի է ապահովել համարժեք դիմադրության պահանջվող ճշգրտությունը: Ռեզիստորների միացումներն իրականացվում են ՄՕԿ դաշտային տրանզիստորներով բանալիների միջոցով (նկ.1), որոնց հոսքուղու երկարությունն ու լայնությունը ցանկալի է ընտրել այնպես, որ բաց վիճակում դրանք աշխատեն վոլտ-ամպերային բնութագրի գծային տիրույթում: Այդ տրանզիստորների հոսքուղու դիմադրությունը տեխնոլոգիական գործընթացների շեղումների հետևանքով կարող է փոխվել մինչև $\pm 40\%$: Հետևաբար, անհրաժեշտ է ՌՄ-ի ռեզիստորների ճյուղերի թիվը (կառավարող կոդի կարգերի թիվը) և դրանց դիմադրություններն այնպես ընտրել, որ հնարավոր լինի ապահովել ստացված համարժեք ռեզիստորի պահանջվող ճշգրտությունը:

ՌՄ-ի ճյուղերի քանակը որոշելու համար նպատակահարմար է օգտվել զուգահեռ միացվող ճյուղերի հաղորդականություններից: Եթե ճյուղերի դիմադրություններն

ստացվում են α թույլտվածքով, ապա ընդհանուր դեպքում ճյուղի հաղորդականության թույլտվածքը դիմադրության մեծ թույլտվածքի դեպքում՝

$$\beta = \Delta G/G = -\alpha/(1+\alpha) : \quad (1)$$

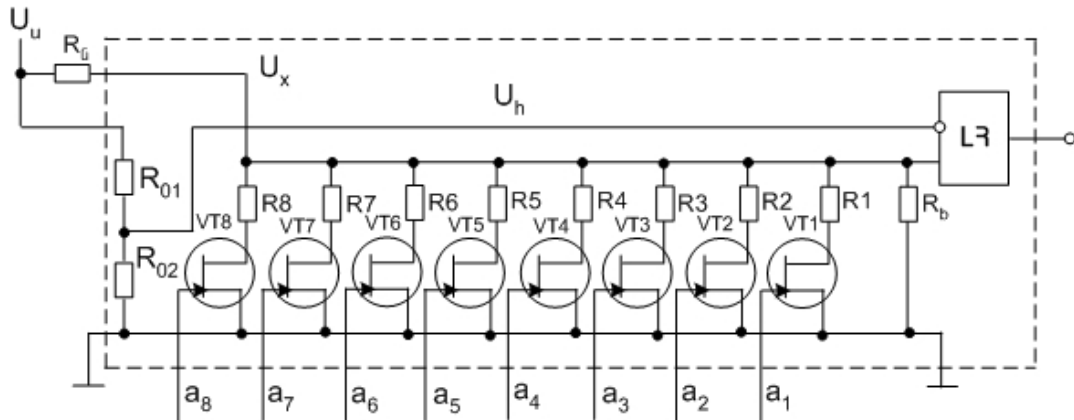
Եթե ΩU -ը բաղկացած է n թվով ճյուղերից, ապա զուգահեռ միացված ճյուղերի հաղորդականությունը՝

$$G = N_x g_0, \quad (2)$$

որտեղ $N_x = \sum_{i=1}^n a_i 2^{i-1}$ -ը կառավարող կոդին համապատասխան տասական թիվն է ($a_i=1$ -ը միացված ճյուղի համար և $a_i=0$ -ն՝ անջատված ճյուղի համար), g_0 -ն՝ հաղորդականության քվանտը (կոդի ցածր կարգի ճյուղի հաղորդականություն):

Քանի որ n -կարգանի կոդով ստացվող ամենամեծ թիվը $N_m=2^n-1$ է, ապա ΩU -ի հաղորդականության ամենամեծ արժեքը՝

$$G_{\max} = (2^n - 1)g_0 : \quad (3)$$



Նկ.1. ΩU -ով հանգույցի սխեման

Ունենալով $G_{\max}$ -ի և g_0 -ի արժեքները, կարելի է որոշել զուգահեռ միացվող ճյուղերի թիվը: Եթե անհրաժեշտ է ստանալ որոշակի R_x համարժեք դիմադրություն, ապա նպատակահարմար է ընտրել հենային ճյուղ (R_b) և, դրան զուգահեռ միացնելով կառավարվող ΩU -ը, ստանալ համարժեք դիմադրություն՝ պահանջվող γ թույլտվածքով: Հենային ճյուղի նվազագույն դիմադրությունը պետք է մեծ լինի պահանջվող R_x դիմադրությունից, հետևաբար՝

$$R_b \geq R_x (1 + \gamma) / (1 - \alpha) : \quad (4)$$

Ընդունելով $\gamma=0,01$, $\alpha=0,3$, $R_x=240$ Օմ, կստանանք $R_b=1,443R_x$, հետևաբար կարելի է ընդունել՝ $R_b=345$ Օմ: Նշված պարամետրերի դեպքում ΩU -ի անվանական հաղորդականությունը կստացվի $G_w=1/R_x=0,004166$ Մմ: Քանի որ հաղորդականության քվանտը պետք է փոքր լինի թույլտվածքից, քվանտի սահմանային արժեքի համար կստանանք

$$g_u \leq \beta G_w \approx 0,00004124 \text{ Մմ:}$$

Կարգաբերման բարձր ճշգրտություն ապահովելու համար հաղորդականության քվանտի անվանական արժեքը նպատակահարմար է ընտրել քվանտի սահմանային սահմանային արժեքից երկու անգամ փոքր [3], հետևաբար՝ $g_w=0,5\beta G_w= 0,00002062 \text{ ՄՎ}$: Ընդհանուր դեպքում (հաշվի առնելով ամենացածր կարգի ռեզիստորի դիմադրության թույլտվածքը) հաղորդականության քվանտի մեծագույն և նվազագույն արժեքների համար կստանանք՝

$$g_{\text{մ}} = 1/R_{1w}(1-\alpha), \quad g_{\text{ն}} = 1/R_{1w}(1+\alpha), \quad (5)$$

որտեղ $R_{1w}=1/g_w$ -ն ամենացածր կարգի ռեզիստորի անվանական դիմադրությունն է:

Կարգաբերման ճշգրտությունը չփոքրացնելու համար R_{1w} -ն պետք է ընտրել այնպես, որպեսզի հաղորդականության քվանտի մեծագույն արժեքը փոքր լինի անվանական արժեքից ($g_{\text{մ}} \leq g_w$): Հաղորդականության քվանտին (կոդի ամենացածր կարգին) համապատասխան ճյուղի անվանական դիմադրությունը՝

$$R_{1w} \geq 1/g_w(1-\alpha) = 2R_x / \gamma(1-\alpha):$$

Օգտվելով բանաձև (4)-ից՝ հենային ճյուղի հաղորդականության սահմանային արժեքների համար կստանանք՝

$$G_{\text{մլ}} = 1/R_b(1+\alpha) = G_w(1-\alpha)/(1+\alpha)(1+\gamma),$$

$$G_{\text{առ}} = 1/R_b(1-\alpha) = G_w / (1+\gamma): \quad (6)$$

Հետևաբար, ՌՄ-ը պետք է ապահովի հաղորդականության աճի հետևյալ արժեքը՝

$$\Delta G_{\text{մեծ}} = G_w - G_{\text{մլ}} = G_w(2\alpha + \gamma + \alpha\gamma)/(1+\alpha)(1+\gamma): \quad (7)$$

Ստացված $\Delta G_{\text{մեծ}}$ -ը ստանալու համար ՌՄ-ի ճյուղերի n թվի համար կստանանք՝

$$2^n - 1 = \Delta G_{\text{մեծ}} / g_{\text{մ}} = G_w(2\alpha + \gamma + \alpha\gamma)/(1+\alpha)(1+\gamma)g_{\text{մ}} \approx 4\alpha / \gamma(1-\alpha) \quad (8)$$

(երբ $\gamma=0,01$, $\alpha=0,3$, ապա $2^n \geq 170$, հետևաբար պետք է ընտրել $n=8$):

Վերևում նշված արժեքների դեպքում ստացվում է $R_{1w}=70 \text{ կՕՎ}$: Հետևաբար մյուս ճյուղերի անվանական դիմադրությունների համար կստանանք՝ $R_{2w}=35 \text{ կՕՎ}$, $R_{3w}=17,5 \text{ կՕՎ}$, $R_{4w}=8,75 \text{ կՕՎ}$, $R_{5w}=4,38 \text{ կՕՎ}$, $R_{6w}=2,19 \text{ կՕՎ}$, $R_{7w}=1,1 \text{ կՕՎ}$, $R_{8w}=0,55 \text{ կՕՎ}$: Եթե դաշտային տրանզիստորով բանալու դիմադրությունն է R_p , իսկ դրա թույլտվածքը՝ (p , ապա տվյալ ճյուղի դիմադրությունը կարելի է ներկայացնել հետևյալ տեսքով՝

$$R_i = R_{i\text{անվ}}\{1+\alpha-k(\alpha-\alpha)\} = R_{i\text{անվ}}\{+\alpha(1-k)+k\alpha_p\}, \quad (9)$$

որտեղ $k=R_p/R_{i\text{անվ}}$, $R_{i\text{անվ}}$ -ը տվյալ ճյուղի անվանական դիմադրությունն է:

Վերոհիշյալ $\alpha=0,3$, $\alpha_p=0,4$ և $k=0,3$ արժեքների դեպքում փակագծերում բերված արտահայտության համար կստանանք՝ $(1\pm 0,33)$, եթե $k \leq 0,1$, ապա կստանանք՝ $(1\pm 0,31)$, հետևաբար, վատագույն դեպքում կարելի է ընդունել $R_i = R_{i\text{անվ}}(1\pm 0,33)$:

ՌՄ-ի դիմադրությունը կարգաբերվում է ՌՄ-ի ելքային լարման անվանական արժեքի դեպքում, որը հավասար է սնման լարման կեսին: Աշխատանքային պայմաններում այդ լարումը կարող է փոփոխվել լայն սահմաններում (մինչև 50%), որի հետևանքով կփոխվի դաշտային տրանզիստորի դիմադրությունը բաց վիճակում: Այդ դիմադրությունը կփոխվի նաև շրջապատի ջերմաստիճանի փոփոխությունից:

Հետևաբար կարգաբերումից հետո դաշտային տրանզիստորի դիմադրությունը շահագործման պայմաններում կլինի՝

$$R_{un}=R_{un0}(1+\alpha_{un}),$$

որտեղ R_{un0} -ն տրազիստորի դիմադրությունն է սնող լարման անվանական արժեքի դեպքում կարգաբերումից հետո, α_{un} -ն բաց տրանզիստորի դիմադրության հարաբերական փոփոխությունն է շահագործման ընթացքում:

ՌՄ-ի յուրաքանչյուր ճյուղը ռեզիստորի (R_n) և դաշտային տրանզիստորի (R_{un}) հաջորդաբար միացված շղթա է: Եթե ռեզիստորի թույլտվածքն α_n է, ապա ճյուղի համարժեք դիմադրության համար կստանանք՝

$$R_{hամ}=R_n (1+\alpha_n)+ R_{un}(1+\alpha_{un})=(R_n+R_{un})(1+\alpha_{hամ}), \quad (10)$$

որտեղ $\alpha_{hամ} = \frac{R_n}{R_n + R_{un}} \alpha_n + \frac{R_{un}}{R_n + R_{un}} \alpha_{un}$ -ը ճյուղի դիմադրության համարժեք հարաբերական փոփոխությունն է:

Եթե ընդունենք $R_n=mR_{un0}$ (հիմնականում $m>5$, բայց տվյալ դեպքում կարող է հասնել մինչև 1000 և ավելի), ապա կստանանք՝

$$\alpha_{hամ} = \frac{m}{m+1} \alpha_n + \frac{1}{m+1} \alpha_{un} :$$

Բանաձևից հետևում է, որ α_{un} -ի ազդեցությունը $\alpha_{hամ}$ -ի վրա անտեսելու համար անհրաժեշտ է ապահովել m -ի մեծ արժեքներ, ինչը գործնականում դժվար է, քանի որ դրա արդյունքում մեծանում է տրանզիստորների գումարային մակերեսը և հետրաբար՝ ունակությունը:

Կարգաբերումից հետո տվյալ ճյուղի R_i ռեզիստորի դիմադրության փոփոխությունը շահագործման ընթացքում կարելի է գործնականում անտեսել: Հետևաբար կարելի է ընդունել, որ ճյուղի համարժեք դիմադրության փոփոխությունը պայմանավորված է տրազիստորի պարամետրերի փոփոխմամբ՝

$$\alpha_{hամ} \approx \alpha_{un} / (m+1):$$

Տվյալ ճյուղի հաղորդականության հարաբերական փոփոխությունը՝

$$\beta \approx -\frac{\alpha_{hամ}}{1+\alpha_{hամ}} = -\frac{\alpha_{un}}{m+1+\alpha_{un}} :$$

Յուրաքանչյուր ճյուղի հաղորդականությունը կարելի է ներկայացնել հետևյալ տեսքով.

$$G_i=G_{i0}(1+\beta_i)=2^{i-1}q_g(1+\beta_i),$$

որտեղ q_g -ն հաղորդականության քվանտն է, β_i -ն՝ i -րդ ճյուղի հաղորդականության հարաբերական փոփոխությունը:

Գումարային հաղորդականության ամենամեծ արժեքը՝

$$G_{hամ} = \sum_{i=1}^n G_i = q_g \sum_{i=1}^n 2^{i-1} (1+\beta_i) = q_g (2^n - 1) [1+\beta_{hամ}], \quad (11)$$

որտեղ $\beta_{hամ} \approx 2^{-n} (\beta_1 + 2\beta_2 + 4\beta_3 + \dots + 2^{n-1} \beta_n)$:

Տեղադրելով հաղորդականության փոփոխության արժեքը, կստանանք՝

$$\beta_{\text{համ}} \approx 2^{-n} \left(-\frac{\alpha_{\text{տ}}}{m_1 + 1 + \alpha_{\text{տ}}} - \frac{2\alpha_{\text{տ}}}{m_2 + 1 + \alpha_{\text{տ}}} - \dots - \frac{2^{n-1}\alpha_{\text{տ}}}{m_n + 1 + \alpha_{\text{տ}}} \right) =$$

$$= -2^{-n}\alpha_{\text{տ}} \left(\frac{1}{m_1 + 1 + \alpha_{\text{տ}}} + \frac{2}{m_2 + 1 + \alpha_{\text{տ}}} + \dots + \frac{2^{n-1}}{m_n + 1 + \alpha_{\text{տ}}} \right):$$

Քանի որ $\alpha_{\text{տ}} \ll m_i$, ապա

$$\beta_{\text{համ}} \approx -2^{-n}\alpha_{\text{տ}} \left(\frac{1}{m_1 + 1} + \frac{2}{m_2 + 1} + \dots + \frac{2^{n-1}}{m_n + 1} \right): \quad (12)$$

Եթե սխեմայում օգտագործվեն միանման տրանզիստորներ $R_{\text{տ0}}=(50\pm5)$ Օմ դիմադրությամբ, ապա վերում բերված R_i -ի արժեքների համար կստանանք՝ $m_1 \approx 1300$, $m_2 \approx 650$, $m_3 \approx 320$, $m_4 \approx 160$, $m_5 \approx 80$, $m_6 \approx 40$, $m_7 \approx 20$, $m_8 \approx 11$: Հետևաբար՝

$$\beta_{\text{համ}} \approx -2^{-8}\alpha_{\text{տ}} \left(\frac{2^5}{40} + \frac{2^6}{21} + \dots + \frac{2^7}{12} \right) \approx -2^{-4}\alpha_{\text{տ}}:$$

Եթե $\alpha_{\text{տ1}}=0,4$, ապա համարժեք $R_0=240$ Օմ դիմադրության փոփոխության համար կստանանք $\alpha_0=0,025$ կամ 2,5 %: Այդ փոփոխությունը փոքրացնելու համար նպատակահարմար է հենային ճյուղի R_b ռեզիստորի դիմադրության թույլտվածքը փոքրացնել:

Կարգաբերումը կարելի է իրականացնել $R_b=240$ Օմ դիմադրությամբ ճշգրիտ (նմուշային) ռեզիստորով և կողային կարգաբերումով ՌՄ-ով լարման բաժանիչ ստեղծելու միջոցով, որի բաժանման գործակիցը պետք է ստացվի $K_F=0,5$: Այդ նպատակով հանգույցի մեջ մտցվում է ճշգրիտ լարման բաժանիչ նույն գործակցով (R_{01} , R_{02} և լարումների համեմատիչի (ԼՀ) միջոցով իրականացվում է U_b և U_x լարումների համեմատումը: Կարգաբերման այդպիսի սխեման կարելի է դիտել որպես չհավասարակշռված կամրջակային սխեմա (նկ.2), որի ելքային լարումը ճյուղերի դիմադրությունների փոքր փոփոխությունների դեպքում որոշվում է հետևյալ արտահայտությամբ [2]՝

$$U_b = U_0 \frac{\lambda}{(1+\lambda)^2} (\varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon_4),$$

որտեղ $\lambda = R_1/R_2=R_3/R_4$, ε_i - ն i -րդ ճյուղի դիմադրության հարաբերական փոփոխությունն է:

Այդ լարումը կստանա ամենամեծ արժեքը, եթե $\lambda = 1$, որի դեպքում $R_1=R_2$ և $R_3=R_4$ և

$$U_b = 0,25U_0 (\varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon_4):$$

R_1 և R_2 ռեզիստորների ճշգրիտ տոպոլոգիական տեղաբաշխմամբ կարելի է ապահովել $\varepsilon_1 \approx \varepsilon_2$, հետևաբար կստանանք՝

$$U_b = 0,25U_0 (\varepsilon_3 - \varepsilon_4):$$

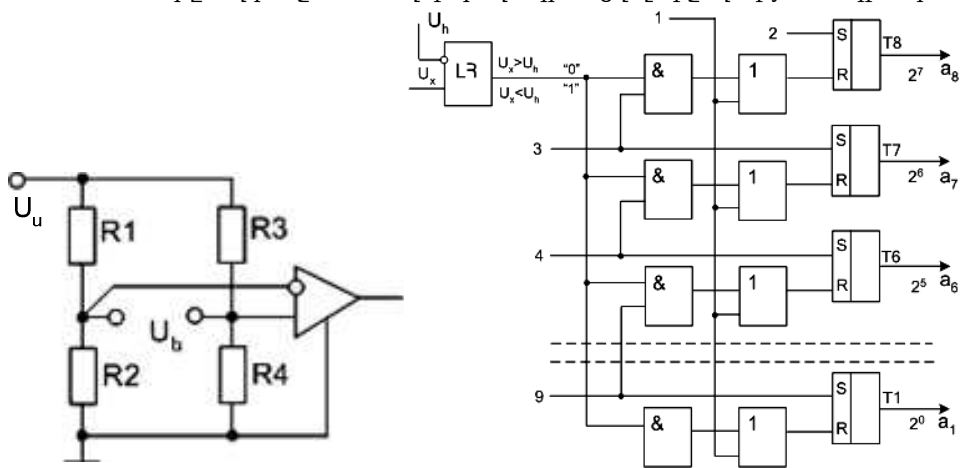
Կարգաբերման նպատակն է ստանալ ε_4 -ի թույլատրելի արժեք ($\varepsilon_4 \leq \gamma$), հետևաբար նպատակահարմար է R3 ռեգիստորն ընտրել փոքր թույլտվածքով $\varepsilon_3 \leq 0,3\varepsilon_4$, այդ դեպքում կարելի է ընդունել՝

$$U_b = 0,25U_0\gamma:$$

Ընդունելով սնող լարումը $U_0=1,75$ Վ, $\gamma=0,01$ դեպքում կստանանք՝ $U_b=0,25U_0\gamma=4,4$ մՎ, հետևաբար լարումների համեմատիչի զրոյի շեղման լարումը (նկատի ունենալով նաև դրա ջերմաստիճանային դրեյֆը) պետք է փոքր լինի 2 մՎ-ից:

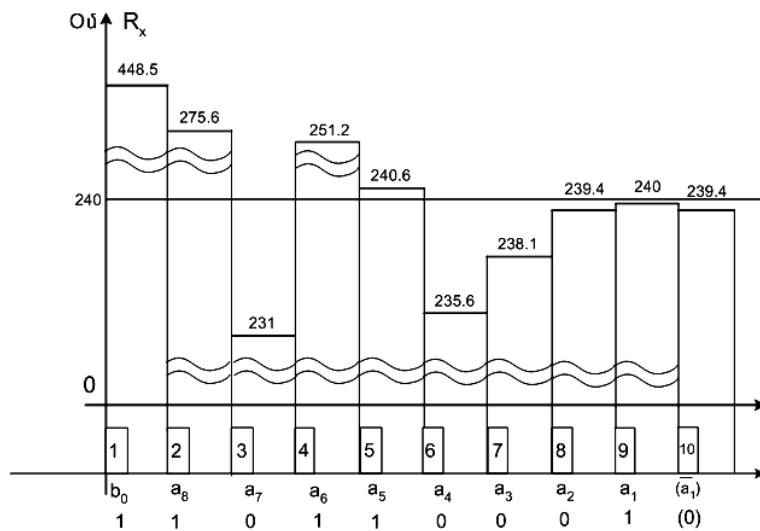
ՌՄ-ի կառավարումը նպատակահարմար է իրականացնել կոդաիմպուլսային անալոգաթվանշանային կերպափոխիչի աշխատանքի սկզբունքին համապատասխան [3]: Ստացված ՌՄ-ի կառավարման հանգույցի սխեման բերված է նկ.3-ում, իսկ ազդանշանների դիագրամը՝ (երբ $R_b=345$ Օմ)՝ նկ.4-ում: Լարումների համեմատիչի (ԼՀ) մուտքին տրվում է կամրջակի ելքային լարումը և կարգաբերման ընթացքում N_x -ը փոփոխվում է այնքան, մինչև ստացվի $R_4=240(1+\gamma)$ Օմ կամ $U_b \leq 2$ մՎ: Կարգաբերման 1-ին տակտում ազդանշան 1-ով բոլոր տրիգերները (T1-T8) բերվում են “0” վիճակի, a_1 -a8 մուտքերին տրվող ազդանշաններով ՌՄ-ի տրանզիստորային VT1-VT8 բանալիները փակվում են, միացված է մնում միայն հենային R_b ճյուղը: Հետևաբար ՌՄ-ի ելքում կստացվի ամենամեծ լարումը՝ $U_x > U_b$: Հաջորդ՝ կառավարող ազդանշան 2-ով ամենաբարձր կարգի T1 տրիգերը կբերվի “1” վիճակի՝ միացնելով ՌՄ-ի 8-րդ ճյուղը: Եթե ԼՀ-ի մուտքում ստացվի $U_x < U_b$, այդ դեպքում ԼՀ-ի ելքում կստացվի “1” ազդանշան և տրամաբանական 2ԵՎ տարրերով բանալիները կբացվեն և հաջորդ կառավարող ազդանշան 3-ով տրիգեր T8-ը կբերվի “0” վիճակի, իսկ T7-ը՝ “1” վիճակի: Եթե այս դեպքում ստացվի $U_x > U_b$, ապա ԼՀ-ի ելքում կստացվի “0”, 2ԵՎ տարրերը կփակվեն և հաջորդ կառավարող ազդանշան 4-ով տրիգեր T6-ը կբերվի “1” վիճակի: Եթե դարձյալ ստացվի $U_x > U_b$, ապա ազդանշան 5-ով տրիգեր T5-ը կբերվի “1” վիճակի ու եթե ստացվի $U_x < U_b$, ապա ԼՀ-ի ելքում կստացվի “1” ու ազդանշան 6-ով տրիգեր T5-ը կբերվի “0” վիճակի, իսկ T6-ը՝ “1” վիճակի և այսպես շարունակ, մինչև վերջին (a_1) կարգը: Եթե ազդանշան 9-ով տրիգեր T1-ը բերվի “1” վիճակի ու ստացվի $U_x < U_b$, ապա ազդանշան 10-ով T1-ը կբերվի “0” վիճակի ու կարգաբերումը կավարտվի: Տրիգերների վիճակներով կորոշվի կարգաբերող կոդը, որը և կգրանցվի հիշողության հանգույցում հաջորդ (11-րդ) ազդանշանով: Նկ.4-ում բերված է աշխատանքի դիագրամը, երբ $R_{bw}=345$ Օմ, և բոլոր ռեգիստորները պատրաստված են $\alpha(30\%)$ թույլտվածքով: Այդ դեպքում ազդանշաններ 2-ից մինչև 5-ով միացվում (անջատվում) են R8-R5 ռեգիստորները ($a_8=1$, $a_7=0$, $a_6=1$, $a_5=1$) և համարժեք դիմադրությունն ստացվում է 240,6 Օմ, հաջորդ ազդանշան 6-ով միացվում է R4-ը ու ստացվում է 235,6 Օմ, դա անջատվում է ($a_5=0$) և միացվում է R3-ը ու ստացվում է 238,1 Օմ, դա նույնպես անջատվում է ($a_4=0$) և միացվում է R2-ը ու ստացվում է 239,4 Օմ, դա նույնպես անջատվում է ազդանշան 8-ով ($a_3=a_2=0$) և հաջորդ ազդանշան 9-ով միացվում է R1-ը և արդյունքում ստացվում է $R_x(240$ Օմ, հաջորդ ազդանշան 10-ով R1-ը անջատվում է և

արդյունքում ստացվում է $R_x=239,4 \text{ Օմ}$, իսկ դրան համապատասխան կոդը՝ $N_x=10110000$, որը ազդանշանի 11-ով կարող է գրանցվել հիշողության ռեգիստրում:



Նկ.2. Կարգաբերման համարժեք հաշվարկային սխեման

Նկ.3. ՌՄ-ի կառավարման հանգույցի սխեման



Նկ.4. Ռեգիստրային հանգույցի աշխատանքի դիագրամը

Տրանզիստորային բանալիների կառավարման համար անհրաժեշտ է ունենալ միմյանց հաջորդող իմպուլսային ազդանշաններ, որոնցից ժամանակի տվյալ պահին պետք է տրվի կառավարման սխեմայի համապատասխան մուտքին (նկ.3-ում 1,2,...,10): Նման սխեմաների կառուցման սկզբունքները բերված են [4]-ում:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. JESD79-3A DDR3 SDRAM Specification, JEDEC SOLID STATE TECHNOLOGY ASSOCIATION, September, 2007.
2. Электрические измерения неэлектрических величин / Под ред. **П.В.Новицкого**. - М.: Энергия, 1975. - 576 с.
3. **Ратхор Т.С.** Цифровые измерения. АЦП/ЦАП.- М.: Техносфера, 2006.-392с.
4. **Букреев И.Н., Мансуров Б.М., Горячев В.И.** Микроэлектронные схемы цифровых устройств.- М.: Сов. радио, 1975.-368с.

ՀղձՀ. Նյութը ներկայացվել է 10.07.2008:

Д.А. ШАХКАМЯН

РАЗРАБОТКА СХЕМЫ РЕЗИСТОРНОЙ МАТРИЦЫ, УПРАВЛЯЕМОЙ МОП ТРАНЗИСТОРАМИ

Рассматриваются вопросы выбора схемы и расчета параметров кодоуправляемой резисторной матрицы, предназначенной для получения резистора с требуемыми номинальным сопротивлением и допуском. Приведены расчетные формулы и схема управления матрицей.

Ключевые слова: резисторная матрица, кодоуправляемый делитель напряжения, мостовая схема.

D.A. SHAGHGAMYAN

DEVELOPMENT OF RESISTOR MATRIX SCHEME CONTROLLED BY MOS TRANSISTORS

The impedance values of memory I/O devices should be matched with those of transmission lines to enable high-speed operation. A block containing parallel connected resistors (resistor matrix, RM) is used for matching purposes. The required value of impedance variation is formed via appropriate parallel connections of resistors. The formulas for calculation of branch resistances are given and the control circuit diagram is provided.

Keywords: resistor matrix, code-controlled voltage divider, bridge scheme.

Д.Г. АСАТРЯН, Г.С. ШАХВЕРДЯН, Н.С. АСАТРЯН

УСТОЙЧИВЫЙ ЦИФРОВОЙ АЛГОРИТМ ЗАЩИТЫ ИЗОБРАЖЕНИЯ

Рассматривается задача цифровой защиты мультимедийной информации от несанкционированного доступа и использования. Предложен алгоритм, основанный на встраивании цифровых водяных знаков (ЦВЗ) в пространственную область изображения и извлечения из него ЦВЗ. Получены аналитические выражения для среднеквадратической ошибки, вызываемой процедурой встраивания при наличии случайной атаки, зависящие от характеристик изображений, процедуры встраивания и атаки. Методом моделирования исследуется устойчивость предложенного алгоритма к случайной атаке, а также к сжатию изображения по стандарту JPEG.

Ключевые слова: защита изображения, цифровой водяной знак, атака, сжатие информации, устойчивость процедуры.

Введение. Проблема защиты мультимедийной информации от несанкционированного доступа, использования и влияния на нее различных искажающих факторов в последние годы находится в центре внимания исследователей. При этом наиболее интенсивно развиваются методы защиты, основанные на современных информационных технологиях с применением математических методов цифровой обработки сигналов и изображений.

Методов встраивания ЦВЗ существует множество, в зависимости от цели и требований решаемой задачи. Отметим лишь некоторые работы, содержащие достаточно полные обзоры по этим методам. В [1-2] описаны методы, пригодные для широкого класса случаев, в [3] специально рассмотрены методы, применяемые для защиты медицинской информации. В [4] предложен адаптивный алгоритм встраивания ЦВЗ в изображение, основанный на использовании свойства визуальной системы человека [5-6]. В [7] рассмотрена задача защиты медицинской информации от несанкционированного доступа, осуществляемого с целью злонамеренного внесения изменения в информацию. На примере конкретного изображения показано, что принудительные изменения, вносимые в изображение, искажают также встроенный в него ЦВЗ, что может быть обнаружено после изъятия ЦВЗ из атакованного изображения. Показана устойчивость предложенного алгоритма к атакам типа случайных помех, накладываемых на изображение.

В настоящей работе предложен метод цифровой защиты информации, основанный на новом алгоритме встраивания ЦВЗ в пространственную область изображений. При этом показывается устойчивость алгоритма встраивания и извлечения ЦВЗ к различного рода атакам.

Алгоритм встраивания ЦВЗ. Предлагаемый алгоритм встраивания ЦВЗ основан на разбиении изображения на блоки, количество которых равно количеству пикселей ЦВЗ.

Полученные блоки ставятся во взаимно-однозначное соответствие с пикселями ЦВЗ, используя некоторый ключ Ξ для перемешивания пикселей ЦВЗ в соответствии с заданным псевдослучайным правилом. Каждый блок обрабатывается самостоятельно, исходя из значений интенсивностей пикселей блока и ЦВЗ.

Рассмотрим изображение-контейнер I и ЦВЗ W в формате Gray Scale (8 bit). Пусть изображение I имеет размеры $M \times N$ и $I = (a_{mn})$, $m = 0, 1, \dots, M-1$, $n = 0, 1, \dots, N-1$, а ЦВЗ W представляет собой изображение с размерами $K \times L$ и $W = (b_{kl})$, $k = 0, 1, \dots, K-1$; $l = 0, 1, \dots, L-1$. Необходимо встраивать ЦВЗ W в изображение I , т.е. получить новое изображение $I_w = (a_{mn}^w)$ при помощи некоторого оператора встраивания $E_+(I, W, \Xi) = I_w$, где Ξ - секретный ключ. При этом оператор встраивания присваивает новые значения пикселям каждого блока в соответствии с фиксированным правилом.

Встраивание одного байта ЦВЗ в изображение. Рассмотрим сначала простейший случай, когда $K = L = 1$, т.е. изображение состоит из одного блока, а ЦВЗ состоит из одного пикселя с интенсивностью b_{11} . Пусть $M, N > 1$, тогда имеем некоторую избыточную возможность помещения ЦВЗ в пиксели изображения, и при разумном подборе оператора встраивания $E_+(I, W, \Xi)$ можно повысить устойчивость всей процедуры защиты информации в целом. Предлагается оператор встраивания, основанный на следующей формуле:

$$a_{mn}^w = (1 - \alpha)a_{mn} + \alpha b_{11},$$

где $m = 0, 1, \dots, M-1$; $n = 0, 1, \dots, N-1$, а $\alpha > 0$ - константа, определяющая степень (силу) встраивания ЦВЗ.

Извлечение ЦВЗ в отсутствие каких-либо атак производится по формуле

$$b_{11} = \frac{\mu^w - (1 - \alpha)\mu}{\alpha},$$

где

$$\mu = \frac{1}{MN} \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} a_{mn}, \quad \mu^w = \frac{1}{MN} \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} a_{mn}^w.$$

Рассмотрим теперь ситуацию, когда на изображение I_w воздействует атака X , в результате чего получается новое изображение $I_{w,x}$. Предположим, что атака приводит к изменению пикселей изображения в соответствии с некоторым случайным законом. Примем, для определенности, следующую аддитивную модель изменения значений пикселей:

$$I_{w,x} = I_w + X.$$

Предполагается, что значения X_{mn} случайной величины X накладываются на пиксели независимо и с одинаковой функцией распределения. Тогда

$$a_{mn}^{w,x} = a_{mn}^w + x_{mn} = (1-\alpha)a_{mn} + \alpha b_{11} + x_{mn},$$

и задача извлечения ЦВЗ сводится к оцениванию параметра b_{11} по выборке $a_{mn}^{w,x}$, $m = 0, 1, \dots, M-1$; $n = 0, 1, \dots, N-1$. Можно показать, что оценка наименьших квадратов при этом имеет вид

$$\hat{b}_{11} = \frac{\mu^{w,x} - (1-\alpha)\mu}{\alpha},$$

где

$$\mu^{w,x} = \frac{1}{MN} \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} a_{mn}^{w,x}. \quad (1)$$

Если принять, что случайная величина X распределена со средним ноль и с дисперсией σ_X^2 , то дисперсия оценки (1) будет равна

$$D[\hat{b}_{11}] = \frac{\sigma_X^2}{MN\alpha^2}. \quad (2)$$

Формула (2) характеризует помехоустойчивость предложенного метода встраивания ЦВЗ к атакам со случайными характеристиками.

Представляет интерес исследование степени искажения изображения вследствие встраивания в него ЦВЗ и воздействия атаки X . Для этого вычислим среднеквадратическое отклонение интенсивностей пикселей изображений I и $I_{w,x}$. Можно показать, что

$$MSE^2 = E \left[\frac{1}{MN} \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} (a_{mn}^{w,x} - a_{mn})^2 \right] = \alpha^2 S_I^2 + \alpha^2 (\mu - b_{11})^2 + \sigma_X^2, \quad (3)$$

где

$$S_I^2 = \frac{1}{MN} \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} (a_{mn} - \mu)^2. \quad (4)$$

Первое слагаемое выражения (3) является показателем рассеяния интенсивностей пикселей изображения I относительно средней интенсивности. Чем больше этот показатель, тем больше различаются атакованное изображение со встроенным ЦВЗ и изображение-контейнер. Этот факт показывает принципиальное различие предложенного алгоритма от адаптивного алгоритма [4], в котором высокие значения этого же показателя позволяют более успешно встраивать ЦВЗ.

Второе слагаемое в (3) является мерой отклонения интенсивности встраиваемого ЦВЗ от средней интенсивности пикселей изображения. Естественно, бо'льшие отклонения приведут к соответственно бо'льшим отклонениям между изображениями I и $I_{w,x}$. При этом большое значение имеет также параметр α . Третье слагаемое

показывает непосредственное влияние рассеяния самой случайной величины X на процедуру встраивания.

Встраивание полного ЦВЗ в изображение. Предположим, что размеры изображения I кратны размерам ЦВЗ, т.е. при разбиении изображения получается KL блоков с размерами $U = M/K$ и $V = N/L$.

Встраивание ЦВЗ производится следующим образом. Сначала устанавливается взаимно-однозначное соответствие между байтами ЦВЗ и полученными блоками, используя ключ Ξ . Затем каждый пиксел ЦВЗ встраивается в соответствующий блок изображения, используя описанную выше процедуру встраивания одного байта ЦВЗ.

Можно легко получить выражения для суммарного отклонения интенсивностей пикселей изображений I и $I_{w,x}$:

$$MSE^2 = \alpha^2 \frac{1}{KL} \sum_{k=0}^{K-1} \sum_{l=0}^{L-1} S_{I,kl}^2 + \alpha^2 \frac{1}{KL} \sum_{k=0}^{K-1} \sum_{l=0}^{L-1} (\mu_{kl} - b_{kl})^2 + \sigma_X^2, \quad (5)$$

где $S_{I,kl}^2$ вычислены аналогично (4) для блока с номерами k и l , а слагаемое

$$\frac{1}{KL} \sum_{k=0}^{K-1} \sum_{l=0}^{L-1} (\mu_{kl} - b_{kl})^2$$

вычислено по всем KL блокам, средняя интенсивность пикселей которых обозначена через μ_{kl} , $k = 0, 1, \dots, K-1$; $l = 0, 1, \dots, L-1$. Третье слагаемое в (5) вычислено для всего изображения I .

Таким образом, степень (среднеквадратического) искажения изображения вследствие встраивания ЦВЗ и при наличии случайных атак по модели (4) задается выражением (5). При отсутствии случайных атак $\sigma_X^2 = 0$, поэтому (5) переходит в

$$MSE^2 = \alpha^2 \frac{1}{KL} \sum_{k=0}^{K-1} \sum_{l=0}^{L-1} S_{I,kl}^2 + \alpha^2 \frac{1}{KL} \sum_{k=0}^{K-1} \sum_{l=0}^{L-1} (\mu_{kl} - b_{kl})^2, \quad (6)$$

что показывает степень искажений, вносимых самой процедурой встраивания ЦВЗ. Выражение (6) позволяет еще до встраивания ЦВЗ определить степень ожидаемых искажений и контролировать ее путем надлежащего выбора параметра α .

Результаты моделирования и численных расчетов. Рассмотрим численные примеры встраивания и извлечения ЦВЗ в изображение и оценивания помехоустойчивости предложенной процедуры. Расчеты удобно проводить в логарифмическом масштабе на основе расчета PSNR.

Для эксперимента выбрано изображение маммограммы пациента N , имеющее размеры 256×256 пикселей и ЦВЗ с фотографией пациента с размерами 64×64 . Защита информации состоит во встраивании фотографии пациента в изображение маммограммы. Встраивание ЦВЗ проведено при $\alpha = 0,07$.

Визуальный анализ изображения-оригинала I и изображения со встроенным ЦВЗ I_w никаких заметных различий в них не обнаружил. Значение $PSNR = 31,6$ дБ также свидетельствует о достаточной близости этих изображений по среднеквадратическому критерию.

Исследование устойчивости предложенного алгоритма проведено для двух типов атак.

1. Устойчивость к случайным атакам, проявляемым в соответствии с моделью (4) с использованием численного моделирования в предположении, что случайная величина X распределена как $X \sim N(0, \sigma_x^2)$ для различных значений дисперсии σ_x^2 .

Таблица 1

$PSNR$ (дБ) между изображениями I и $I_{w,x}$, извлеченные ЦВЗ и $PSNR$ между встроенным и извлеченным ЦВЗ при различных значениях σ_x

$X \sim N(0, \sigma_x^2)$	$\sigma_x = 0$	$\sigma_x = 2$	$\sigma_x = 4$	$\sigma_x = 6$
$PSNR$ между изображениями I и $I_{w,x}$, дБ	31,60	31,09	30,13	28,98
Извлеченные ЦВЗ				
$PSNR$ между встроенным и извлеченным ЦВЗ	∞	28,00	24,26	21,20

В табл. 1 приведены полученные результаты для одной реализации случайной величины X . Видно, что с увеличением σ_x ухудшается качество извлеченного ЦВЗ, оставаясь, впрочем, на уровне, достаточном для узнавания образа пациента вплоть до значения $\sigma_x = 6$. Качество же изображения со встроенным ЦВЗ остается в районе 30 дБ, что никак не отражается на диагностической ценности деталей данной маммограммы.

2. **Устойчивость к сжатию по стандарту JPEG.** В табл. 2 приведены результаты по исследованию устойчивости предложенной процедуры к атакам в виде сжатия при помощи стандарта JPEG для различных значений параметра качества Q . Эксперименты проводились на тех же изображениях-контейнере и ЦВЗ.

Выводы, которые можно сделать из данных табл. 2, во многом схожи с выводами, сделанными относительно табл. 1. Отметим, однако, неожиданно высокую устойчивость предложенной процедуры к достаточно сильному сжатию изображений: ведь при параметре качества, равном всего 40, размер сжатого JPEG-файла для рассматриваемого

изображения составляет около 6% от исходного при сохранении качества на уровне около 31 дБ и вполне различимом образе пациента по извлеченному ЦВЗ.

Таблица 2

PSNR (дБ) между изображениями I и $I_{w,x}$, извлеченные ЦВЗ и PSNR между встроенным и извлеченным ЦВЗ при различных значениях параметра качества Q

Параметр качества по стандарту JPEG	100	80	60	40
PSNR между изображениями I и $I_{w,Q}$, дБ	31,60	31,27	31,04	30,73
Извлеченные ЦВЗ				
PSNR между встроенным и извлеченным ЦВЗ, дБ	∞	33,04	27,42	23,99

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Cox J., Miller M. L. and Bloom J.A. Digital Watermarking. - Morgan Kaufmann, 2001.
2. Hartung M., Kutter M. Multimedia Watermarking Techniques //Proceedings of the IEEE. – July, 1999. - Vol. 87, № 7. - P. 1079-1086.
3. Anand D., Niranjana U.C. Watermarking Medical Images with Patient Information //Proc. IEEE/EMSB Conference. - Hong Kong, China, Oct. 1998. – P. 703-706.
4. Асатрян Д.Г., Ланина Н.С. Адаптивный алгоритм встраивания цифровых водяных знаков в изображение //Труды научной годичной конференции Российско-Армянского (Славянского) государственного университета. - Ереван, 2006. - Т.1. - С. 87-90.
5. Podilchuk C I., Zeng W. Image-adaptive watermarking using visual models //IEEE Journal of Selected Areas in Communication. – 1998. - 16(4). – P. 525-539.
6. Chang-Hsing Lee, Yeuan-Kuen Lee. An Adaptive Digital Image Watermarking Technique for Copyright Protection // IEEE Transactions on Consumer Electronics. – 1999. - V. 45, № 4. - P. 1005-1015.
7. Asatryan D.G., Lanina N.S., Shahverdyan H.S. Adaptive Robust Algorithm for Digital Watermarking of Medical Images //Proc. of 6th Int. Conf. on Computer Science and Information Technologies - CSIT'2007. - Yerevan, 2007. - P. 161-164.

Институт проблем информатики и автоматизации НАН РА, Государственный инженерный университет Армении, Российско-Армянский (Славянский) университет. Материал поступил в редакцию 11.09.2008.

Դ.Գ. ԱՍԱՏՐՅԱՆ, Հ.Ս. ՇԱՀՎԵՐԴՅԱՆ, Ն.Ս. ԱՍԱՏՐՅԱՆ

ՊԱՏԿԵՐԻ ՊԱՇՏՊԱՆՈՒԹՅԱՆ ԹՎԱՅԻՆ ԿԱՅՈՒՆ ԱԼԳՈՐԻԹՄ

Դիտարկվել է բազմամիջավայր ինֆորմացիան չարտոնված ձեռքբերումից և օգտագործումից թվային մեթոդներով պաշտպանելու խնդիր: Առաջարկված է ալգորիթմ՝ հիմնված պատկերի տարածական տիրույթում թվային ջրանիշի ներդրման և արտածման վրա: Ստացվել է պատահական աղմուկի առկայությամբ ներդրման գործառման հետևանքով առաջացած միջին քառակուսային սխալի անալիտիկ արտահայտություն՝ կախված պատկերների, ներդրման ալգորիթմի և աղմուկի բնութագրերից: Մոդելավորման եղանակով հետազոտվել է առաջարկված ալգորիթմի կայունությունը պատահական բնույթի հարձակման դեպքում, ինչպես նաև JPEG ստանդարտով պատկերի սեղմման արդյունքում:

Առանցքային բառեր. պատկերի պաշտպանություն, թվային ջրանիշ, հարձակում, կայունություն, ինֆորմացիայի սեղմում:

D.G. ASATRYAN, H.S. SHAHVERDYAN, N.S. ASATRYAN

DIGITAL ROBUST ALGORITHM FOR IMAGE PROTECTON

A problem of multimedia information protection on illegal access and use is considered. Algorithm for embedding and extracting a watermark in the space-domain of an image is proposed. A formula for mean-square-error connected with the watermark embedding procedure depending on characteristics of the images, procedure, and attack is obtained. The robustness of proposed algorithm to a random attack and compression of an image by JPEG standard is investigated.

Keywords: information protection, digital watermark, attack, information compression, robustness.

Հ.Ա. ԳՈՄՅՅԱՆ, Լ.Դ. ՀՈՒՄԻԿՅԱՆ

**ԲԶԶԱՅԻՆ ԿԱՊԻ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ԴԵՏԵՐՄԻՆԱՏԱԿԱՆ ԵՎ
ՀԱՎԱՆԱԿԱՆԱՅԻՆ ՄՈԴԵԼՆԵՐԻ ՀԱՄԱՐԺԵՔՈՒԹՅԱՆ
ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆԸ**

Մշակված մաթեմատիկական մոդելի օգնությամբ մոդելավորվում է բջջային կապի համակարգի (ԲԿՀ) կառուցվածքային հիերարխիայում կապուղիների քանակի ֆունկցիոնալ կախումը բջջային բաժանորդների քանակից: Կատարվում է ԲԿՀ-երի դետերմինիստական և հավանականային մոդելների համարժեքության վերլուծություն: Վերլուծվում են յուրաքանչյուր որոշման ազդեցության հետևանքները համակարգի բնութագրերի վրա, ինչը հնարավորություն է տալիս նախագծման նախնական փուլում կայացնել հիմնավորված որոշումներ:

Առանցքային բառեր. մոդել, կապուղի, հիերարխիա, պահանջարկի ֆունկցիա, բաշխման խտություն, հավանականություն:

Համակարգի դետերմինիստական մոդելի վերլուծությունը. Դետերմինիստական մոդելում, որպես հիմնական առնչություն, օգտագործվում է կապուղիների քանակի կախվածությունը տարրերի քանակից $m(N)$ [1]: Կապվածության դետերմինիստական մոդելը իրական համակարգի նկարագրման ամենակոպիտ մոտավորությունն է: Ինչպես ցույց են տալիս համակարգի վիճակագրական ուսումնասիրությունները, ընդհանուր դեպքում նույն N քանակությամբ տարրերի կապուղիներն իրարից տարբերվում են [2]: Դա նշանակում է, որ կախվածությունը ճիշտ է միայն m -ի միջինացված արժեքների համար: Սակայն դետերմինիստական մոդելն աչքի է ընկնում իր պարզությամբ և ավելի մեծ թվով գործնական խնդիրների ընդգրկումով:

Վերլուծության համար ամբողջ համակարգը տրոհենք որոշակի կառուցվածքային մակարդակների կամ տարածքային գոյակցությունների: Համակարգի առանձին մասեր գտնվում են հիերարխիկ ենթակայության մեջ [3,4]:

Առաջին մոտավորությամբ ԲԿՀ-ը տրոհենք հետևյալ ենթամակարդակների.

1. համակարգի զրոյական մակարդակի տարրեր՝ բաժանորդներ (բջջային հեռախոսներ),

2. համակարգի բջջային տարածքներ (բջիջներ), որոնք կարող են սպասարկել առավելագույնը $N_{բջ}$ քանակությամբ բաժանորդների,

3. համակարգի բջջային տարածքները սպասարկող բազային կայաններ, որոնք սպասարկում են $N_{բտ}$ քանակությամբ բջջային տարածքների:

Նշված ենթահամակարգերի գրաֆիկական մոդելները բերված են նկ.1-ում:

Մեկ բջջային տարածքում կապուղիների առավելագույն թիվը տեսականորեն ընդունենք $m_{բջ}$, որը կարող է սպասարկել այդ տարածքի $N_{բջ}$ քանակով բաժանորդներ:

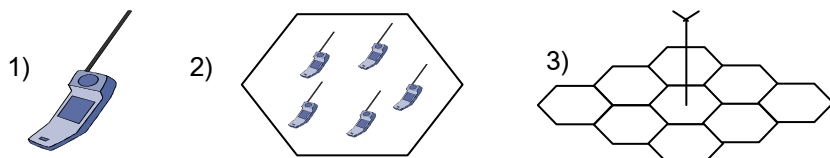
րի: Մեկ բազային կայանի կապուղիների առավելագույն քանակը $m_{բկ}$ է, որը սպասարկում է $N_{բտ}$ քանակությամբ բջջային տարածքների:

Կապուղիների m_i քանակը, կախված բջջային տարածքների տարբեր կառուցվածքային մակարդակների միավորների քանակից, միջինում բնութագրվում է հետևյալ ֆունկցիայով [3-5]՝

$$m_i = m_{i-1} N_{i-1}^{\alpha}, \quad (1)$$

որտեղ m_i -ն i -րդ հիերարխիկ մակարդակում կապուղիների միջին քանակն է, m_{i-1} -ն՝ $(i-1)$ -րդ հիերարխիկ մակարդակի տարբեր կապուղիների միջին քանակը, N_{i-1} -ն՝ տվյալ $i-1$ հիերարխիկ մակարդակում գտնվող տարբեր քանակը, որոնք տեղաբաշխված են i -րդ մակարդակում, α -ն՝ գործակից, որի արժեքը գտնվում է $0,3...0,8$ միջակայքում [1]:

Տարբեր ասելով հասկանում ենք կամ բաժանորդներ (բջջային հեռախոսներ), կամ բջջային տարածքներ (բջիջներ), կամ բազային կայաններ՝ կախված այն բանից, թե որ տարածքային կառուցվածքային միավորն ենք դիտարկում:



Նկ.1. Բջջային կապի համակարգի տարածական մոդելը

Այժմ ուսումնասիրենք և վերլուծենք ցանկացած տարածքային կառուցվածքային միավորի կապուղիների քանակի և բջջային բաժանորդների քանակի լավագույն հարաբերակցությունը:

Նկ. 2-ում պատկերված է մեկ բջջային տարածքում կապուղիների m քանակի կախումը նրա ազդեցության դաշտում գտնվող բաժանորդների N քանակից: Այս կախվածությունը ստացվել է վիճակագրական տվյալների մշակման արդյունքում [1]:

Ուսումնասիրվող համակարգի (m, N) դաշտում ընտրվել է որևէ աշխատանքային A կետ, որն ունի (m, N) կոորդինատները, որտեղ m -ը ցույց է տալիս համակարգում կապուղիների պահանջվող քանակը, իսկ N -ը՝ տվյալ բջջային տարածքում գտնվող բաժանորդների (բջջային հեռախոսների) քանակը [5]:

Հնարավոր են A կետի և $m(N)$ կորի փոխադարձ դասավորման երեք դեպք.

1. Երբ A կետը գտնվում է $m(N)$ կորից ներքև՝ $A(N_{1բջ}, m_1)$ (նկ.2): Դա նշանակում է, որ մեր բջջային տարածքում կան $N_{1բջ}$ քանակությամբ բաժանորդներ, որոնք ուզում են կապի մեջ մտնել, բայց բջջային տարածքում կապուղիների առավելագույն քանակը հավասար է m_1 -ի, այսինքն՝ բջջային տարածքը կարող է սպասարկել միայն $N_{2բջ}$ քանակի բաժանորդների (ըստ կապուղիների պահանջարկի

$m(N)$ ֆունկցիայի): Իսկ բջջային տարածքում $(N_{1p2} - N_{2p2})$ քանակի բաժանորդներ չեն կարող սպասարկվել, քանի որ կապուղիները չեն բավարարում: Իրականում մեր բջջային տարածքը կարող է սպասարկել միայն N_{2p2} քանակով բաժանորդների:

Այժմ գնահատենք համակարգի բնութագրերը.

Բջջային տարածքների քանակը համակարգում՝

$$N_{\text{բս}} = \frac{N_0}{N_{2p2}} = \frac{N_0}{\left(\frac{m_1}{m_{p2}}\right)^{\frac{1}{\alpha}}}, \quad (2)$$

որտեղ m_{p2} -ն մեկ բջջային հեռախոսի զբաղեցրած կապուղիների միջին քանակն է,

N_0 -ն՝ այն բոլոր բաժանորդների քանակը, որը սպասարկում է ԲԿՀ-ը [3,4]:

Մեկ բջջային տարածքում կապը չիրականացրած բաժանորդների քանակը՝

$$\Delta N_{p2} = (N_{1p2} - N_{2p2}) = \left[N_{1p2} - \left(\frac{m_1}{m_{p2}}\right)^{\frac{1}{\alpha}} \right]: \quad (3)$$

Մեկ բազային կայանի ազդեցության դաշտում կապը չիրականացրած բաժանորդների քանակը՝

$$\Delta N = \Delta N_{p2} \cdot N_{\text{բս}} = (N_{1p2} - N_{2p2}) N_{\text{բս}} = \left[N_{1p2} - \left(\frac{m_1}{m_{p2}}\right)^{\frac{1}{\alpha}} \right] \cdot \frac{N_0}{\left(\frac{m_1}{m_{p2}}\right)^{\frac{1}{\alpha}}}: \quad (4)$$

Օգտագործված կապուղիների քանակը համակարգում՝

$$M = m_1 \cdot N_{\text{բս}} = m_1 \cdot \frac{N_0}{N_{2p2}} = m_1 \cdot \frac{N_0}{\left(\frac{m_1}{m_{p2}}\right)^{\frac{1}{\alpha}}}: \quad (5)$$

Համակարգի բջջային կապի բաժանորդների օգտագործելիության գործակիցը՝

$$k = \frac{N_0}{N_{1p2} N_{\text{բս}}} = \frac{N_0}{N_{1p2} \cdot \frac{N_0}{N_{2p2}}} = \frac{N_{2p2}}{N_{1p2}} = \frac{\left(\frac{m_1}{m_{p2}}\right)^{\frac{1}{\alpha}}}{N_{1p2}}: \quad (6)$$

2. Երբ A կետը գտնվում է $m(N)$ կորից վերև $A(N_{2բջ}, m_2)$ (նկ.2): Այս դեպքում ընտրված է բջջային տարածքի կապուղիների բավականին մեծ քանակ և լրիվ բավարարում է այդ բջիջում գտնվող $N_{2բջ}$ բաժանորդներին: Սակայն այս դեպքում չեն օգտագործվում $(m_2 - m_1)$ քանակի կապուղիները, քանի որ $N_{2բջ}$ քանակությամբ բաժանորդներին անհրաժեշտ է m_1 քանակի կապուղի, ըստ կապուղիների պահանջարկի ֆունկցիայի:

Համակարգում բջջային տարածքների քանակը որոշվում է (2) բանաձևով:

Համակարգում չօգտագործված կապուղիների ընդհանուր քանակը՝

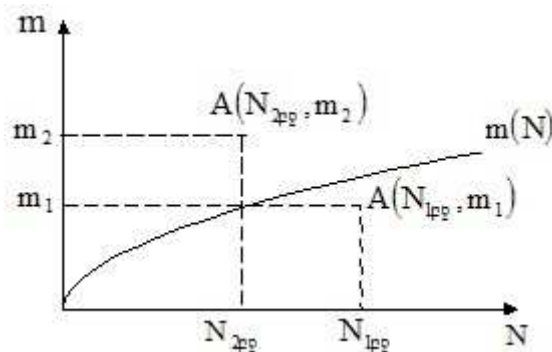
$$\Delta M = (m_2 - m_1) \cdot N_{բս.} = (m_2 - m_1) \cdot \frac{N_0}{N_{2բջ}} = (m_2 - m_0 N_{բջ}^{\alpha}) \cdot \frac{N_0}{N_{2բջ}}, \quad (7)$$

որտեղ $m_1 = m_0 N_{բջ}^{\alpha}$ -ը մեկ բջջում կապուղիների քանակն է:

Համակարգում օգտագործված կապուղիների քանակը՝

$$M_0 = m_1 \cdot N_{բս.} = m_1 \cdot \frac{N_0}{N_{2բջ}}: \quad (8)$$

Այս դեպքում համակարգի բջջային բաժանորդների օգտագործելիության գործակիցը տեսականորեն հավասար կլինի մեկի, այսինքն՝ ցանկացած բաժանորդ ժամանակի ցանկացած պահին կարող է կապն իրականացնել: Թերությունը՝ համակարգում չի օգտագործվում $(m_2 - m_1)$ քանակությամբ կապուղի:



Նկ. 2. Մեկ բջջային տարածքում կապուղիների m քանակի կախումը նրա ագրեցության դաշտում գտնվող բջջային բաժանորդների N քանակից

3. Երբ A կետը գտնվում է $m(N)$ կորի վրա: Այս դեպքում բջջային տարածքի կապուղիների քանակը բավարար է, և բջջային բաժանորդների կապերը լրիվ իրագործվում են:

Նկարագրված վերլուծությունից կարելի է եզրակացնել, որ (m, N) դաշտում պարամետրերն ընտրելիս A կետը պետք է միշտ վերցնել կապուղային պահանջարկի ֆունկցիայի կորի վրա: Կապուղիների թողունակության ավելորդ մեծացումը

հանգեցնում է համակարգի սարքավորումների քանակի ավելորդ մեծացմանը և համակարգի թանկացմանը, իսկ անբավարարությունը՝ նրան, որ բջջային տարածքների մի մասը հնարավոր չի լինում սպասարկել, քանի որ կապուղիները չեն բավարարում բաժանորդների միջև կապ իրականացնելու համար: Այդ դեպքում միննույն բաժանորդային համակարգն իրագործելու համար անհրաժեշտ են ավելի շատ թվով բջջային տարածքներ և բազային կայաններ, որը հանգեցնում է ԲԿՀ-ի նախագծման աշխատանքների մեծացմանը և թանկացմանը [6]:

Սովորաբար համակարգը նկարագրվում է ոչ թե մեկ, այլ մի քանի $m(N)$ կորերով և, կախված այն բանից, թե A կետն ինչ դիրք ունի այդ կորերի նկատմամբ, վերլուծության ժամանակ օգտագործվում է համապատասխան մոտեցում:

Համակարգի հավանականային մոդելի վերլուծությունը. ԲԿՀ-ի կամայական մակարդակում կապուղիների թիվն ընդհանուր դեպքում ոչ թե որևէ թիվ է, այլ պատահական մեծություն, որը կարելի է ուսումնասիրել վիճակագրական տվյալների միջոցով:

Դրա համար անհրաժեշտ է ԲԿՀ-ի տարածական միավորի մոդելից ընտրել խմբեր, որոնք պարունակում են N_1 պատահական թվով տարրեր և որոշել դրանցից դուրս եկող պատահական թվով կապուղիների բաշխման ֆունկցիան կամ $f(m, N_1)$ խտությունը:

Քանի որ նույն փորձը կարելի է կատարել N -ի իրար շատ մոտ արժեքների համար, ապա համապատասխան բաշխման խտությունները կկազմեն մի մակերևույթ, որի հավասարումը կլինի՝ $f(m, N)$: Այդ մակերևույթի հատումը $m = m_1 = \text{const}$ հարթության հետ կլինի հաստատուն m_1 թվով կապուղիներ ունեցող խմբերում տարրերի պատահական թվի բաշխման խտությունը $f(N, m_1)$ (նկ.3):

Բաշխման խտությունների մաքսիմումների պրոյեկցիաների երկրաչափական տեղը m, N հարթության վրա կլինի կապուղիների միջին $\overline{m}$ մեծության կախումը N -ից (նկ. 3-ում՝ $\overline{m} = f(N)$ ֆունկցիան): Դետերմինիստական մոդելում դրան համապատասխանում է $m(N)$ կորը [4]:

Այսպիսով, տարրերի հավանականային կախվածության մաթեմատիկական մոդելը $f(m, N)$ մակերևույթն է:

Պահպանելով դետերմինացված մոտեցման նշանակումները, վերլուծենք բջջային տարրերի N' և կապուղիների քանակի m' ազդեցությունը համակարգի կառուցվածքային պարամետրերի վրա:

Նկ.4-ում ցույց են տրված $f(m, N)$ մակերևույթի հատույթները N' և m' անփոփոխ արժեքների դեպքում:

Ստացված $f(m, N')$ և $f(N, m')$ բաշխման կորերը պետք է բավարարեն նորմավորման պահանջը [7]՝

$$\int_0^{\infty} f(m, N') dm = \int_0^{\infty} f(N, m') dN = 1: \quad (9)$$

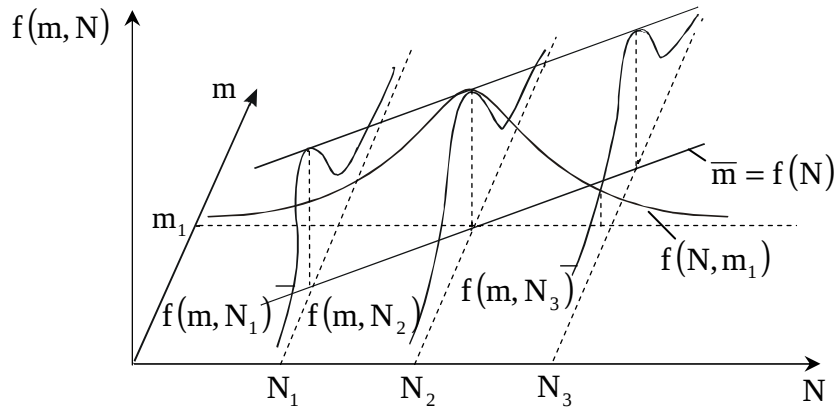
ԲԿՀ-ի տվյալ մակարդակում տարրերի ընդհանուր քանակը ներկայացնենք հետևյալ արտահայտությամբ՝

$$N_0 = N_0 \int_0^{\infty} f(N, m') dN : \quad (10)$$

Եթե գրված արտահայտության աջ մասի ինտեգրալը տրոհենք երկու բաղադրիչների, կստանանք՝

$$N_0 = N_0 \int_0^{N'} f(N, m') dN + N_0 \int_{N'}^{\infty} f(N, m') dN : \quad (11)$$

(11)-րդ արտահայտության աջ մասի առաջին անդամն այն տարածքային կառուցվածքային միավորների քանակն է, որոնցում կապուղիներն ամբողջությամբ չեն օգտագործվում, իսկ երկրորդը՝ որոնցում կապուղիներն ամբողջությամբ օգտագործվել են:



Նկ. 3. $f(m, N)$ մակերևույթի հատույթները N_1, N_2, N_3 արժեքների դեպքում

Այսպիսով՝ բազային կայանների թիվը, որտեղ բոլոր կապուղիներն օգտագործվել են՝

$$Q_{\text{ոգ}} = \frac{N_0}{N'} \cdot \int_{N'}^{\infty} f(N, m') dN : \quad (12)$$

Այն բազային կայանների քանակը, որոնց կապուղիները լրիվ չեն օգտագործվել՝

$$Q_{\text{չոգ}} = \frac{N_{\text{չոգ}}}{N_{\text{դ}}} , \quad (13)$$

որտեղ $N_{\text{չոգ}}$ -ը այն տարածքային կառուցվածքային միավորների քանակն է, որոնցում կապուղիները լրիվ չեն օգտագործվել, իսկ $N_{\text{դ}}$ -ը տարրերի քանակի միջին արժեքն է այն տարածքային կառուցվածքային մակարդակում, որտեղ կապուղիները ամբողջությամբ չեն օգտագործվել:

$N_{\text{գ}}$ -ը որոշելու համար պետք է օգտվել $f(N, m')$ բաշխման խտության N' կետից ձախ գտնվող մասից (նկ. 4):

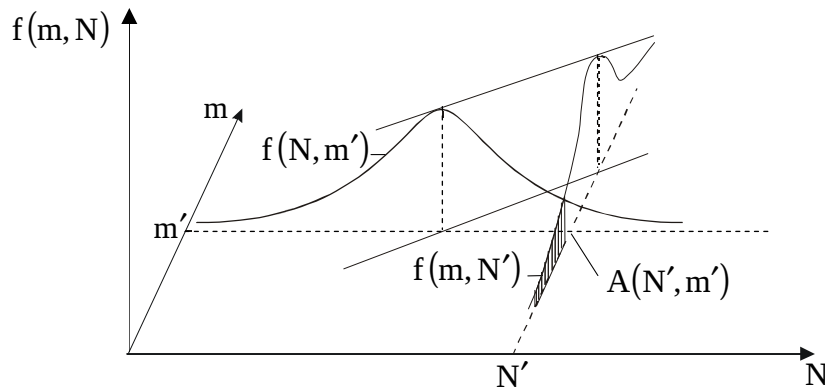
Այսպիսով, $N_{\text{գ}}$ -ի որոշումը հանգում է N պատահական մեծության միջինի որոշմանը $[0 \div N']$ միջակայքում՝ ըստ $f(N, m')$ բաշխման խտության:

$N_{\text{գ}}$ -ը կարելի է որոշել հետևյալ բանաձևով՝

$$N_{\text{գ}} = \frac{\int_0^{N'} N \cdot f(N, m') dN}{\int_0^{N'} f(N, m') dN}, \quad (14)$$

ինչը տեղադրելով (13) արտահայտության մեջ՝ կունենանք.

$$Q_{\text{չօգ}} = N_0 \cdot \left[\frac{\left[\int_0^{N'} f(N, m') dN \right]^2}{\int_0^{N'} N \cdot f(N, m') dN} \right]: \quad (15)$$



Նկ. 4. $f(m, N)$ մակերևույթի հատույթները N' և m' անփոփոխ արժեքների դեպքում

Այսպիսով, բազային կայանների ընդհանուր քանակը՝

$$Q = Q_{\text{օգ}} + Q_{\text{չօգ}},$$

$$Q = \frac{N_0}{N'} \int_{N'}^{\infty} f(N, m') dN + N_0 \frac{\left[\int_0^{N'} f(N, m') dN \right]^2}{\int_0^{N'} N \cdot f(N, m') dN} : \quad (16)$$

Համակարգի բաժանորդների օգտագործելիության գործակիցը՝

$$k_{\text{օգ}} = \frac{N_0}{N' \cdot Q} : \quad (17)$$

Համակարգում չօգտագործված տարածքային կառուցվածքային միավորների քանակը՝

$$\Delta N = Q_{\text{չօգ}} \cdot (N' - N_{\text{ս}}) : \quad (18)$$

Մեկ բջջային տարածքի միավորի օգտագործված կապուղիների միջին թիվը՝

$$m_{\text{ս}} = \frac{\int_0^{m'} m \cdot f(m, N') dm}{\int_0^{m'} f(m, N') dm} : \quad (19)$$

Համակարգում օգտագործված կապուղիների ընդհանուր քանակը՝

$$\begin{aligned} M_0 &= M_{\text{օգ}} + M_{\text{չօգ}} = Q_{\text{օգ}} m_{\text{ս}} + Q_{\text{չօգ}} m' = \\ &= \frac{\frac{N_0}{N'} \int_{N'}^{\infty} f(N, m') dN \cdot \int_0^{m'} m \cdot f(m, N') dm}{\int_0^{m'} f(m, N') dm} + N_0 m' \frac{\left[\int_0^{N'} f(N, m') dN \right]^2}{\int_0^{N'} N \cdot f(N, m') dN} : \quad (20) \end{aligned}$$

Կատարված վերլուծությունը թույլ է տալիս ԲԿՀ-ի նախագծման նախնական փուլում գնահատել համակարգի յուրաքանչյուր տարածքային կառուցվածքային մակարդակում կապուղիների քանակի և տվյալ տարածքային կառուցվածքային մակարդակի տարրերի միջև հարաբերակցությունը:

Մշակված մոդելի օգնությամբ ԲԿՀ-ի նախագծման վաղ փուլում կարելի է գնահատել և հիմնավորել կայացված որոշման հետևանքները:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Հոսիկյան Դ.Հ., Առուստամյան Վ.Ե., Ջաղինյան Կ.Ռ.** Բջջային հեռախոսային համակարգերի կապուղիների թողունակության մոդելավորումը // ՀՊՃՀ տարեկան գիտաժողովի նյութերի ժողովածու. - Երևան, 2001. - Հատոր 2. - էջ 441-442:
2. **Ершов В.А., Ершова Э.Б., Гусев В.Н.** Методика расчета числа радиотехнических каналов в транкинговых сетях связи // Мобильные системы. -1997. - N2. - С.39-43.

3. **Հուսիկյան Լ.Դ., Հայրապետյան Ա.Ա.** Բջջային կապի կապուղիների մոդելավորումը // Տեղեկատվական տեխնոլոգիաներ: Միջազգային երիտասարդական գիտաժողովի նյութերի ժողովածու. - Երևան, 2005. - էջ 27-31:
4. **Гомцян О.А., Усикян Л.Д.** Моделирование структуры иерархии мобильных систем // Труды 8-й Международной научно-практической конференции "Современные информационные и электронные технологии". - Одесса, Украина, 2007. - С. 248.
5. **Gomtsyan H.A., Husikyan L.D.** The analysis and estimation of the unused opportunities of channels of mobile telephone system// Proceedings of the 6th international conference "Computer Science and Information Technologies". – Yerevan, 2007. - P.299-300.
6. **Васин В.А., Калмыков В.В., Себекин Ю.Н., Сенин А.И., Федоров И.Б.** Радиосистемы передачи информации. – М.: Горячая линия – Телеком, 2005. – 472с.
7. **Розанов Ю.А.** Случайные процессы. – М.: Наука, 1971. – 286с.

ՀՊՃՀ. Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 14.06.2008:

Օ.Ա. ГОМЦЯН, Л.Д. УСИКЯН

АНАЛИЗ АДЕКВАТНОСТИ ДЕТЕРМИНИСТИЧЕСКОЙ И ВЕРОЯТНОСТНОЙ МОДЕЛЕЙ СОТОВОЙ СИСТЕМЫ СВЯЗИ

С помощью разработанной математической модели в структурной иерархии сотовой системы связи моделируется функциональная зависимость количества каналов от числа мобильных абонентов (телефонов). Проведен анализ адекватности детерминистической и вероятностной моделей системы. Анализируются последствия влияния каждого решения на характеристики системы, что позволяет осуществить обоснованные решения на предварительном этапе проектирования.

Ключевые слова: модель, канал, иерархия, функция потребления, плотность распределения, вероятность.

O.A. GOMTSYAN, L.D. HUSIKYAN

ANALYSIS OF DETERMINISTIC AND STOCHASTIC ADEQUACY MODELS OF THE CELLULAR COMMUNICATION SYSTEM

The functional dependence of the number of channels on the number of mobile users in the structural hierarchy of cellular communication system with the help of a developed mathematical model is simulated. The adequacy analysis of deterministic and stochastic system models is made. Consequences of each decision action on system characteristics that allows to carry out the proved decisions at a preliminary design stage are analyzed.

Keywords: model, channel, hierarchy, consumption function, density distribution function, probability.

Г.Б. БАГДАСАРЯН, С.С. АЙРУМЯН

**ВНУТРЕННЕЕ ТРЕНИЕ КАК ПАРАМЕТР ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ
МАТЕРИАЛА ПОСЛЕ РЕЗАНИЯ**

Исследуется внутреннее трение как параметр оценки состояния материала после резания. Показано, что внутреннее трение является наиболее структурно-чувствительной характеристикой материала, что делает его особенно ценным при изучении изменений в случае обработки материалов резанием.

Ключевые слова: внутреннее трение металлов, рассеяние энергии, коэффициент поглощения (затухания), относительная вязкость, относительное рассеивание энергии, логарифмический декремент колебаний, угол сдвига фазы.

Известно, что колебания, искусственно созданные в твердом теле, с течением времени затухают, упругая энергия колебаний рассеивается, превращаясь в тепловую энергию. Внутреннее трение – это механизм превращения упругой энергии в тепловую.

Величина рассеиваемой энергии обработанной поверхности зависит не только от формы и размера твердого тела, но и от внутренней структуры материала и физико-механического состояния обрабатываемого материала. Рассеиваемую энергию можно изучить оптическим, рентгенографическим и другими способами. Величину рассеянной энергии можно изучить также методом внутреннего трения. Измерения величины внутреннего трения позволяют с высокой точностью определить:

- дефекты атомной структуры данного материала;
- величину коэффициента диффузии;
- изменение дислокационного состояния материала (старение) после термообработки;
- величину сверхтвердости материалов, их демпфирующее состояние при длительном резании.

Внутреннее трение является важной структурно-чувствительной характеристикой материала, что делает его особенно ценным для изучения изменений структуры при обработке материалов резанием. Оно зависит от температуры резания, пластической деформации при обработке металлов, шероховатости поверхности при резании и т.д.

Таким образом, внутреннее трение имеет особое практическое значение при оценке влияния величины рассеянной энергии на показатели резания материалов.

В качестве меры внутреннего трения применяют различные величины, например, энергию, рассеиваемую в единице объема испытуемого образца за единицу времени (с):

$$W = \sigma \varepsilon, \text{ Дж/с}, \quad (1)$$

где σ - напряжение в образце; ε - деформация.

Однако обычно пользуются безразмерными величинами.

Характеристикой внутреннего трения является величина

$$\psi = \Delta W / W, \quad (2)$$

где $\Delta W = \frac{2\pi}{\omega} \int \sigma \varepsilon dv$ - энергия, рассеиваемая за цикл; $W = \frac{1}{2} \int \sigma_0 \varepsilon_0 dv$ - энергия колебаний всего образца, отвечающая амплитудным значениям напряжения и деформации.

Величину ψ называют по-разному, чаще всего - коэффициентом поглощения (затухания) или относительной вязкостью, а также относительным рассеиванием энергии [1].

Механическая добротность системы определяется в виде

$$Q = 2\pi W / \Delta W, \quad Q = 2\pi / \psi. \quad (3)$$

Часто за единицу измерения внутреннего трения принимается величина Q^{-1} , которая обратна добротности.

Для свободных затухающих колебаний образца имеем

$$\psi = -2 \int_t^{t+T} \frac{d\varepsilon_0(t)}{\varepsilon_0(t)} = 2 \ln \frac{\varepsilon_0(t)}{\varepsilon_0(t+T)} = 2 \ln \frac{\varepsilon_n}{\varepsilon_{n+1}} = 2\delta, \quad (4)$$

где $\delta = \ln \frac{\varepsilon_n}{\varepsilon_{n+1}}$ - логарифмический декремент колебаний или затухающих колебаний.

Иногда измерение соседних амплитуд не всегда представляется возможным. Поэтому логарифмический декремент усредняют по определенному числу колебаний:

$$\delta = \frac{1}{n} \ln \frac{\varepsilon_n}{\varepsilon_{n+1}}, \quad (5)$$

где n - число колебаний.

Иногда логарифмический декремент усредняют по времени:

$$\delta = \frac{\ln 2}{n} = \frac{\ln 2}{f_0 t_n}, \quad (6)$$

где t_n - время, в течение которого амплитуда колебаний уменьшается вдвое. Тогда

$$\frac{\delta}{\pi} = \frac{\ln 2}{\pi n} = \frac{0,220}{n}. \quad (7)$$

Уравнение (7) используется на практике при измерении внутреннего трения методом затухающих колебаний.

Следовательно, между коэффициентом поглощения и логарифмическим декрементом существует простое соотношение, т.е.

$$\psi = 2\delta. \quad (8)$$

В качестве меры внутреннего трения при вынужденных колебаниях применяют величину

$$B = \Delta v / v_0, \quad (9)$$

где Δv - полуширина резонансного пика; v_0 - резонансная частота образца.

Для линейной системы:

$$B = \frac{\sqrt{3}}{2\pi} \psi. \quad (10)$$

При деформации реального тела всегда наблюдается отставание по фазе деформации от напряжения на некоторый угол φ .

Между энергией рассеяния за цикл и углом сдвига фазы существует связь: при $\cos \varphi = 1 - \psi = 2\pi \sin \varphi$; при $\cos \varphi \neq 1 - \psi = 2\pi \operatorname{tg} \varphi$.

Связь между $\operatorname{tg} \varphi$ и величинами α , β следующая:

$$\operatorname{tg} \varphi \approx \frac{2\alpha}{\beta} = \frac{2\alpha c}{\omega}, \quad (11)$$

где α - коэффициент затухания ультразвуковой волны; β - фазовая постоянная, c - скорость распространения волны. Учитывая, что $c = \lambda v$, имеем

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\lambda \alpha}{\pi}. \quad (12)$$

Связь между различными мерами внутреннего трения следующая:

$$Q^{-1} = \frac{\Delta W}{2\pi W} \approx \operatorname{tg} \varphi = \frac{\psi}{2\pi} = \frac{\delta}{\pi} = \frac{B}{\sqrt{3}} = \frac{\lambda \alpha}{\pi} = \frac{1}{\pi n} \ln \frac{\epsilon_n}{\epsilon_{n+1}}. \quad (13)$$

Эта связь дает возможность сравнивать между собой данные, полученные в различных экспериментах при различных частотах с использованием разных мер внутреннего трения.

Необходимо учесть, что связь (13) нарушается при $\operatorname{tg} \varphi > 0,1$ и зависит от механизма рассеяния энергии.

Выводы. Внутреннее трение является наиболее структурно-чувствительной характеристикой материала, что делает его особенно ценным для изучения изменений при обработке материалов резанием. В качестве меры внутреннего трения применяют различные величины, но обычно пользуются безразмерными величинами. При этом часто в качестве единицы измерения внутреннего трения применяется величина Q^{-1} , которая обратна добротности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Хильчевски В.В., Дубенец В.Г.** Несовершенная упругость материалов при сложных колебаниях. – Киев: Вища школа, 1991. - 158 с.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 17.07.2008.

Հ.Բ. ԲԱԴԴԱՍԱՐՅԱՆ, Ս.Ս. ՀԱՅՐՈՒՄՅԱՆ

ՆԵՐՔԻՆ ՇՓՈՒՄԸ ՈՐՊԵՍ ՆՅՈՒԹԻ ՎԻՃԱԿԻ ԳՆԱՀԱՏՄԱՆ ՊԱՐԱՄԵՏՐ
ԿՏՐՈՒՄԻՑ ՀԵՏՈ

Հաստատվել է, որ ներքին շփումը նյութի կառուցվածքագրայուն բնութագիրն է, որը նրան դարձնում է առավել արժեքավոր՝ մետաղների կտրմամբ մշակման ժամանակ վերջիններիս կառուցվածքային փոփոխությունների ուսումնասիրման համար: Հաստատվել է, որ որպես ներքին շփման չափման միավոր օգտագործվում են անչափ մեծություններ և հաճախ որպես ներքին շփման չափման միավոր օգտագործվում է Q^{-1} մեծությունը, որը հակադարձ համեմատական է բարորակությանը:

Առանցքային բառեր. մետաղների ներքին շփում, էներգիայի ցրում, կլանման (մարման) գործակից, հարաբերական մածուցիկություն, էներգիայի հարաբերական ցրում, տատանման լոգարիթմական դեկրեմենտ, փուլի սահքի անկյուն:

G.B. BAGHDASARYAN, S.S. HAYRUMYAN

INTERNAL FRICTION AS A PARAMETER OF MATERIAL STATE
ESTIMATION AFTER CUTTING PROCESS

An internal friction as a parameter of material state estimation after cutting process is studied. It is shown that the internal friction is the most structurally sensitive characteristics of material which makes it especially valuable for studying changing in this structure when the material is machined by cutting.

Keywords: internal friction of materials, energy scattering, consumption coefficient, relative viscosity, relative energy scattering, logarithmic decrement of oscillations, phase shift angle.

З.А. БАБАЯН, Э.Л. ИГНАТЯН

КОНТРОЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЛИНЕЙНЫХ РАЗМЕРОВ ПРИРОДНЫХ КАМЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ ОТ НАНОМЕТРОВОГО ДО МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНОВ

Описаны контрольная установка и компьютерная программа для измерения параметров геометрических размеров природных каменных материалов от нанометрового до миллиметрового диапазонов.

Ключевые слова: контрольная установка, параметр линейных размеров, интерференционная картина.

В «НП и П» «Камень и силикаты» РА разрабатывается контрольная установка для измерения параметров шероховатости $R_{\max}$, R_z и R_a и аттестации образцовых мер в диапазоне 0,025...2000 мкм. В основу установки положены принципы, изложенные в [1]. Изготовленный экспериментальный образец установки находится на стадии исследования и доработки.

Созданы специальные компьютерные программы и представлена концепция их применения для обработки изображения интерференционных картин и определения основных параметров геометрических размеров $R_{\max}$, R_z и R_a . Для тестирования программного обеспечения построены эталонные цифровые компьютерные изображения интерференционной картины нескольких типов идеализированных профилей поверхности мер шероховатости, параметры которых могут быть предварительно рассчитаны с высокой точностью.

В первом поддиапазоне параметры шероховатости $R_{\max}$, R_z и R_a определяют после обработки предварительно полученных на установке цифровых изображений интерференционных картин поверхности аттестуемых мер при их освещении лазерным излучением; во втором поддиапазоне – по результатам измерений на интерференционной установке глубины канавок аттестуемой меры и по предварительно измеренным ширине канавок и расстояния между ними. В этом режиме работы цифровая камера установки работает как «web-камера», а поверхность меры освещается белым светом. Передача значения единицы длины – метра аттестуемой мере происходит через стабилизированный He-Ne-лазер интерферометра перемещений.

Определение параметров шероховатости $R_{\max}$, R_z и R_a в диапазоне 0,025...1,0 мкм. Эти параметры находят в соответствии с принятыми стандартами: $R_{\max}$ (наибольшая высота неровности профиля) – как расстояние между линиями выступов и впадин профиля в пределах базовой длины; R_z (высота неровности профиля по десяти точкам) – как сумму средних абсолютных значений высоты пяти наибольших выступов и глубины пяти наибольших впадин профиля в пределах базовой длины:

$$R_z = \left(\sum_1^5 |y_{i \max}| + \sum_1^5 |y_{i \min}| \right) / 5, \quad (1)$$

где $y_{i \max}$, $y_{i \min}$ – соответственно высота i -го наибольшего выступа и глубина i -й наибольшей впадины профиля; R_a – среднее арифметическое отклонение профиля как среднее арифметическое абсолютных значений отклонений профиля в пределах базовой длины:

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)dx| \quad \text{или} \quad R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|, \quad (2)$$

где y_i – ордината профиля; l – базовая длина.

Процесс обработки интерференционной картины заключается в определении профиля поверхности меры в пределах базовой длины и вычислении параметров размеров $R_{\max}$, R_z и R_a . При этом профиль поверхности меры определяют с использованием эталонного лазерного излучения в качестве масштаба длины волны. По измеренному профилю поверхности меры, при необходимости, могут быть вычислены и другие параметры геометрических размеров.

Обработка происходит в автоматизированном режиме после ввода в программу цифрового изображения интерференционной картины значения длины волны излучения, которое использовалось для получения интерференционного изображения, и значения базовой длины, определяющей участок обработки.

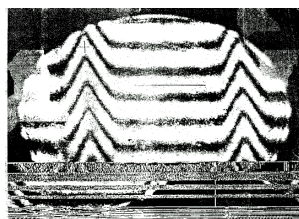


Рис. 1. Интерференционная картина глубины канавки меры с треугольным профилем

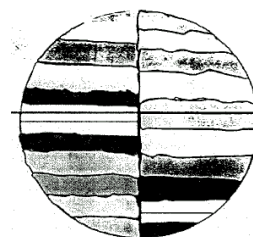


Рис. 2. Интерференционная картина поверхности меры и глубины канавки

В зоне установленной базовой длины программа определяет положение осевых линий двух расположенных рядом интерференционных полос и вычисляет масштаб интерференционной картины. Значения параметров $R_{\max}$, R_z и R_a рассчитываются по вычисленному профилю в зоне установленной базовой длины для различных интерференционных полос. Проверка программного обеспечения в рассматриваемом диапазоне проводится путем обработки эталонного цифрового изображения, имитирующего реальную интерференционную картину в микроинтерферометре. С этой целью для диапазона 5...1000 нм построены эталонные цифровые изображения интерференционной картины нескольких типов идеализированных профилей поверхности мер. Размеры и форма этих изображений выбраны из условий обеспечения высокой точности предварительного расчета имитируемых ими параметров размеров $R_{\max}$, R_z и R_a . При этом изображения интерференционной картины не участвуют в процессе измерений или калибровки установки, а лишь тестируют программу.

Построены эталонные цифровые изображения для мер с прямоугольными, треугольными (см., например, рис. 1), трапецеидальными и сферической формы канавками различной глубины. Геометрические размеры всех элементов изображения интерференционных полос рассчитаны в пикселах и построены с предельно возможной точностью (размер каждого из элементов в пикселах и его расположение равны расчетному числу пикселей). Длина волны света, имитирующей лазерное излучение микроинтерферометра, принята равной 600 нм.

В качестве примера рассмотрено одно из эталонных цифровых изображений, имитирующее реальное изображение от меры шероховатости с регулярным профилем, в котором расстояние между прямоугольными канавками одинаковой глубины равно ширине канавок.

Расчетное значение эталонного изображения: масштаб интерференционной картины, измеренный по первой и второй парам полос, одинаков и равен 0,6250 нм на 1 пиксел; $R_{\max} = R_z = 10$ нм, $R_a = 5$ нм. Получены следующие результаты его окончательной обработки: масштаб 0,6250 нм на 1 пиксел; глубина всех канавок одинакова и равна расчетному значению $R_{\max} = R_z = 10$ нм, параметр размеров $R_a = 4,981$ нм.

Определение параметров геометрических размеров $R_{\max}$, R_z и R_a в диапазоне 1,0 мкм ... 2 мм. В этом режиме работы микроинтерферометра для измерения глубины канавки использовали источник коллимированного белого света от лампы накаливания (передача значения единицы длины – метра происходит через стабилизированный He-лазер интерферометра перемещений).

Меру размеров располагали на предметном столике таким образом, чтобы в поле зрения микроскопа наблюдались интерференционные картины от поверхности меры и дна канавки. Упрощенное изображение наблюдаемого поля интерференционной картины приведено на рис. 2. В центре видимого участка изображения наблюдаемого поля интерференционной картины от поверхности меры или от дна канавки наблюдается белая ахроматическая полоса, по обеим сторонам которой находятся две черные полосы. Ахроматическая полоса возникает лишь при равенстве длин опорного и измерительного плеч интерферометра. Выше и ниже ахроматической полосы располагаются несколько цветных постепенно затухающих полос. При малой глубине канавки ахроматические полосы от дна канавки и от поверхности меры (сдвинутые вверх или вниз) одновременно видны в поле зрения микроскопа. Интерференционная картина при помощи видеокамеры отображается на мониторе. При этом ось ахроматической полосы, определяемая программой обработки, постоянно отображается в виде тонкой линии. Перемещение интерференционных картин в вертикальном направлении осуществляется специальным регулировочным устройством, изменяющим длину измерительного плеча микроинтерферометра.

Для измерения глубины канавки изменяют длину измерительного плеча микроинтерферометра, совмещая ось ахроматической полосы интерференционной картины от поверхности меры с отображаемой на мониторе неподвижной в поле зрения микроинтерферометра опорной горизонтальной линией. Момент совмещения этой оси полосы с горизонтальной линией является началом отсчета для интерферометра

перемещений. Далее, плавно изменяя длину измерительного плеча, совмещают ось ахроматической полосы от дна канавки меры с той же опорной горизонтальной линией. В момент совмещения фиксируются показания интерферометра перемещений, соответствующие измеряемой глубине канавки меры. Ширину канавки меры и расстояние между ними предварительно измеряют на измерительном микроскопе или другом измерительном устройстве и вводят в программу обработки измерений.

Программа определяет и отображает для предварительного просмотра профиль измеряемого участка меры и вычисляет параметры размеров R_{max} , R_z и R_a . Для проверки программного обеспечения в этом диапазоне измерений получены математические формулы, позволяющие вычислять параметр размеров R_a для основных видов профиля канавок мер размеров с регулярным профилем. Проверку проводят путем сравнения полученных программой результатов обработки с результатами математических вычислений параметра R_a по формулам (1) и (2).

Меры геометрических размеров. Для проведения исследований и работы в составе интерференционной установки изготовлены кремниевые меры шероховатости с регулярным профилем. Особенностью этих мер являются строго одинаковые на всей мере форма, шаг и размер трапецеидальных канавок. Эти меры размеров представляют собой плоские кремниевые пластинки 20(40)8 мм с равномерно расположенными в центре на участке 1,5(10 мм канавками. Канавки образованы методом фотолитографии. Угол среза пластинки по отношению к осям кристалла обеспечивает получение крутого равномерного склона канавки. На поверхность кремниевой пластинки и канавок нанесен тонкий слой хрома. Для удобства работы эти пластинки наклеены на металлические основания. На меру с двух сторон нанесены по четыре риска, помогающие определить оси X и Y и центр пластинки. Кремниевые меры изготовлены с номинальным значением глубины канавки 0,27 мкм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Wilkening G., Coenders L.** Nanoscale calibration standards and methods. Dimensional and related measurements in the micro- and nanometer range. – Weinheim: Verlag, 2005.
НПП «Камень и силикаты». Материал поступил в редакцию 17.09.2008.

Ջ.Ա. ԲԱԲԱՅԱՆ, Է.Լ. ԻԳՆԱՏՅԱՆ

**ԲՆԱԿԱՆ ԵՐԵՄՊԱՏՄԱՆ ՍԱԼԻԿԱԵՐԻ ԳԾԱՅԻՆ ԶԱՓՄԵՐԻ ՊԱՐԱՄԵՏՐԵՐԻ ԶԱՓՈՒՄՆԵՐԻ՝
ՆԱՆՈՄԵՏՐԻՑ ՄԻԼԻՄԵՏՐ ՏԻՐՈՒՑԹԻ ՎԵՐԱՀԱՄԱՆ ՀԱՐՄԱՐԱՆՔ**

Նկարագրվում է վերահսկման ինտերֆերացիոն հարմարանք և քոմպյուտերային ծրագիր՝ երկրաչափական չափսերի պարամետրերի՝ նանոմետրից մինչև միլիմետր տիրույթի չափումների համար:

Առանցքային բառեր. վերահսկման հարմարանք, գծային չափսերի պարամետրեր, ինտերֆերացիոն նկար:

Z.A. BABAYAN, E.L. IGNATYAN

**CONTROL SYSTEM FOR MEASURING ROUGHNESS PARAMETERS
FROM NANOMETER UP TO MILLIMETER RANGES**

The standard interference system and the computer program for measuring geometrical parameters from nanometer up to millimeter ranges are described.

Keywords: standard system, geometrical size, interference pattern.

Գ.Գ. ԳԵՎՈՐԳՅԱՆ

ՀԻՂՐՈԳԵՆԵՐԱՏՈՐԻ ՌՈՏՈՐԻ ԲԵՎԵՌԻ ՆՈՐ ԿՈՆՍՏՐՈՒԿՑԻԱ

Առաջարկվում է հիղրոգեներատորի ռոտորի բևեռի նոր կոնստրուկցիա, որի թիթեղներն ուղղանկյուն են և միջուկում տեղադրված են ռոտորի պտտման առանցքին զուգահեռ հարթության մեջ: Ռոտորի բևեռների պատրաստումը կատարվում է առանց թափոնների:

Առանցքային բառեր. ռոտորի բևեռի նոր կոնստրուկցիա, բևեռի միջուկի ուղղանկյուն թիթեղներ:

Հայտնի են հիղրոգեներատորի ռոտորի բևեռները [1], որոնք կազմված են ռոտորի պտտման առանցքին ուղղահայաց կողմնորոշված պողպատե թիթեղներից և դիմային մասերում ունեն մամլող պողպատե սալիկներ (այտեր): Այդ սալիկների փորվածքներում են տեղադրվում բևեռի թիթեղները փաթեթում ձգող հեղույսների գլխիկները: Նշված հայտնի բևեռը ռոտորին է ամրացվում մուրձաձև պոչի միջոցով, որը երկու զույգ հակադարձ թեքություն ունեցող սեպերով ձգվում է դեպի ռոտորի պտտման առանցքը: Բևեռի միջուկը պատրաստում են ցածրասիլիցիումային կամ սովորական ցածրաածխածնային 1...2 մմ հաստությամբ դրոշմված թիթեղներից: Միջուկի դրոշմված թիթեղները առձգվում են պողպատե գամասեղներով և դրանց վրա երկու կողմից ներպտուտակված պնդողակներով: Պնդողակներն ընկղմված են այտերի փորվածքներում, որոնք հավաքումից հետո եռալցվում են: Հավաքված բևեռն ամրացվում է պոչային մասով ռոտորի լուծում:

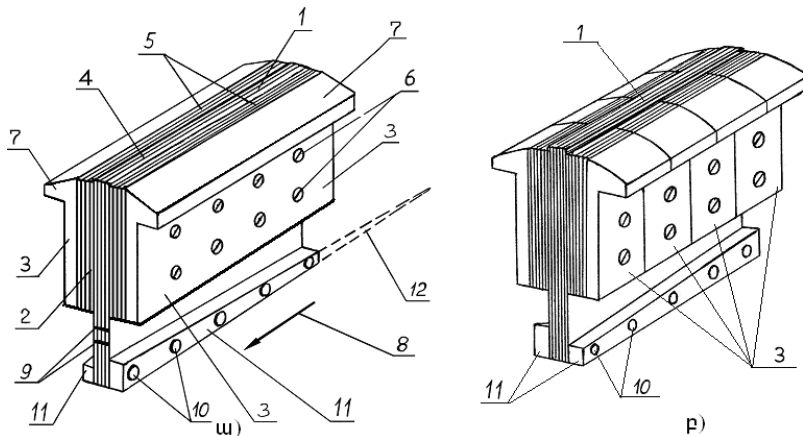
Բևեռի այդ հայտնի կոնստրուկցիան ունի մի շարք թերի կողմեր.

1. Նրա թիթեղները դրոշմելու համար անհրաժեշտ է նախագծել և պատրաստել բարդ ձևավոր դրոշմիչ:
2. Բևեռի պողպատե հոծ մամլող այտի պատրաստումը տեխնոլոգիապես դժվար իրականացվող և աշխատատար գործողություն է:
3. Բևեռը փաթեթավորելու համար օգտագործվում են բավականին երկար ձգող հեղույսներ, որոնք պիտի լինեն մեծ տրամագծով, որպեսզի հնարավոր լինի մամլող ուժը հաղորդել բևեռի ամբողջ երկարությամբ:
4. Ներկայումս օգտագործվող բևեռների դեպքում բավականին աշխատատար են լինում բևեռի ամրացման գործողությունները, որովհետև բևեռի սեպերը պիտի ձգվեն երկու հակառակ կողմից միաժամանակ կատարող հարվածներով, ընդ որում՝ ներքևի շերտի սեպերը պիտի արգելակված լինեն:
5. Մյուս լուրջ թերությունն է բևեռի խափանված կոճի փոխարինման աշխատատարությունը այն պատճառով, որ չափազանց դժվար է լինում քանդել չորս սեպերով ամրացրած բևեռը, հատկապես մեծ հզորության հիղրոգեներատորներում, որոնց բևեռներն ունեն 1,5 մ-ից ավել երկարություն և ձգված են մեծ ուժերով:

Ինչքան մեծ է հիդրոգեներատորի առանձին հանգույցների վերանորոգման վրա ծախսվող ժամանակը, այնքան մեծ է պարապուրդի ժամանակը, որը հանգեցնում է հիդրոգեներատորի շահագործման ընթացքում Չբարորակության ցածրացմանը [2]:

Աշխատանքի նպատակն էր՝ մեծացնել հիդրոգեներատորների շահագործման ընթացքում Չբարորակությունը և պարզեցնել բևեռը կազմավորող թիթեղների ձևն ու դասավորման եղանակը՝ այդպիսով պակասեցնելով պատրաստման և վերանորոգման աշխատատարությունը:

Առաջարկվում է հիդրոգեներատորի ռոտորի բևեռի նոր կոնստրուկցիա, որում բևեռի թիթեղների մակերևույթն ուղղանկյունաձև է, թիթեղների հարթությունը միջուկում կողմնորոշված է հիդրոգեներատորի ռոտորի պտտման առանցքին զուգահեռ, իսկ բևեռի ամրացումը կատարվում է միայն երկու սեպով (նկ.1):



Նկ.1. Նոր բևեռների տեսքը հավաքված վիճակում.

ա) 2 կողային մամլող սալիկներ ունեցող բևեռի կոնստրուկցիա,

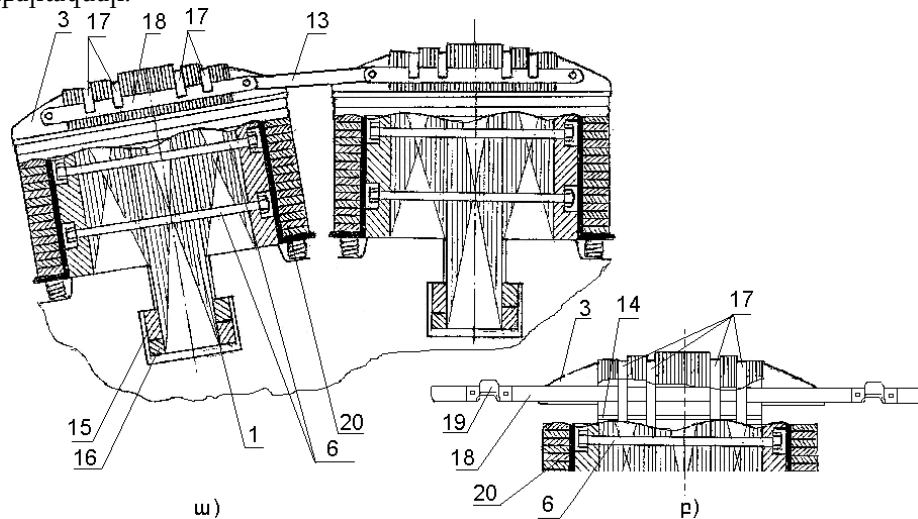
բ) 8 կողային մամլող սալիկներ ունեցող բևեռի կոնստրուկցիա

1- բևեռ, 2- միջուկ, 3- կողային հոծ պողպատե սալիկ, 4 և 5- միջուկի թիթեղներ, 6- հեղույսներ, 7-կողային սալիկների տանգենցիալ ուղղված թևեր, 8- ռոտորի պտտման առանցքի ուղղություն, 9- բևեռի պոչ, 10- ամրացնող գամեր, 11- սեպաձև ձողեր, 12- ռոտորի պտտման առանցքի ուղղության նկատմամբ անկյուն

Հիդրոգեներատորի առաջարկվող բևեռը (1) կազմված է շերտավորված միջուկից (2) և կողային հոծ պողպատե սալիկներից (3), որոնց միջոցով կատարվում է միջուկի թիթեղների (4) և (5) մամլումը հեղույսներով (6): Կողային սալիկները (3) ունեն տանգենցիալ ուղղված թևեր (7), որոնք կազմավորում են բևեռի ծայրապնակը: Միջուկի (2) մեջ հավաքված թիթեղները (4) և (5) դասավորված են հիդրոգեներատորի ռոտորի պտտման առանցքին զուգահեռ (8): Թիթեղները (4) և (5) ունեն միևնույն երկարությունը, բայց տարբերվում են բարձրություններով: Բևեռի առանցքային մասում տեղադրված թիթեղներն ունեն ավելի մեծ բարձրություն, քան այն թիթեղները, որոնք տեղադրված են միջուկի կողային մասերում (5)՝ կենտրոնում գտնվող թիթեղների (4) երկու կողմից: Բևեռի պոչի (9) ներքևի մասում գամերով (10) ամրացրած են սեպաձև ձողեր (11), որոնց վերին հարթությունները թեքված են ուղղությունից (8) փոքր անկյունով (12), ըստ որում՝ աջակողմյան և ձախակողմյան

ձողերի (11) թեքումներն ունեն հակառակ ուղղություններ: Թիթեղների (4) և (5) մեջ փորված են անցքեր, որոնցով անցնում են բևեռը ամրացնող հեղույսները (6): Թիթեղների (4) ներքին մասում կան անցքեր, որոնցով անցնում են բևեռի պոչը (9) ամրացնող գամերը (10): Բևեռը ռոտորի վրա ամրացվում է երկու հակադարձ ուղղված սեպերով (15) և (16): Որոշ տարբերակներում բևեռի թիթեղների (5) մեջ կարող են տեղադրված լինել նաև այնպիսիները, որոնց վերին եզրը չի հասնում բևեռի օդային բացակը շոշափող մակերեսին: Այդ ավելի կարճ թիթեղների (5) վրա տեղադրված են լինում պղնձյա (կամ ալյումին) դողեր (17), որոնք բևեռի ճակատային մասերում էլեկտրահաղորդիչ դողերով միացվում են կողային հոծ պողպատե սալիկներին (3) և միմյանց հետ՝ կազմավորելով բևեռի կարճ փակված դեմաֆերային վանդակը (նկ. 2ա):

Նկ.2-ում պատկերված են դեմաֆերային փաթույթի կազմավորման տարբերակներ:



Նկ.2. Բևեռում դեմաֆերային փաթույթի կազմավորումը.

ա) էլեկտրահաղորդիչ դողերի ամրացումը կողային սալիկներին և միմյանց՝ կարճ միակցող դողի միջոցով.

բ) հարևան բևեռների կարճ միակցող դողերի ամրացումը անրիկով.

1- բևեռ, 3- կողային հոծ պողպատե սալիկ, 6- հեղույսներ, 13- կարճ միակցող դող, 14-դեմաֆերային փաթույթըր սևեռող ձող, 15 և 16- երկու հակադարձ թեքություն ունեցող սեպեր, 17 - էլեկտրահաղորդիչ դողեր, 18- կարճ միակցող դողեր, 19- անրիկ, 20- գրգռման փաթույթ

Նկ.2բ-ում էլեկտրահաղորդիչ (17) և կարճ միակցող դողերը (18) ամրանում են միմյանց և անրիկի (19) միջոցով ամրացվում են հարևան բևեռների կարճ միակցող դողերին՝ այդպիսով ձևավորելով ռոտորի կարճ փակված դեմաֆերային փաթույթը:

Առաջարկվող բևեռի դեմաֆերային փաթույթը, ունենալով ձողերի ուղղանկյուն կտրվածք, կարող է ապահովել հիդրոգենատորի գործարկման բարելավված պայմաններ: Իրոք, ընդերկայնական դեմաֆերային համակարգում դողերի (17) ուղղանկյուն կտրվածքի շնորհիվ գեներատորի գործարկման պահին դողերի ներքին մասի հոսքակցումը և, հետևաբար, ինդուկտիվությունը մեծանում է, և հոսանքը դուրս է մղվում դողերի արտաքին շերտերը, որի պատճառով հոսանքի անցման արդյունավետ մակերեսը փոքրանում է, և ակտիվ դիմադրությունը ստացվում

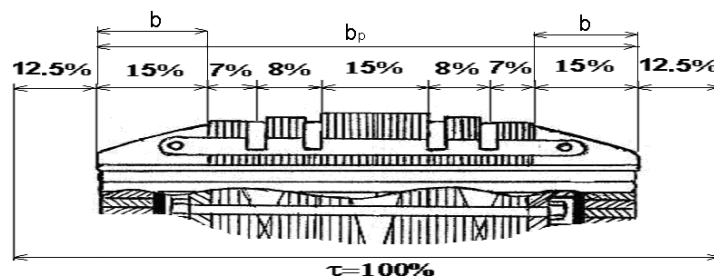
է մեծ: Գործարկումից հետո դողերի ինդուկտիվ դիմադրությունը դառնում է աննշան, հոսանքն անցնում է ամբողջ մակերեսով, և ակտիվ դիմադրությունը փոքրանում է [3]: Առաջարկվող բևեռում, ինչպես և ավանդական կոնստրուկցիայով բևեռում [1], դեմաֆերային ձողերի քանակը՝ n_c -ն և հեռավորությունը՝ t_{z2} -ը հաշվարկում են՝ ելնելով ստատորի փաթույթի էլշու-ի նվազագույն բաբախումներ ստանալու պայմանից [8]:

Առաջարկվող բևեռում կողային մամլող սալիկները ձուլածո կոնստրուկցիաներ են, որոնց կիրառումը նպատակահարմար է այն առումով, որ բևեռի դիմային մասում հոծ պողպատե մամլող այտեր չեն պահանջվում: Կողային մամլող սալիկները (3) կարելի է ձուլել այնպես, որ ապահովվի կոճի ճակատային մասերի հուսալի սևեռումը. այդ հնարավոր է նաև այնպիսի կողային մամլող սալիկների կառուցվածք, որոնք հնարավորություն կտան բևեռը ամրացնել երկու պոչի միջոցով:

Ավանդական կոնստրուկցիայով բևեռներում դեմաֆերային ձողերի մի մասը ընկղմված են հոծ պողպատե մամլող այտերի մեջ: Հետազոտությունները ցույց են տվել, որ դեմաֆերային ձողերով անցնող հոսանքները դիմային հոծ մամլող այտերում առաջացնում են նկատելի կորուստներ: Օրինակ, CB01690/175-64 տիպի հիդրոգեներատորի անվանական աշխատանքային ռեժիմում դեմաֆերային ձողերով անցնող հոսանքները մամլող այտերում առաջացնում են 280 կՎտ տրանսֆորմատորային կորուստներ, որոնք ցածրացնում են հիդրոգեներատորի օգտակար գործողության գործակիցը [4]:

Նոր բևեռի միջուկի պատրաստման եղանակն ավելի պարզ է ներկայումս օգտագործվող կառուցվածքների համեմատ, քանի որ նրա թիթեղները (4) և (5) ստացվում են ավելի պարզ եղանակով՝ կտրմամբ, առանց հատուկ դրոշմիչ օգտագործելու:

Հիմնվելով կատարված հետազոտությունների արդյունքների վրա [5-7] և հաշվի առնելով բևեռային աղեղի գործակիցը՝ $\alpha = b_p / \tau = 0,65 \dots 0,8$ նպատակահարմար է առաջարկվող բևեռի թիթեղների դասավորվածությունն իրականացնել նկ.3-ում պատկերված ձևով:



Նկ.3. Առաջարկվող բևեռում թիթեղների դասավորվածությունը.

τ - միջբևեռային բաժանմունք, b_p - բևեռային ծայրապնակի երկարություն, b -կողային սալիկի տանգենցիալ ուղղված թևի վերին մասի լայնությունը

Ավանդական բևեռի երկարությունը, առանց հաշվի առնելու մամլող այտը, որոշվում է հետևյալ արտահայտությունից [8]՝

$$l_m = l_1 - 0,1 \cdot \tau = l_1 - 0,1 \cdot (\pi D / 2 \cdot P) = l_1 - (0,314 D \cdot n / 6000), \quad (1)$$

որտեղ l_m -ը բևեռի երկարությունն է՝ առանց հաշվի առնելու մամլող այտու, l_1 -ը՝ ստատորի միջուկի երկարությունը, τ -ն միջբևեռային բաժանմունքը, D -ն ստատորի ակտիվ մասի տրամագիծը, P -ն՝ զույգ բևեռների թիվը, n -ը՝ ռոտորի պտտման անկյունային հաճախականությունը:

Ավանդական բևեռի թիթեղների քանակը կարելի է որոշել բևեռի երկարությունը բաժանելով թիթեղի միջին հաստության վրա ($h = 0,15$ սմ).

$$N_{ta} \approx (6000 \cdot l_1 - 0,314 \cdot D \cdot n) / (6000 \cdot h): \quad (2)$$

Ռոտորի առաջարկվող բևեռի (նկ.1ա) թիթեղների քանակը կարելի է որոշել՝ հետևյալ արտահայտությունից.

$$N_{m1} \approx (b_p - 2b) / h + 2 \approx 0,45 \cdot \tau / h + 2 \approx (1,41 \cdot D \cdot n) / (6000 \cdot h) + 2, \quad (3)$$

որտեղ վերջին գումարելին հաշվի է առնում կողային երկու սալիկների առկայությունը:

Նկ.1բ-ում կողային հոծ սալիկներն ութ հատ են, թիթեղների քանակն ավելի շատ է նկ.1ա-ում պատկերված բևեռի թիթեղների համեմատ, ուստի նկ.1բ-ում պատկերված բևեռի թիթեղների քանակը որոշվում է հետևյալ արտահայտությունից.

$$N_{m2} \approx 1,35 \cdot \tau / h + 8 \approx 4,24 \cdot D \cdot n / (6000 \cdot h) + 8: \quad (4)$$

Աղյուսատում բերված են ռոտորի ավանդական և նոր բևեռների միջուկը կազմող թիթեղների քանակը տարբեր տիպի հիդրոգեներատորների համար:

Աղյուսակ

Հիդրոգեներատորի տիպը	Ռոտորի բոլոր բևեռների թիթեղների քանակը		
	ΣN_{ta}	ΣN_{m1}	ΣN_{m2}
CB01285/275– 42Y4	74508	11214	33810
CB01690 / 175 - 64	71219	15296	46016
CB0937 / 235 - 30	45240	7980	24060
CB01260 / 235–60 T	91500	11280	34140
CB 460 / 210 -12	16044	3408	10272
CB 465 / 210 -16	21584	3696	11152
CB 375 / 195 -12	14976	2844	8580

Թիթեղների քանակն առաջարկվող բևեռում մի քանի անգամ քիչ է, քան ավանդական բևեռում, ինչը հանգեցնում է առաջարկվող բևեռի հավաքման աշխատատարության կրճատմանը: Առաջարկվող բևեռի հավաքումն ավելի արագ է կատարվում թիթեղների շատ ավելի քիչ լինելու (քանակով) պատճառով, առավել ևս մեծ հզորության գեներատորների համար, որտեղ բևեռների երկարությունը մեծ է (դրա հետևանքով պակասում է ռոտորի պատրաստման աշխատատարությունը):

Բևեռի միջուկը ձգող հեղույսները շատ ավելի կարճ են: Այս հանգամանքը հնարավորություն է տալիս օգտագործել ավելի բարակ հեղույսներ և նրանցով կատարել ավելի որակյալ միջուկի մամլում: Բևեռի թիթեղները ձգող հեղույսների

ավելի կարճ լինելու շնորհիվ առաջարկվող բևեռի հավաքման ժամանակ ավելի փոքր մամլող ուժեր են պահանջվում:

Բևեռի ամրացումը կատարվում է ընդամենը երկու սեպի կիրառումով, (նկ. 2ա), իսկ ավանդական բևեռն ամրացվում է ավելի բարդ ձևով. չորս սեպերի օգտագործումով, որոնք պետք է խփվեն միաժամանակյա հարվածներով՝ բևեռի ճակատի հակառակ կողմերից:

Առաջարկվող բևեռի փաթույթը ավելի հեշտ է փոխվում, որովհետև չորս ձգող սեպերի փոխարեն այստեղ օգտագործվում են միայն երկու սեպ, որոնք խփված են բևեռի պոչի աջ և ձախ կողմերին:

Առաջարկվող բևեռը հիդրոգեներատորի օդային բացակում առաջացնում է ոչ սիմետրիկ աստիճանավոր մակերևույթ, որի աստիճանների բարձրությունը 1...2 մմ է (առաջարկվող բևեռը նախատեսված է մեծ օդային բացակ ունեցող հիդրոգեներատորների համար՝ $\delta/\tau \geq 0,04$): Հետազոտությունները ցույց են տվել, որ հիդրոգեներատորի օդային բացակում 2 մմ-ից ոչ ավելի բարձրություն ունեցող աստիճանավոր (ասիմետրիկ) մակերևույթ առաջացնող ռոտորի բևեռի կոնստրուկցիան չի աղավաղում մագնիսական դաշտի պատկերը [5]:

Նկ.4-ում պատկերված է հիդրոգեներատորի օդային բացակի հատվածում մագնիսական դաշտի պատկերը, երբ ռոտորի բևեռային ծայրապնակն ունի աստիճանավոր եզր, (հաստ հոծ գծերով պատկերված են ռոտորի բևեռի վերին մասը և ստատորի ներտաշվածքի տրամագծի մի մասը, իսկ բարակ գծերով՝ մագնիսական դաշտի հոսքի գծերը):



Նկ.4. Էլեկտրահաղորդիչ թղթի վրա մոդելավորման եղանակով ստացված մագնիսական դաշտի պատկերի հատված՝ $\delta=2,6$ մմ օդային բացակով հիդրոգեներատորում:

I- մագնիսական դաշտում համապատենցիալ կետերով ստացվող գծեր,

II- ռոտորի նոր բևեռի մոդելը

Առաջարկվող բևեռի պատրաստման տեխնոլոգիական թերությունները մանրամասն հետազոտության կարիք ունեն, քանի որ մեկ հոդվածում ամբողջությամբ ներկայացնել բևեռի պատրաստման տեխնոլոգիան և կոնստրուկտիվ առանձնահատկությունները հնարավոր չէ: Առաջարկվող բևեռի հիմնական թերությունը համարում ենք ձուլածո հոծ մամլող սալիկի պատրաստման դժվարությունը:

Նշենք, որ վերը նշված առավելություններից [9] բացի, նոր բևեռի առավելություններից է նաև միջուկի թիթեղների պատրաստման անմնացիկությունը ներկայումս պատրաստվող բևեռների համեմատ:

Ավանդական բևեռի միջուկի մեկ հատ թիթեղի պատրաստման համար նվազագույն հաշվարկներով գոյանում է դրոշմվող թիթեղի մակերեսի 35%-ի չափով թափոն [10]:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Зунделевич М.И., Прутковский С.А.** Технология крупного электромашиностроения. В трех томах. Изд. 2-е, перераб. и доп. Том 2. Гидрогенераторы. – Л.: Энергоиздат, Ленингр. отд-ние, 1981.- 312 с.
2. **Берберян Г.В., Акопян Р.Е., Давтян Н.О.** О новых подходах к задачам диагностики // 5-я Международная конференция “Электромеханика, электротехнологии и электроматериаловедение”: Труды МКЭЭЭ. Часть I. - Крым, Алушта, Украина, 2003.- С. 445-448.
3. **Բալախանյան Հ.** Հնդհանուր էլեկտրատեխնիկա. - Երևան, 2006. – 248 էջ:
4. **Тер-Газарян Г.Н., Биджамов Я.Г.** Потери в щелях мощных гидрогенераторов // Электротехника. – 1986. – N 10. – С. 57-60.
5. **Геворгян Г.Г.** Моделирование полюса ротора и воздушного зазора гидрогенератора на электропроводящей бумаге // Вестник ГИУА. Серия “Моделирование, оптимизация, управление”. – Ереван, 2007.- Вып. 10, том 2 - С. 41-46.
6. **Գեւորգյան Գ.Գ.** Հիդրոգեներատորի օդային բացակի մագնիսական ինդուկցիայի կորի հարմոնիկ վերլուծության մեթոդ // Տեղեկատվական տեխնոլոգիաներ և կառավարում. - Երևան, 2008.- էջ. 9-13:
7. **Берберян Г.В.** К анализу влияния огибающей полюсов на асимметрию воздушного зазора гидрогенератора // Известия НАН РА и ГИУА. Сер. ТН.-2001.- Т. 54, N 3.- С. 400-404.
8. **Абрамов А.И., Иванов–Смоленский А.В.** Проектирование гидрогенераторов и синхронных компенсаторов.- М., 1978 - 312 с.
9. **Օհանյան Ռ.Վ., Գեւորգյան Գ.Գ.** Հիդրոգեներատորի ռոտորի բևեռ / ՀՀ գյուտի արտոնագիր և №2084 A2, 25.03.200:
10. **Антонов М. В., Герасимова Л.С.** Технология производства электрических машин. - М.: Энергоиздат, 1982. – 512 с.

ՀՊՃՀ. Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 14.07.2008:

Գ.Գ. ГЕВОРГЯН НОВАЯ КОНСТРУКЦИЯ ПОЛЮСА РОТОРА ГИДРОГЕНЕРАТОРА

Предложена новая конструкция полюса ротора гидрогенератора, листы которого собираются без отходов. Сердечник полюса имеет прямоугольную форму и расположен параллельно оси вращения ротора гидрогенератора.

Ключевые слова: новый полюс ротора, прямоугольные листы сердечника.

G.G. GEVORGYAN NEW CONSTRUCTION OF HYDROGENERATOR ROTOR POLE

A new construction of rotor pole which is assembled without waste is suggested. The core pole has rectangular form and is located parallelly to axis of hydrogenerator rotor rotation.

Keywords: new construction of rotor pole, rectangular sheets of core.

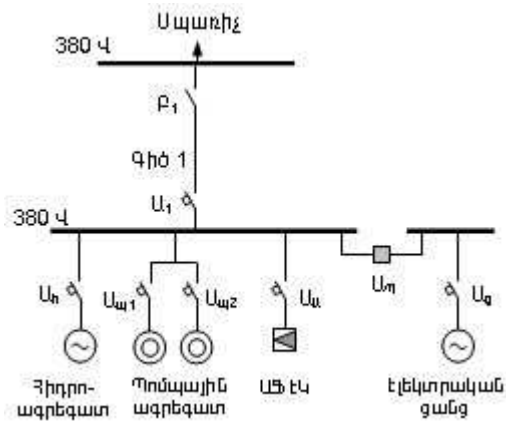
Ռ.Վ. ԳԶՐԱՐՅԱՆ

ԱՐԵԳԱԿՆԱՅԻՆ ՖՈՏՈԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ ԵՎ ՀԻՂՐՈԿՈՒՏԱԿԻՉ
ՀԱՄԱԿՑՎԱԾ ԿԱՅԱՆ

Դիտարկվել է արեգակնային ֆոտոէլեկտրական և հիդրոկուտակիչ համակցված կայանի մոդել, որը նախատեսված է գյուղական 40 տների էլեկտրամատակարարման համար: Մշակվել են կայանի էլեկտրական սխեմաները, որոշվել են ԱՖԷԿ-ի և սպառիչների հզորությունների փոփոխության գրաֆիկները: Հաշվարկվել են հիդրոագրեգատի, պոմպային ագրեգատի և Ֆոտոէլեկտրական կայանի հզորությունները, որոնք կազմել են համապատասխանաբար 50, 45 և 72 կՎտ:

Առանցքային բառեր. ֆոտոէլեկտրական կայաններ, հիդրոկուտակում, էլեկտրական սխեմաներ, պոմպային և հիդրոագրեգատներ:

Այսօր արեգակնային ֆոտոէներգետիկայի առաջնային խնդիրներից է ֆոտոէլեկտրական կայանների (ԱՖԷԿ) կողմից արտադրված էլեկտրաէներգիայի կուտակումը, որը կարող է օգտագործվել ոչ արևային ժամերին սպառիչների էլեկտրամատակարարման համար: Ֆոտոէլեկտրական կայաններում, որպես էլեկտրաէներգիայի կուտակիչ կարելի է կիրառել հիդրոկուտակիչ կայան (ՀԿԷԿ), որը տարբեր նպատակներով լայն կիրառում է գտել ամբողջ աշխարհում [1,2]: Արեգակնային ֆոտոէլեկտրական և հիդրոկուտակիչ համակցված կայանի (ԱՖՀԿԷԿ) աշխատանքային սխեմայի նկարագրությունը և աշխատանքի սկզբունքը ներկայացված է [3]-ում: Կայանի աշխատանքի էությունն այն է, որ արևային ժամերին ԱՖԷԿ-ի կողմից արտադրված էլեկտրաէներգիան օգտագործվում է սպառիչների էլեկտրամատակարարման և ՀԿԷԿ-ում կուտակման համար, իսկ ոչ արևային ժամերին սպառիչների սնուցումն իրականացվում է ՀԿԷԿ-ում կուտակված էներգիայի հաշվին: Որպես ԱՖՀԿԷԿ-ի տեղադրման վայր դիտարկվել է Սևան քաղաքի Ցամաքաբերդ թաղամասի մի հատված: Կայանը նախատեսված է տեղադրել սարի լանջին, որի շրջակայքում դասավորված են տները: Որպես սպառիչ ընտրվել է 40 տուն, որոնք ավելի մոտ են դասավորված կայանին: ՀԿԷԿ-ի վերին ավազանը նախատեսված է տեղադրել սարի լանջի 30 մ բարձրության վրա: Նկ. 1-ում բերված է ԱՖՀԿԷԿ-ի միջոցով սպառիչների էլեկտրական սնուցման սխեման: Էլեկտրական սխեմայում տրանսֆորմատորային ենթակայաններ նախատեսված չեն, քանի որ սպառիչը գտնվում է կայանից փոքր հեռավորության վրա՝ մոտ 80 մ: ԱՖՀԿԷԿ-ի էլեկտրական սխեմայի աշխատանքի սկզբունքը հետևյալն է. արևային ժամերին Ա_ս անջատիչի միջոցով միացվում է ԱՖԷԿ-ը, որի շնորհիվ Գիծ-1-ով իրականացվում է սպառիչների էլեկտրամատակարարումը: Միևնույն ժամանակ Ա_{պ1} և Ա_{պ2} անջատիչների միջոցով միացվում են նաև կայանում տեղադրված պոմպային ագրեգատները, որոնց միջոցով կատարվում է էլեկտրաէներգիայի կուտակում: Ոչ արևային ժամերին անջատվում են Ա_ս, Ա_{պ1} և Ա_{պ2} անջատիչները, միանում է Ա_հ անջատիչը, և սպառիչների

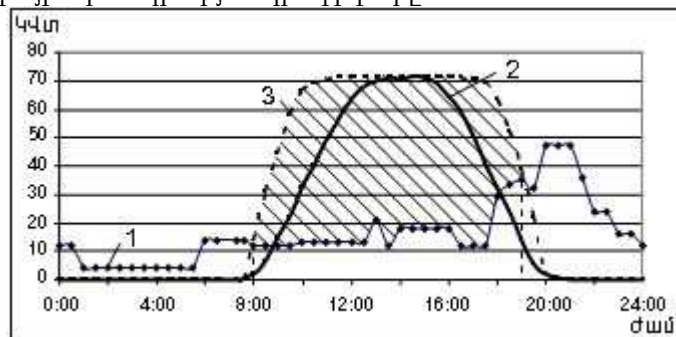


Նկ. 1. ԱՖՀԿԵ-ի միջոցով սպառիչների էլեկտրամատակարարման սխեման

Էլեկտրամատակարարումը Գիծ-1-ով իրականացվում է ՀԿԵԿ-ի միջոցով: Գիծ 1 էլեկտրահաղորդման գծի պաշտպանության համար նախատեսված է Ա₁ ավտոմատ անջատիչը և Բ₁ բաժանիչը: Արևային ժամերին ԱՖԵԿ-ում վթարների առաջացման դեպքում անջատվում են ԱՖԵԿ-ի Ա_ա և պոմպային ագրեգատի Ա_{ա1}, Ա_{ա2} անջատիչները, միանում է ՀԿԵԿ-ի Ա_հ անջատիչը, որի արդյունքում սպառիչների սնուցումն իրականացվում է ՀԿԵԿ-ի միջոցով: Ամբողջ կայանի վթարային ռեժիմների,

ինչպես նաև սպառիչների կողմից պահանջվող հզորության չնախատեսված աճի դեպքում էլեկտրական սխեմայում նախատեսված է նաև կապ արտաքին էլեկտրական ցանցի հետ: Նման դեպքերում անջատվում են հիդրոագրեգատի Ա_հ կամ ԱՖԵԿ-ի Ա_ա և պոմպային ագրեգատի Ա_{ա1} և Ա_{ա2} անջատիչները, միանում է Ա_ո պահուստային ավտոմատ անջատիչը, և սպառիչների սնուցումը Ա_ո անջատիչի միջոցով իրականացվում է արտաքին էլեկտրական ցանցի միջոցով:

ԱՖՀԿԵ-ում օգտագործվող ֆոտոէլեկտրական կայանն ունի արեգակին հետևող համակարգ և արևային ժամերին աշխատում է գրեթե անփոփոխ հզորությամբ: Նկ. 2-ում բերված են անշարժ և արեգակին հետևող համակարգով ԱՖԵԿ-երի էլեկտրաէներգիայի արտադրության գրաֆիկները:



Նկ. 2. Գյուղական 40 տների էլեկտրաէներգիայի օրական սպառման և ԱՖԵԿ-ի կողմից էլեկտրաէներգիայի արտադրության գրաֆիկները

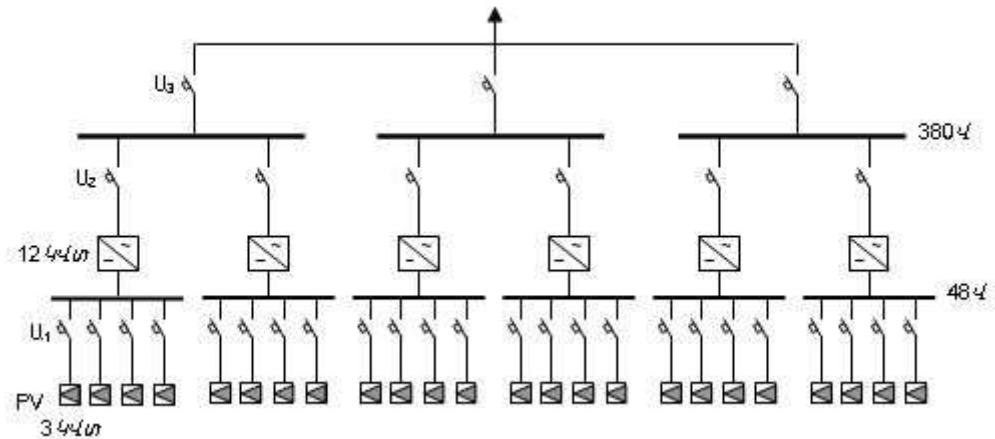
1. Գյուղական 40 տների էլեկտրաէներգիայի միջին օրական սպառման գրաֆիկը,
2. Անշարժ ԱՖԵԿ-ի էլեկտրաէներգիայի արտադրության գրաֆիկը,
3. Արեգակին հետևող համակարգով ԱՖԵԿ-ի էլեկտրաէներգիայի արտադրության գրաֆիկը

Անշարժ ԱՖԵԿ-ի էլեկտրաէներգիայի արտադրության գրաֆիկը վերցվել է ՀՊՃՀ “Հելիոտեխնիկա” պրոբլեմային լաբորատորիայի կողմից կատարված չափումների արդյունքներից: Ի տարբերություն անշարժ ԱՖԵԿ-ի՝ հետևող համակարգով ԱՖԵԿ-ը արտադրում է մոտ 30%-ով ավելի էլեկտրաէներգիա [4]:

Նկ. 2-ում բերված է նաև սպառիչների կողմից էլեկտրաէներգիայի օրական սպառման գրաֆիկը: Այն ստացվել է մեկ տան համար կատարված հետազոտությունների արդյունքում, որի համաձայն որոշվել է 40 տան միջին օրական սպառումը:

Տվյալ տեղամասի համար կատարված հետազոտությունների արդյունքում ստացված տվյալների հիման վրա կատարվել է հաշվարկ, որի արդյունքում որոշվել են հիդրոագրեգատի, պոմպային ագրեգատի և ֆոտոէլեկտրական կայանի հզորությունները: Ստացված արդյունքների հիման վրա ընտրվել են 50 կՎտ հզորությամբ ՄԴՅԸ-50Մ մակնիշի հիդրոագրեգատ և 45 կՎտ գումարային հզորությամբ ԱՀԱ մակնիշի երկու պոմպային ագրեգատներ: Քանի որ արևային ժամերին ԱՖԷԿ-ը միևնույն ժամանակ ապահովում է սպառիչների և պոմպային ագրեգատի էլեկտրամատակարարումը, ապա, հաշվի առնելով նաև սպառիչների կողմից պահանջվող հզորությունը, ԱՖԷԿ-ի հզորությունը վերցվել է 72 կՎտ:

ԱՖԷԿ-ի էլեկտրական սխեման բերված է նկ. 3-ում:



Նկ. 3. 72 կՎտ հզորությամբ ֆոտոէլեկտրական կայանի էլեկտրական սխեման

ԱՖԷԿ-ը բաղկացած է 24 ֆոտոէլեկտրական մոդուլներից, որոնցից յուրաքանչյուրի հզորությունը 3 կՎտ է: ԱՖԷԿ-ի էլեկտրական սխեմայում կատարվել է ֆոտոէլեկտրական մոդուլների խմբավորում, յուրաքանչյուր չորս մոդուլների համար նախատեսվել է 12 կՎտ հզորությամբ մեկ ինվերտոր: Էլեկտրական սխեմայի վթարային ռեժիմներից պաշտպանելու համար նախատեսվել են Ա₁, Ա₂ և Ա₃ ավտոմատ անջատիչները:

Այսպիսով, ԱՖՀԿԷԿ-ը էկոլոգիապես մաքուր էլեկտրական կայան է: Այն տեղադրվում է ամիջապես սպառիչին մոտ և ապահովում է էլեկտրամատակարարման բարձր հուսալիություն: Ինչպես ԱՖԷԿ-ը, այնպես էլ ՀԿԷԿ-ն ունի ծառայության մեծ ժամկետ՝ ավելի քան 30 տարի: ԱՖՀԿԷԿ-երի օգտագործումը կիսթանի արեգակնային ֆոտոէներգետիկայի զարգացմանը, ինչն էլ կբարձրացնի երկրի էներգետիկ անվտանգությունը:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. Dams, Rivers & People, SANDRP VOL 2-ISSUE 9-10-11 Rs 15/- OCT-NOV-DEC 2004
2. **Michel J.H.** Status and Impacts of the German Lignite Industry. - The Swedish NGO Secretariat on Acid Rain, 2005.
3. **Մարության Ռ., Բուռնաչյան Հ., Փանոսյան Ժ., Գրարյան Ռ.** Արեգակնային և հիդրոէլեկտրական էլեկտրական կայանների համալիրի սկզբունքային սխեմայի մշակումը // Վերականգնվող էներգիայի երրորդ միջազգային գիտաժողով. - Երևան, 2008. - էջ 125-129:
4. **Stone K.W., Garboushian V., Boehm R., Hurt R.** ets. Analysis of five years of field performance of the Amonix high concentration PV system// Powergen.- Las Vegas, NV, April, 2006.

ՀՊՀՀ. Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 12.03.2008:

Р.В. ГЗРЯН

СОВМЕЩЕННАЯ СОЛНЕЧНАЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ И ГИДРОАККУМУЛИРУЮЩАЯ СТАНЦИЯ

Рассмотрена солнечная фотоэлектрическая и гидроаккумулирующая станция, предназначенная для электроснабжения 40 сельских домов. Представлены электрические схемы станции и принципы их работы. Определены графики изменения мощностей потребителей и фотоэлектрической станции. Рассчитаны мощности гидроагрегата и насосного агрегата фотоэлектрической станции.

Ключевые слова: фотоэлектрическая станция, гидроаккумуляция, электрические схемы, гидроагрегат, насосный агрегат.

R.V. GZRARYAN

COMBINED SOLAR PHOTOVOLTAIC AND HYDROELECTRIC PUMPED STORAGE POWER PLANT

Combined model of solar photovoltaic and pumped storage stations aimed at power supply for 40 rural houses are considered. The electric circuits of station and their acting regularities are developed and submitted. The both generation curve of photovoltaic station and load curve of electrical customer are considered. The power of hydraulic unit, pumping unit and photovoltaic station are calculated.

Keywords: photovoltaic station, pumped-hydroelectric storage, electric circuit, hydraulic and pumping units.

ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

ՄՈՒՍԱԵԼՅԱՆ Գ.Վ., ԶԱՔԱՐՅԱՆ Լ.Հ.

ԱՎՏՈՄՈԲԻԼ-ԻՆՔՆԱԹԱՓԻ ՀԻՄՆԱԿԱՆ ԵՎ ՕԺԱՆԴԱԿ ՇՐՋԱՆԱԿՆԵՐԻ ՓՈԽԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱՌԱՆՁՆԱՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄ .. **3**

ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ Է.Ա., ՄԱՐՈՅԱՆ Ռ.Ս., ՂԱԶԱՐՅԱՆ Ա.Հ.

ՄԵՏԱՂԱԿԱՆ ՏԻՏԱՆԻ ՍՏԱՑՄԱՆ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱԿԱՆ ԵՂԱՆԱԿԻ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ ԹԹՎԱՅԻՆ ՄԻՋԱՎԱՅՐԵՐՈՒՄ ՆՐԱ ԿՈՌՈՋԻՈՆ ԵՎ ԷԼԵԿՏՐԱՔԻՄԻԱԿԱՆ ՎԱՐՔԱԳԾԻ ՎՐԱ **8**

ԵՆԳԻՐԱՐՅԱՆ Ս.Ն., ՄՈՒԽՈՒԴՅԱՆ Գ.Ա.

ՊԵՍՉԱՅԻՆ ԵՎ ՖԵԼՁԻՏԱՅԻՆ ՏՈՒՖԵՐԻ ՄԻԼԻՑԻՈՒՄԻ ԵՐԿՕՔՄԻԴԻ ԿՈՐՁՈՒՄ ՔԻՄԻԱԿԱՆ ՃԱՆԱՊԱՐՀՈՎ **15**

ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ Վ.Ս., ԱՊՐՈՅԱՆ Ա.Ս.

ԱԿՏԻՎ ՀՁՈՐՈՒԹՅԱՆ ԿՈՐՍՏԻ ԶԳԱՅՈՒՆՈՒԹՅՈՒՆԸ ՏՐԱՆՍՖՈՐՄԱՏՈՐԻ ՏՐԱՆՍՖՈՐՄԱՑԻԱՅԻ ԳՈՐԾԱԿՑԻ ՆԿԱՏՄԱՍԲ **21**

ԳՆՈՒՆԻ Տ.Ս., ԱԼԵՔՍԱՆՅԱՆ Լ.Հ.

0,38/0,22 կՎ ՄԱՅՐՈՒՂԱՅԻՆ ԷԼԵԿՏՐԱՀԱՂՈՐԴՄԱՆ ԳԾԵՐՈՒՄ ԱՆՀԱՎԱՍԱՐԱՉԱՓՈՒԹՅԱՆ ԳՈՐԾԱԿՑԻ ԱՐԺԵՔԻ ՈՐՈՇՈՒՄԸ ՈՉ ՀՍՏԱԿ ԾՐԱԳՐԱՎՈՐՄԱՍԲ **32**

ԱՌԱՔԵԼՅԱՆ Վ.Պ., ՀԱԿՈՐՅԱՆ Լ.Ա.

ՕԴԱՅԻՆ ԳԾԵՐԻ ԱՌԱՋՆԱՅԻՆ ՊԱՐԱՄԵՏՐԵՐԻ ՈՐՈՇՄԱՆ ՄԵԹՈԴ՝ ՀԻՄՆՎԱԾ ԷԼԵԿՏՐԱՄԱԳՆԻՍԱԿԱՆ ԴԱՇՏԵՐԻ ՀԱՇՎԱՐԿԻ ՎՐԱ **40**

ՍԱՏԱՐՅԱՆ Վ.Ս.

ՈՉ ԳԾԱՅԻՆ ՌԵԶԻՍԻՎԱՅԻՆ ՇՂԹԱՆԵՐԻ ՌԵԺԻՄՆԵՐԻ ՀԱՇՎԱՐԿԸ **47**

ԱԶԱՐՅԱՆ Ս.Հ.

ՈՒՂԱՀԱՅԱՑ ԴԻՐՔԱԲԵՐՄԱՆ ԽՆԴԻՐԸ ԼԱԲՈՐԱՏՈՐ ԶՈՆԴԱՅԻՆ ՄԱՆՐԱԴԻՏԱԿՈՒՄ **54**

ՇԱՂԳԱՄՅԱՆ Ղ.Ա.

ՄՕԿ ՏՐԱՆՁԻՍՏՈՐՆԵՐՈՎ ԿԱՌԱՎԱՐՎՈՂ ՌԵԶԻՍՏՈՐԱՅԻՆ ՄԱՏՐԻՑԻ ՄԽԵՄԱՅԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ **61**

ԱՄԱՏՐՅԱՆ Դ.Գ., ՇԱՀՎԵՐԴՅԱՆ Հ.Ս., ԱՄԱՏՐՅԱՆ Ն.Ս.

ՊԱՏԿԵՐԻ ՊԱՇՏՊԱՆՈՒԹՅԱՆ ԹՎԱՅԻՆ ԿԱՅՈՒՆ ԱԼԳՈՐԻԹՄ 69

ԳՈՄՅԱՆ Հ.Ա., ՀՈՒՄԻԿՅԱՆ Լ.Դ.

ԲԶԶԱՅԻՆ ԿԱՊԻ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ԴԵՏԵՐՄԻՆԱՏԱԿԱՆ ԵՎ ՀԱՎԱՆԱԿԱՆԱՅԻՆ
ՄՈԴԵԼՆԵՐԻ ՀԱՄԱՐԺԵՔՈՒԹՅԱՆ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆԸ 76

ԲԱՂԴԱՍԱՐՅԱՆ Հ.Բ., ՀԱՅՐՈՒՄՅԱՆ Ս.Ս.

ՆԵՐՔԻՆ ՇՓՈՒՄԸ ՈՐՊԵՍ ՆՅՈՒԹԻ ՎԻՃԱԿԻ ԳՆԱՀԱՏՄԱՆ ՊԱՐԱՄԵՏՐ
ԿՏՐՈՒՄԻՑ ՀԵՏՈ 85

ԲԱԲԱՅԱՆ Զ.Ա., ԻԳՆԱՏՅԱՆ Է.Լ.

ԲՆԱԿԱՆ ԵՐԵՄՊԱՏՄԱՆ ՍԱԼԻԿՆԵՐԻ ԳԾԱՅԻՆ ՉԱՓՍԵՐԻ ՊԱՐԱՄԵՏՐԵՐԻ
ՉԱՓՈՒՄՆԵՐԻ՝ ՆԱՆՈՄԵՏՐԻՑ ՄԻՆՉԵՎ ՄԻԼԻՄԵՏՐ ՏԻՐՈՒՅԹԻ
ՎԵՐԱՀՍԿՄԱՆ ՀԱՐՄԱՐԱՆՔ 89

ԳԵՎՈՐԳՅԱՆ Գ.Գ.

ՀԻԴՐՈԳԵՆԵՐԱՏՈՐԻ ՌՈՏՈՐԻ ԲԵՎԵՌԻ ՆՈՐ ԿՈՆՍՏՐՈՒԿՑԻԱ 93

ԳԶՐԱՐՅԱՆ Ռ.Վ.

ԱՐԵԳԱԿՆԱՅԻՆ ՖՈՏՈԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ ԵՎ ՀԻԴՐՈԿՈՒՏԱԿԻՉ ՀԱՄԱԿՑՎԱԾ
ԿԱՅԱՆ 100

СОДЕРЖАНИЕ

МУСАЕЛЯН Г.В., ЗАКАРЯН Л.О.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РАМЫ И
НАДРАМНИКА АВТОМОБИЛЯ-САМОСВАЛА 3

ХАЧАТРЯН Э.А., САРОЯН Р.С., КАЗАРЯН А.Г.

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО СПОСОБА ПОЛУЧЕНИЯ
МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ТИТАНА НА ЕГО КОРРОЗИОННОЕ И
ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ В КИСЛЫХ СРЕДАХ 8

ЕНГИБАРЯН С.Н., СУХУДЯН Г.А.

ХИМИЧЕСКОЕ ОБЕСКРЕМНИВАНИЕ ПЕМЗОВОГО И ФЕЛЬЗИТОВОГО
ТУФОВ 15

ХАЧАТРЯН В.С., АПРОЯН А.С.

ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ФУНКЦИИ ПОТЕРЬ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ
ОТНОСИТЕЛЬНО КОЭФФИЦИЕНТОВ ТРАНСФОРМАЦИИ
ТРАНСФОРМАТОРОВ 21

ГНУНИ Т.С., АЛЕКСАНИЯН Л. Г.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ КОЭФФИЦИЕНТА НЕРАВНОМЕРНОСТИ В
МАГИСТРАЛЬНЫХ ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ 0.38/0.22 кВ НА ОСНОВЕ
НЕЧЕТКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ 32

АРАКЕЛЯН В.П., АКОПЯН Л.А.

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЕРВИЧНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВОЗДУШНЫХ
ЛИНИЙ, ОСНОВАННЫЙ НА РАСЧЕТЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ 40

САФАРЯН В.С.

РАСЧЕТ РЕЖИМОВ НЕЛИНЕЙНЫХ РЕЗИСТИВНЫХ ЦЕПЕЙ 47

АЗАРЯН М.Г.

ЗАДАЧА ВЕРТИКАЛЬНОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ В ЛАБОРАТОРНОМ
ЗОНДОВОМ МИКРОСКОПЕ 54

ШАХКАМЯН Д.А.

РАЗРАБОТКА СХЕМЫ РЕЗИСТОРНОЙ МАТРИЦЫ, УПРАВЛЯЕМОЙ
МОП ТРАНЗИСТОРАМИ 61

АСАТРЯН Д.Г., ШАХВЕРДЯН Г.С., АСАТРЯН Н.С.

УСТОЙЧИВЫЙ ЦИФРОВОЙ АЛГОРИТМ ЗАЩИТЫ ИЗОБРАЖЕНИЯ	69
<i>ГОМЦЯН О.А., УСИКЯН Л.Д.</i>	
АНАЛИЗ АДЕКВАТНОСТИ ДЕТЕРМИНИСТИЧЕСКОЙ И ВЕРОЯТНОСТНОЙ МОДЕЛЕЙ СОТОВОЙ СИСТЕМЫ СВЯЗИ	76
<i>БАГДАСАРЯН Г.Б., АЙРУМЯН С.С.</i>	
ВНУТРЕННЕЕ ТРЕНИЕ КАК ПАРАМЕТР ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ МАТЕРИАЛА ПОСЛЕ РЕЗАНИЯ	85
<i>БАБАЯН З.А., ИГНАТЯН Э.Л.</i>	
КОНТРОЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЛИНЕЙНЫХ РАЗМЕРОВ ПРИРОДНЫХ КАМЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ ОТ НАНОМЕТРОВОГО ДО МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНОВ	89
<i>ГЕВОРГЯН Г.Г.</i>	
НОВАЯ КОНСТРУКЦИЯ ПОЛЮСА РОТОРА ГИДРОГЕНЕРАТОРА	93
<i>ГЗРАРЯН Р.В.</i>	
СОВМЕЩЕННАЯ СОЛНЕЧНАЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ И ГИДРОАККУМУЛИРУЮЩАЯ СТАНЦИЯ	100

CONTENTS

MUSAYELYAN G.V., ZAKARYAN L.H.

TRUCK FRAME AND TIPPER FRAME SUPPLEMENT INTERACTION PARTICULARITY INVESTIGATION	3
--	---

KHACHATRYAN E.A., SAROYAN R.S., KHAZARYAN A.G.

THE INFLUENCE OF THE TECHNOLOGICAL METHOD FOR OBTAINING METALLIC TITANIUM IN ACID ENVIRONMENT ON ITS CORROSIVE AND ELECTROCHEMICAL BEHAVIOUR	8
--	---

YENGIBARYAN S.N., SUKHUDYAN G.A.

CHEMICAL DESILICONIZING OF PUMICE AND FELSITE TUFF	15
--	----

KHACHATRYAN V.S., APROYAN A.S.

ACTIVE POWER LOSS SENSIBILITY CONCERNING TRANSFORMER TRANSFORMATION COEFFICIENTS	21
---	----

GNUNI T.S., ALEKSANYAN L.H.

DEFINITION OF NON-UNIFORMITY COEFFICIENT IN THE 0.38/0.22kV MAINS ELECTRIC LINES THROUGH UNCERTAIN PROGRAMMING	32
---	----

ARAKELYAN V.P., HAKOPYAN L.A.

AIR LINE PRIMARY PARAMETER DEFINITION METHOD BASED ON ELECTROMAGNETIC FIELD CALCULATION	40
--	----

SAFARYAN V.S.

CALCULATION OF NONLINEAR RESISTIVE CIRCUIT MODES	47
--	----

AZARYAN M.H.

VERTICAL POSITIONING PROBLEM IN LABORATORY PROBE MICROSCOPES	54
---	----

SHAGHGAMYAN D.A.

DEVELOPMENT OF RESISTOR MATRIX SCHEME CONTROLLED BY MOS TRANSISTORS	61
--	----

ASATRYAN D.G., SHAHVERDYAN H.S., ASATRYAN N.S.

DIGITAL ROBUST ALGORITHM FOR IMAGE PROTECTON	69
GOMTSYAN O.A., HUSIKYAN L.D.	
ANALYSIS OF DETERMINISTIC AND STOCHASTIC ADEQUACY MODELS OF THE CELLULAR COMMUNICATION SYSTEM	76
BAGHDASARYAN G.B., HAYRUMYAN S.S.	
INTERNAL FRICTION AS A PARAMETER OF MATERIAL STATE ESTIMATION AFTER CUTTING PROCESS	85
BABAYAN Z.A., IGNATYAN E.L.	
CONTROL SYSTEM FOR MEASURING ROUGHNESS PARAMETERS FROM NANOMETER UP TO MILLIMETER RANGES	89
GEVORGYAN G.G.	
NEW CONSTRUCTION OF HYDROGENERATOR ROTOR POLE	93
GZRARYAN R.V.	
COMBINED SOLAR PHOTOVOLTAIC AND HYDROELECTRIC PUMPED STORAGE POWER PLANT	100