

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.Մ. ՂԱԶԱՐՅԱՆ, Ռ.Զ. ՄԱՐՈՒԽՅԱՆ, ՅՈՒ.Լ. ՍԱՐԳՍՅԱՆ, Վ.Ս. ՍԱՐԿՍՅԱՆ,
Ս.Հ. ՄԻՄՈՆՅԱՆ, Ս.Գ. ՍՏԱԿՅԱՆ, Վ.Ս. ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Р.М. МАРТИРОСЯН (главный редактор), А.А. ТЕРЗЯН (зам. глав. редактора),
З.К. СТЕПАНИЯН (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

Խմբագիրներ՝

ՀԱՍՄԻԿ ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ
ՆԵԼԼԻ ԱՆԱՆՅԱՆ

© Издательство ГИУА

Известия НАН и ГИУ Армении (сер. техн. наук), 2012

Ա.Մ. ԱՐՁՈՒՄԱՆՅԱՆ, Զ.Ա. ՄԻՆԱՍՅԱՆ, Ս.Հ. ՀԱԿՈԲՅԱՆ

**ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ ԴԱՇՏԻ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅԱՄԲ ԿՈՐՈՒՆԴԵ ԿՏՐՈՂ ԹԻԹԵՂԻԿԻ
ՄԻԿՐՈԿԱՐԾՐՈՒԹՅԱՆ ԳՆԱՀԱՏՄԱՆ ՄԱԹԵՄԱՏԻԿԱԿԱՆ ՄՈՂԵԼ**

Դիտարկվում է էլեկտրական դաշտի ազդեցությամբ գունավոր մետաղների ու համաձուլվածքների սայրային նուրբ մշակման գործընթացում արհեստական կորունդից կտրող թիթեղիկների փխրամրության ու մաշակայունության արդյունավետության բարձրացման հարցը: Մշակված մաթեմատիկական մոդելը թույլ է տալիս հաշվի առնել էլեկտրական դաշտի ազդեցությամբ կտրող թիթեղիկում դիսլոկացիաների արգելական երևույթը:

Առանցքային բառեր. էլեկտրական դաշտ, արհեստական կորունդ, փխրամրություն, կտրող թիթեղիկ, դիսլոկացիա, արգելակում:

Արհեստական կորունդից կտրող թիթեղիկներով գունավոր մետաղների և համաձուլվածքների սայրային նուրբ մշակման գործընթացը շատ հաճախ հանդիսանում է վերջնամշակման արդյունք: Մշակվող մակերևույթի մաքրությունը, որակն ու ճշգրտությունը հիմնականում կախված են կտրող թիթեղիկի միկրոկարծրությունից, մաշակայունությունից և փշրամաշման ամրությունից:

Բյուրեղային կառուցվածք ունեցող նյութերի ֆիզիկամեխանիկական հատկությունների ուսումնասիրությունը հանգեցնում է այն եզրակացության, որ բյուրեղների իրական ամրությունը շատ անգամ ցածր է տեսական ամրությունից [1]: Դա բացատրվում է բյուրեղային ցանցի դասավորվածության շեղումներով, այսինքն՝ դիսլոկացիաներով: Ցանկացած միաբյուրեղային նյութ ունի բազմազան արատներ, որոնք նվազեցնում են բյուրեղների ամրությունը: Բյուրեղների վրա որոշակի ուժով ազդելու դեպքում արատները բյուրեղներում կսկսեն տեղաշարժվել:

Մի շարք հետազոտություններով պարզվել է, որ կտրող թիթեղիկի անբավարար ամրության պայմաններում նրա փշրումը պայմանավորված է փխրուն կոտրմամբ [2]:

Մշակման նորմալ պայմաններում զգալի ամրության պաշարի գործակից ունեցող կտրող թիթեղիկը չպետք է ենթարկվի փխրուն և պլաստիկ փշրման:

Արհեստական կորունդից կտրող թիթեղիկների փխրամրությունն ու մաշակայունությունը հիմնականում կախված են թիթեղիկի բյուրեղական կողմնորոշումից, բյուրեղային ցանցում առկա արատներից և արհեստական կորունդի ֆիզիկամեխանիկական հատկություններից: Հետևաբար, արհեստական կորունդից կտրող թիթեղիկների փխրամրությունն ու մաշակայունությունը կարելի է բարձրացնել դրանց ճշգրիտ կողմնորոշմամբ, բյուրեղային ցանցի արատների նվազեցմամբ և ֆիզիկական որոշակի երևույթներով կտրող թիթեղիկների ֆիզիկամեխանիկական հատկությունների լավարկմամբ:

Գունավոր մետաղների և համաձուլվածքների սայրային նուրբ մշակման ժամանակ արհեստական կորունդից կտրող թիթեղիկի միկրոկարծրությունը կարելի է որոշել հետևյալ բանաձևով [3].

$$H = \frac{G \cdot b}{K} \cdot \sqrt{\rho}, \quad (1)$$

որտեղ G - ն սահքի մոդուլն է, b - ն՝ Բյուրգերսի վեկտորը, K - ն՝ հատուկ գործակից, ρ - ն՝ արհեստական կորունդից կտրող թիթեղիկում դիսլոկացիաների միջին խտությունը: Միկրոկարծրությունը բնութագրվում է որպես բյուրեղի ներսում ընտրված միավոր մակերևույթը թափանցող դիսլոկացիաների քանակ:

Եթե կտրող թիթեղիկի վրա ազդենք որոշակի ուժով, ապա նրանում դիսլոկացիաների միջին խտությունը կսկսի աճել մինչև $10^{11} \dots 10^{12}$: Դիսլոկացիաների խտության հետագա աճը կհանգեցնի կտրող թիթեղիկի քայքայման (փշրման) [4]:

K հատուկ գործակիցը որոշվել է փորձնական ճանապարհով և մոտարկվել հետևյալ բանաձևով.

$$K = nH - m, \quad (2)$$

որտեղ n - ը և m - ը փորձնական ճանապարհով ստացված գործակիցներ են, և արհեստական կորունդից կտրող թիթեղիկի համար $n = 8,3 \cdot 10^{-12}$, $m = 0,166$:

Դեֆորմացիայի համար անհրաժեշտ լարումը որոշվում է հետևյալ բանաձևով [4].

$$\sigma = \frac{Gb}{k} \cdot \sqrt{\rho}, \quad (3)$$

որտեղ k - ն թվային բազմապատկիչ է ($k = 3$):

Ելնելով (3) արտահայտությունից, դիսլոկացիաների միջին խտության համար կարող ենք գրել.

$$\sqrt{\rho} = \frac{\sigma k}{Gb}: \quad (4)$$

Քանի որ կտրման գործընթացում արհեստական կորունդից կտրող թիթեղիկի վրա ազդում է կտրման P_z ուժը, ապա կտրող թիթեղիկում դիսլոկացիաների միջին խտության համար կստանանք.

$$\sqrt{\rho} = \frac{P_z k}{S G b}, \quad (5)$$

որտեղ S - ը կտրող թիթեղիկի առջևի մակերևույթի մակերեսն է:

Գոյություն ունեն բյուրեղային կառուցվածք ունեցող նյութերի ամրության բարձրացման բազմաթիվ եղանակներ, որոնցից են բարձր ջերմաստիճանի պայմաններ-

րում հատուկ ջերմամշակման ենթարկելու գործընթացը, լուսային աղբյուրի և էլեկտրամագնիսական դաշտի ազդեցությունները և այլն [4-7]: Այս դեպքում արհեստական կորունդից կտրող թիթեղիկը ջերմամշակման ենթարկել նպատակահարմար չէ. թեև նշված գործընթացներից հետո կբարձրանան կտրող թիթեղիկի ամրությունն ու մաշակայունությունը, սակայն հետագա մշակման և մաշումից հետո վերասրման ժամանակ կառաջանան որոշակի դժվարություններ:

Գունավոր մետաղների և համաձուլվածքների սայրային մշակման ժամանակ միաբյուրեղային կտրող գործիքները լուսային ազդեցության ենթարկելը նույնպես նպաստում է կտրող թիթեղիկի ամրության և մաշակայունության բնութագրերի լավարկմանը՝ շնորհիվ միաբյուրեղում դիսլոկացիաների արգելակման [4]:

Նշված գործընթացներից շատերը կապված են դիսլոկացիաների շարժման լրացուցիչ արգելակիչների ներմուծման հետ: Այդպիսի արգելակիչ է դիսլոկացիաների քանակի ավելացումը, որը հանգեցնում է դիսլոկացիաների շարժման արգելակմանը՝ դրանց իրար հետ փոխազդեցության հաշվին [1]:

Նկատի ունենալով դիսլոկացիաների շարժման արգելակման վրա էլեկտրական դաշտի ունեցած ազդեցությունը [5, 6]՝ խնդիր է դրվել կատարել էլեկտրական դաշտի ազդեցությամբ գունավոր մետաղների և համաձուլվածքների սայրային նուրբ ընդհատում մշակման գործընթացում արհեստական կորունդից կտրող թիթեղիկի միկրոկարծրության որոշման հետազոտություն:

Էլեկտրական դաշտի ազդեցության պայմաններում արհեստական կորունդից կտրող թիթեղիկում դիսլոկացիաների միջին խտությունը կմեծանա, որը կարելի է որոշել հետևյալ բանաձևով.

$$\sqrt{\rho} = \frac{(P_z + F_e) \cdot k}{SGb}, \quad (6)$$

որտեղ F_e - ն կտրող թիթեղիկի վրա ազդող էլեկտրական դաշտի ուժն է:

Տեղադրելով (2) և (6) արտահայտությունները (1) – ի մեջ՝ էլեկտրական դաշտի ազդեցությամբ գունավոր մետաղների և համաձուլվածքների սայրային նուրբ մշակման գործընթացում արհեստական կորունդից կտրող թիթեղիկի միկրոկարծրությունը կարելի է որոշել.

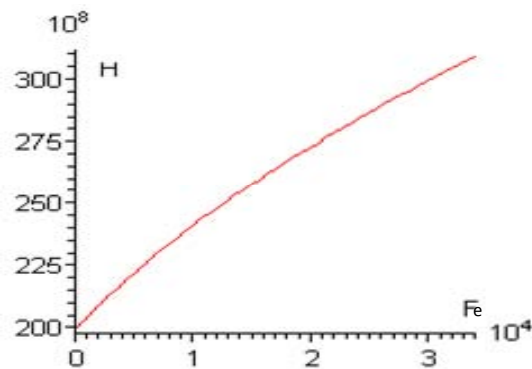
$$H = \frac{mS + \left((mS)^2 + 4nSk \cdot (P_z + F_e)\right)^{\frac{1}{2}}}{2nS} : \quad (7)$$

Արհեստական կորունդից կտրող թիթեղիկի համար, նկատի ունենալով n , m , k գործակիցների արժեքները և կտրող թիթեղիկի առջևի մակերևույթի մակերեսը, ինչպես նաև կատարելով որոշակի ձևափոխություններ, (7) արտահայտության փոխարեն կստանանք.

$$H = \frac{H_0}{2} + \left(M \cdot (P_z + F_e) + \frac{H_0^2}{4} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (8)$$

որտեղ H_0 - ն արհեստական կորունդից կտրող թիթեղիկի սկզբնական միկրոկարծրությունն է, $M = 10^{16}$ - ն՝ դիսլոկացիաների շարժման արգելակման վրա կտրման և էլեկտրական դաշտի ուժերի ազդեցությունները հաշվի առնող գործակից:

Գունավոր մետաղների և համաձուլվածքների սայրային նուրբ մշակման ժամանակ էլեկտրական դաշտի ազդեցությամբ արհեստական կորունդից կտրող թիթեղիկի միկրոկարծրության՝ էլեկտրական դաշտի ուժից կախվածության գրաֆիկը պատկերված է նկ. 1 - ում:



Նկ. 1. Էլեկտրական դաշտի ազդեցությամբ արհեստական կորունդից կտրող թիթեղիկի միկրոկարծրության կախվածությունը էլեկտրական դաշտի ուժից

Գրաֆիկից երևում է, որ էլեկտրական դաշտի ուժի աճին զուգընթաց արհեստական կորունդից կտրող թիթեղիկի միկրոկարծրությունը սկսում է աճել ավելի դանդաղ:

Էլեկտրական դաշտի F_e ուժը կարելի է որոշել հետևյալ բանաձևով [8].

$$F_e = qE, \quad (9)$$

որտեղ q - ն էլեկտրական լիցքն է (q_l), E - ն՝ էլեկտրական դաշտի լարվածությունը:

Էլեկտրական լիցքը որոշվում է հետևյալ բանաձևով [8].

$$q = It, \quad (10)$$

որտեղ I - ն հոսանքի ուժն է, t - ն՝ ժամանակը:

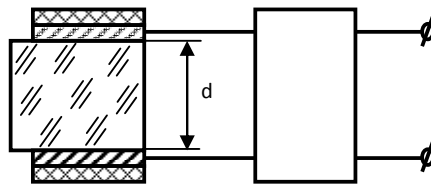
Էլեկտրական դաշտի լարվածությունը որոշվում է հետևյալ բանաձևով [8].

$$E = \frac{U}{d}, \quad (11)$$

որտեղ U - ն էլեկտրական դաշտի լարումն է, d - ն՝ թիթեղիկին հոսանքի հաղորդման ժամանակ միջկոնտակտային հեռավորությունը (նկ. 2):

Տեղադրելով (9), (10), (11) արտահայտությունները (8) բանաձևի մեջ՝ կստանանք.

$$H = \frac{H_0}{2} + \left(10^{16} \cdot \left(P_z + \frac{IUt}{d} \right) + \frac{H_0^2}{4} \right)^{\frac{1}{2}} : \quad (12)$$



Նկ. 2. Արհեստական կորունդից կտրող թիթեղիկին հոսանքի հաղորդման գծապատկերը

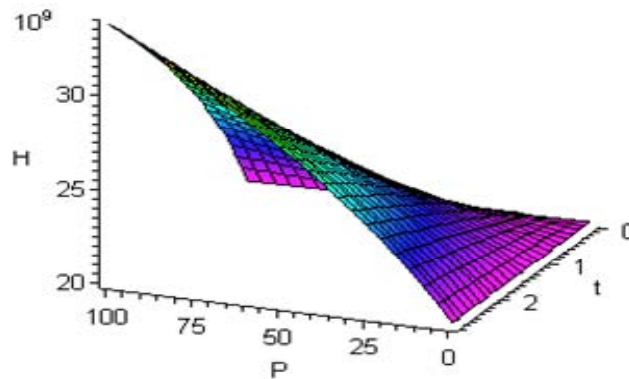
Նկատի ունենալով, որ էլեկտրական դաշտի հզորությունը որոշվում է $P = UI$ բանաձևով [8], (12) արտահայտության փոխարեն կստանանք.

$$H = \frac{H_0}{2} + \left(10^{16} \cdot \left(P_z + \frac{Pt}{d} \right) + \frac{H_0^2}{4} \right)^{\frac{1}{2}} : \quad (13)$$

Ստացված արտահայտությունը ներկայացնում է էլեկտրական դաշտի ազդեցությամբ արհեստական կորունդից կտրող թիթեղիկի միկրոկարծրության որոշման մաթեմատիկական մոդելը, որը հնարավորություն է տալիս կարգավորել կտրող թիթեղիկի միկրոկարծրությունը՝ կախված հոսանքի հզորությունից և ազդման ժամանակից:

Ելնելով վերևում նշված դիսկուսիաների խտության առավելագույն արժեքը չգերազանցելու անհրաժեշտությունից, նախատեսվել է կտրող թիթեղիկին հաղորդել մինչև 100 Վտ հզորությամբ հաստատուն էլեկտրական հոսանք՝ մինչև 2,8 Վ/ ազդման տևողության պարբերություններով:

Գունավոր մետաղների և համաձուլվածքների սայրային նուրբ մշակման ժամանակ էլեկտրական դաշտի ազդեցությամբ արհեստական կորունդից կտրող թիթեղիկի միկրոկարծրության՝ էլեկտրական դաշտի հզորությունից և ժամանակից կախվածության գրաֆիկը պատկերված է նկ. 3 - ում:



Նկ. 3. Էլեկտրական դաշտի ազդեցությամբ արհեստական կորունդից կտրող թիթեղիկի միկրոկարծրության կախվածությունը էլեկտրական դաշտի հզորությունից և ժամանակից

Գրաֆիկից երևում է, որ էլեկտրական դաշտի հզորության և ժամանակի աճը հանգեցնում է արհեստական կորունդից կտրող թիթեղիկի միկրոկարծրության աճին, ընդ որում, դրանց աճին զուգընթաց՝ միկրոկարծրությունը սկսում է աճել ավելի դանդաղ:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Винтайкин Б. Е.** Физика твердого тела.- М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008.- 360 с.
2. **Хачатрян Г.Г., Арзуманян А.М., Хачатрян Г.Б.** Хрупкая прочность резцов и фрез из синтетического корунда // Прогрессивные инструменты и методы обработки резанием авиационных материалов: Сборник материалов КуАИ. – Куйбышев, 1989. – С. 4-8.
3. **Старков В.К.** Дислокационные представления о резании металлов. – М.: Машиностроение, 1979. – 160 с.
4. **Арзуманян А.М.** Исследование влияния непрерывного освещения рубиновой режущей пластины корунда на износ по задней поверхности // Вестник МАНЭБ. – СПб., 2005. - Том 10, № 6. - С. 105-108.
5. **Осипьян Ю.А., Петренко В.Ф.** Экспериментальное наблюдение влияния электрического поля на пластическую деформацию кристаллов *ZnSe* // Письма в ЖЭТФ. - 1973. - Том 17, вып. 10. - С. 555 – 557.
6. Влияние электрического тока на стартовые характеристики и активационные параметры коротких дислокаций в кристаллах кремния / **В.А. Макара, Л.П. Стебленко, В.В. Обуховский и др.** // Физика твердого тела. - 2000. -Том 42, вып. 5. - С. 854 – 858.
7. **Мацокин В.П., Назаренко В.Г.** Особенности эволюции дислокационной структуры при отжиге деформированных монокристаллов // Известия АН. Сер. Физ. - 1995. – Т. 59, №10. - С. 55-59.
8. **Зильберман Г.Е.** Электричество и магнетизм. – М.: Изд-во “Интеллект”, 2008. – 376 с.

ՀՊՀՀ (ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿ) ԳՄ. Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 08.09.2011:

А.М. АРЗУМАНЯН, З.А. МИНАСЯН, С.А. АКОПЯН

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ МИКРОТВЕРДОСТИ КОРУНДОВОЙ
РЕЖУЩЕЙ ПЛАСТИНКИ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ**

Рассматриваются вопросы повышения эффективности хрупкой прочности и износостойкости режущих пластин из синтетического корунда в процессе тонкой обработки цветных металлов и сплавов под воздействием электрического поля. Разработанная математическая модель позволяет учесть явление торможения дислокаций в режущей пластине под воздействием электрического поля.

Ключевые слова: электрическое поле, синтетический корунд, хрупкая прочность, режущая пластина, дислокация, торможение.

A.M. ARZUMANYAN, Z.A. MINASYAN, S.H. HAKOBYAN

**MATHEMATICAL MODEL FOR EVALUATING MICROHARDNESS INSERT
CORUNDUM UNDER THE ELECTRIC FIELD**

The problems of brittle strength efficiency and durability of synthetic corundum cutting blades in thin non-ferrous metals and alloys under the influence of the electric field are considered. The mathematical model allows to take into account the phenomenon of cutting braking dislocation plate under the electric field.

Keywords: electric field, synthetic corundum, brittle fracture, cutting plate, dislocation, braking.

М.М. СИМОНЯН

**РАСЧЕТ ДЕЙСТВУЮЩИХ НАПРЯЖЕНИЙ В КОНТАКТНОЙ ЗОНЕ
РЕЖУЩЕГО ТВЕРДОСПЛАВНОГО КЛИНА С УЧЕТОМ ДИНАМИКИ
НАГРУЖЕНИЯ ПРИ ПРЕРЫВИСТОМ РЕЗАНИИ**

Исследованы вопросы прочности твердосплавного инструмента в контактной зоне режущего клина при прерывистом резании. При оценке хрупкой прочности режущего клина твердосплавная пластина рассматривалась как балка на упругом основании. Расчет прочности клина произведен для случаев распределения контактных нагрузок по прямоугольному и треугольному законам.

Ключевые слова: прочность, режущий клин, твердосплавная пластина, прерывистое резание, контактная нагрузка.

Известно, что при расчете действующих напряжений в контактной зоне, согласно принципу Сен-Венана, необходимо учитывать характер (закон) распределения нагрузок [1]. Определение характера распределения действующих нагрузок в контактной зоне представляет сложную техническую задачу. При исследовании напряжений деформированного состояния и выявлении характера распределения напряжений в контактной зоне области резания наглядным примером является поляризационно-оптический метод (метод динамической фотоупругости), но материал инструмента, используемого при этом и проявляющего при нагружении оптическую анизотропию, пригоден лишь для моделирования процесса резания на малых скоростях и низких температурах режущей части клина [1,2].

При обработке пластичных материалов резанием контуры деформируемой области и напряженное состояние во всех точках зоны резания, в том числе и в зоне контакта стружки с резцом, остаются практически неизменными во времени. Это дает основание с достаточно хорошим приближением рассматривать задачу о взаимодействии стружки с резцом как статическую задачу о контакте двух тел [2]. Одно из этих тел (резец) остается упруго-напряженным во всех точках. Другое тело содержит пластическую область, контуры которой зависят от напряженного состояния и, следовательно, подлежат определению. В такой постановке рассматриваемая задача относится к упруго-пластическим задачам механики сплошной среды, которые являются наиболее трудными и решаются лишь для простейших случаев [3]. По сравнению с упруго-напряженной областью, размеры контактной пластической области в стружке не велики и убывают с повышением скорости резания. Необходимо учесть также, что в пределах пластического кон-

такта передвижение стружки происходит не по передней поверхности, а по заторможенному слою, и сопротивление движению стружки определяется сопротивлением сдвигу в ее контактной зоне. На этом участке внешнее трение скольжения заменяется “внутренним” трением между отдельными слоями стружки. Экспериментальные исследования показывают, что коэффициент трения по длине контакта не постоянен, а возрастает по направлению от режущей кромки к точке, в которой стружка покидает резец. Однако влияние изменения коэффициента трения в практических расчетах можно не учитывать [1]. В случае резания контуры деформируемой области и другие граничные условия весьма сложны, что делает невозможным строгое решение математической задачи о взаимодействии стружки с резцом и заставляет искать пути ее упрощения. К примеру, одним из путей может быть решение рассматриваемой задачи методами теории упругости в предположении, что пластическая область в зоне резания пренебрежимо мала и не оказывает влияния на напряженное состояние. В теоретических исследованиях разных авторов эти методы используются даже для определения положения пластических сдвигов при стружкообразовании. Поэтому, если исследовать область около контактной зоны, то взаимодействие стружки с резцом можно рассматривать как соприкосновение двух упругих тел, осложненное появлением небольшой контактной пластической области. Решение подобной задачи методами теории упругости в качестве первого приближения вполне оправданно [3].

Важно также отметить, что формы эпюр контактных напряжений вблизи режущей кромки сильно различаются, где из-за отсутствия надежных данных полученные результаты противоречивы, и влияние внешних факторов (материала и геометрических параметров резца, элементов режима резания и др.) на форму эпюр контактных напряжений – самостоятельный и малоизученный вопрос. Имеющийся экспериментальный материал не позволяет дать на него исчерпывающий ответ, но достаточен, чтобы оценить, пусть не совсем точно, влияние основных факторов [3]. В технической литературе высказываются мнения, что эпюры контактных нормальных напряжений, действующих на переднюю поверхность, могут быть прямоугольными, треугольными, трапециевидными, параболическими и т.п. [1,2,7].

Величины напряжений, действующие в процессе резания, в большей степени зависят от способа крепления пластины на опорной поверхности. Изгиб пластины вместе с корпусом и относительно последнего существенно не влияет на сжимающие напряжения, возникающие в контактной зоне. Поэтому представление о рабочей части инструмента как о полубесконечном клине из однородного материала [4] правомочно при определении напряжений в этой зоне. Оно допустимо также при изучении прочности режущей части в опасном сечении. При этом для анализа разрушений пластины и деформации опорной зоны инструмента необходимо учитывать, что инструмент является составным телом при

разности в модулях упругости пластин и корпуса, а пластину из твердого сплава можно рассматривать как пластину на упругом основании с защемленным концом [4]. Зону стружкообразования, переходящую в стружку с упрочнением, можно рассматривать как одну опору, а ее продолжение, контактирующее с передней поверхностью пластины и создающее давление на нее, - как полубесконечную упругую полосу, опирающуюся на упругое основание, и при этом напряжения распределяются по некоторому закону.

Расчет нормальных напряжений от изгиба твердосплавной пластины в контактной зоне во время первоначального контакта инструмента с заготовкой при работе острым инструментом производился в предположении, что прямоугольная пластина или балка закреплена по всей длине на сплошном упругом основании, которое при изгибе пластины будет оказывать на нее давление посредством распределенных реактивных сил, величины которых в каждом сечении стержня будут пропорциональны прогибу пластины. Эти реактивные силы, действующие на единицу длины, обозначим через $k \cdot y$, где y – прогиб, а k – коэффициент упругости основания и представляет реактивную силу на единицу длины пластины при прогибе, равном единице. Предположение, что реактивные силы упругого основания пропорциональны прогибам, освобождает от дополнительных трудностей и для решения подобных задач является вполне достаточным [5,6].

Для расчета хрупкой прочности режущего клина проведен ряд экспериментов на трех материалах: сталь 40Х, сталь 45 и железо Армко, при неизменных геометрических параметрах резца, армированного твердосплавной пластиной Т5К10 ($\gamma = 12^\circ, \alpha = 6^\circ, \varphi = 60^\circ, \varphi_0 = 20^\circ, \lambda = 0^\circ$).

Рассмотрим случай, когда пластина на опорной поверхности плотно закреплена на упругом основании и частично - на длине l_k (длина контакта) нагружена распределенной нагрузкой (рис. 1).

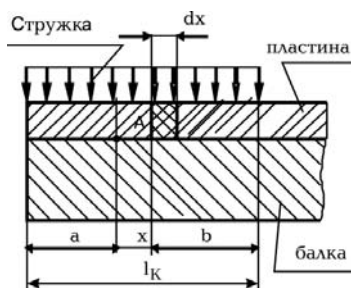


Рис. 1. Пластина на упругом основании

Имея закон распределения контактных давлений по передней поверхности инструмента, вышеизложенным методом можем найти величины прогибов и

изгибающих напряжений в любой точке. Наибольшее напряжение изгиба пластины в контактной зоне при прямоугольном распределении нагрузок будет [6]:

$$\sigma_{max} = \frac{3\sigma_c \cdot b_k \cdot l_k}{2bh^2} \sqrt{\frac{4EI}{k}} \text{ или } \sigma_{max} = \frac{3\sigma_c \cdot b_k \cdot l_k}{2bh^2} \xi, \quad (1)$$

где $\xi = \sqrt{\frac{4EI}{k}}$; E – модуль упругости пластины; I – момент инерции сечения пластины в контактной зоне; h – толщина пластины.

Формула (1) через коэффициент k отражает влияние модулей упругости и моментов инерции элементов рабочей части резца. Важно отметить, что вблизи точек приложения силы или распределенной нагрузки закон распределения нормальных напряжений в поперечных сечениях балки от действия изгибающего момента будет более сложным, т.к. в контактных площадках возникают местные напряжения. Точное решение задачи показывает, что напряжения в какой-либо точке А направлены по радиусу, соединяющему точку А с точкой О, и являются напряжениями сжатия, величины которых можно вычислить по зависимости [5]

$$\sigma_r = \frac{2P}{\pi \times t} \cdot \frac{\cos \theta}{r}, \quad (2)$$

где r – расстояние рассматриваемой точки от точки приложения силы (рис. 2); t – ширина балки; θ – угол, составляемый радиусом и направлением силы P . При точном решении задачи к этим напряжениям должны прибавляться расчетные нормальные напряжения. При изгибе балок распределенной нагрузкой (рис. 3) разница между обычной формулой для напряжений и точным решением объясняется тем, что нагрузка прижимает продольные сечения друг к другу.

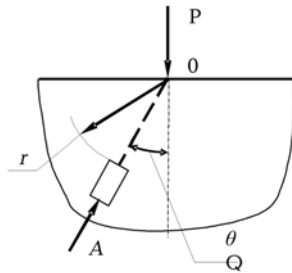


Рис. 2. Схема определения местных напряжений

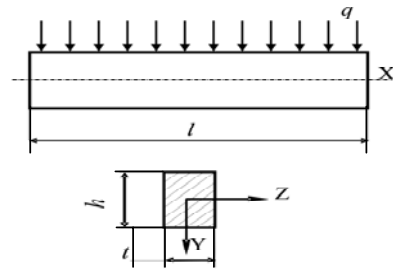


Рис. 3. К точному решению изгиба балки под действием распределенной нагрузки

Поправка к формуле (2), учитывающей местные напряжения при изгибе балки распределенной нагрузкой, определяется из следующего уравнения:

$$\sigma_n = \frac{\sigma_c}{2I} \left(\frac{h^2}{10} y - \frac{2}{3} y^3 \right). \quad (3)$$

Как видно из зависимостей (2) и (3), при изгибе балок сосредоточенной силой или распределенной нагрузкой поправки, учитывающие местные напряжения, в основном, определяют изменения нормальных напряжений по глубине. При определении нормальных напряжений в контактных слоях эти поправки можно не учитывать [5], и расчет напряжений, возникающих в этих слоях при изгибе балок, находящихся на упругом основании, можно с достаточной точностью выполнить с помощью уравнения (1).

В табл. 1 приведены значения динамических напряжений с учетом силы удара [8]. Величины, необходимые при расчете максимальных динамических изгибающих напряжений, были определены по методикам и формулам, приведенным в [1,2,7].

Таблица 1

Расчетные данные для оценки прочности инструмента в контактной зоне
(прямоугольное распределение)

Расчетные элементы	Обрабатываемый материал		
	Сталь 40Х	Сталь 45	Железо Армо
V, м/мин	48	48	48
a, мм	0,433	0,433	0,433
b, мм	1,7	1,7	1,7
h, мм	7	7	7
σ_c , кг/мм ²	56,25	41,65	29,79
K, кг/мм ²	421,4	421,4	421,4
$[\sigma_{вр}]_{Т15К6}$, кг/мм ²	72,52	72,52	72,52
$[\sigma_{изд}]_{Т15К6}$, кг/мм ²	117,6	117,6	117,6
E _{Т15К6} , кг/мм ²	4,1x10 ⁴	4,1x10 ⁴	4,1x10 ⁴
$\sigma_{изд}$, кг/мм ²	30,68	31,5	40,65
Вылет резца, l _p , мм	50	50	50
b×h, мм	20 x 30	20 x 30	20 x 30
K _{АЭІ}	1,62	1,82	1,76
$\sigma_{изг.дин} / [\sigma_{изг}]_{Т15К6}$	0,26	0,27	0,35

Коэффициент упругости основания (табл. 1) определяется следующим образом:

$$K = \frac{P}{\delta \cdot l}, \quad (4)$$

где P – нагрузка, приложенная к вершине резца; δ – упругое перемещение вершины резца под воздействием нагрузки; l – вылет резца. В нашем случае $K = 4,21 \cdot 10^2 \text{ кг/мм}^2$.

Определим нормальное напряжение от изгиба твердосплавной пластины в контактной зоне при врезании инструмента в обрабатываемый материал и распределении контактных нормальных напряжений по треугольной эпюре, часто применяемой для решения контактных задач [1,7] (рис. 4). Элементарная нагрузка на длине пластинки будет $\sigma_N \cdot x dx / l_k$. Общая нагрузка на длине l_k при треугольном распределении нагрузок определяется из выражения

$$\sigma = \int_0^{l_k} \sigma_N \cdot \frac{x dx}{l_k} = \frac{\sigma_N \cdot l_k}{2}$$

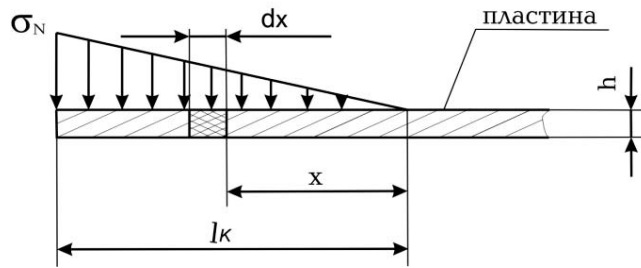


Рис. 4. Распределение контактных нормальных напряжений на длине контакта при треугольной эпюре

Для одной и той же нормальной силы, действующей на переднюю поверхность, с достаточной точностью можно принять, что площади прямоугольной и треугольной эпюр равны [1], т.е. $\sigma_c \cdot l_k = \sigma_N \cdot \frac{l_k}{2}$, $\sigma_N = 2\sigma_c$.

В табл. 2 приведены результаты расчета максимальных динамических изгибающих напряжений в контактной зоне для различных материалов при условии распределения контактных нормальных напряжений по треугольной эпюре.

Таблица 2

Расчетные данные для оценки прочности инструмента в контактной зоне
(треугольное распределение)

Расчетные элементы	Обрабатываемый материал		
	Сталь 40Х	Сталь 45	Железо Армко
$V, \text{м/мин}$	0,433	0,433	0,433
$a, \text{мм}$	1,7	1,7	1,7
$b, \text{мм}$	7	7	7
$h, \text{мм}$	56,25	41,65	29,79
$\sigma_c, \text{кг/мм}^2$	421,4	421,4	421,4
$K, \text{кг/мм}^2$	72,52	72,52	72,52
$[\sigma_{\text{вр}}]_{\text{T15K6}}, \text{кг/мм}^2$	117,6	117,6	117,6
$[\sigma_{\text{изд}}]_{\text{T15K6}}, \text{кг/мм}^2$	$4,1 \times 10^4$	$4,1 \times 10^4$	$4,1 \times 10^4$
$E_{\text{T15K6}}, \text{кг/мм}^2$	38,2	34,6	48,4
$\sigma_{\text{изд}}, \text{кг/мм}^2$	50	50	50
Вылет резца, $l_p, \text{мм}$	20 x 30	20 x 30	20 x 30
$b \times h, \text{мм}$	1,60	1,82	1,68
$K_{\text{АЭИ}}$	61,12	63,0	81,31
$\sigma_{\text{изг.дин}} / [\sigma_{\text{изг.}}]_{\text{T15K6}}$	0,52	0,54	0,70

Результаты, приведенные в табл. 1 и 2, показывают, что динамические напряжения, возникающие вследствие изгиба твердосплавной пластины в контактной зоне при начальном контакте режущего клина с заготовкой, рассчитанные для условий распределения контактных нормальных напряжений по равномерной и треугольной эпюрам, не превышают допустимого значения для инструментального материала. Следует отметить, что наибольшее значение динамических контактных изгибающих напряжений имеет место при треугольной эпюре контактных нормальных напряжений, действующих на переднюю поверхность,

Полученные результаты хорошо согласуются с результатами, приведенными в [1]. Однако из литературных источников и из практики эксплуатации твердосплавных инструментов при прерывистом резании известно немало случаев хрупкого разрушения твердосплавной пластины в контактной зоне.

Анализ полученных нами математических моделей показывает, что сила удара в процессе врезания достигает максимума до того, как деформация в зоне контакта станет максимальной [9]. Из изложенного следует, что при определенных режимах прерывистой обработки хрупкое разрушение от ударных нагрузок может иметь место и в контактной зоне, которому будут способствовать “всплеск”

силы удара при врезании и задержка увеличения сечения среза на передней поверхности клина в переходном периоде [9,10]. Совместное влияние этих факторов может привести к кратковременному “всплеску” действующих контактных напряжений. Этому могут способствовать также растягивающие термические напряжения, возникающие во время холостого хода твердосплавного инструмента [9].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Бетанели А.И.** Прочность и надежность режущего инструмента.- Тбилиси: Сабчота Сакартвело,1973. – 304 с.
2. **Бобров В.Ф.** Основы теории резания металлов.- М.: Машиностроение, 1995. – 138 с.
3. **Полетика М.Ф.** Контактные нагрузки на режущих поверхностях инструмента. - М.: Машиностроение, 1969. - 148 с.
4. **Хаег Г.Л.** Прочность режущего инструмента.- М.: Машиностроение, 1975. – 166 с.
5. **Тимошенко С.П., Лесселье Дж.** Прикладная теория упругости.- М.: Физматгиз, 1975. – 575 с.
6. **Касьян М.В., Симонян М.М.** Оценка хрупкой прочности твердосплавного инструмента в условиях прерывистого резания // Изв. АН АрмССР. Сер. ТН. - 1980. – Т. XXXIII, № 3.– С. 3 - 6.
7. **Лоладзе Т.Н.** Прочность и износостойкость режущего инструмента. - М.: Машиностроение, 1982. – 320с.
8. **Симонян М.М., Балаян В.А., Кочарян К.С.** Влияние адгезии на работоспособность твердосплавного инструмента при выходе из зоны резания с нулевой толщиной среза // Вестник машиностроения.- М., 2010. - №9. – С. 62-64.
9. **Симонян М.М.** О некоторых явлениях переходного периода процесса прерывистого резания при врезании инструмента в заготовку // Вестник машиностроения.- М., 2005. - № 10. –С. 50 - 52.
10. **Симонян М.М.** Исследование динамики силового и теплового воздействий на твердосплавный инструмент при прерывистом резании // Вестник машиностроения.- М., 2004.- № 12. – С. 54 - 56.

Ванадзорский филиал ГИУА (ПОЛИТЕХНИК). Материал поступил в редакцию 06.12.2011.

Մ.Մ. ՄԻՄՈՆՅԱՆ

ԸՆԴՀԱՆ ՎՏՐՄԱՆ ԺԱՄԱՆԱԿ ԿԱՐԾՐ ՀԱՄԱՁՈՒՎԱԾՔԵ ՎՏՐՈՂ ՍԵՊԻ ՎՐԱ
ԱԶԴՈՂ ԼԱՐՈՒՄՆԵՐԻ ՀԱՇՎԱՐԿԸ ՎՏՐՄԱՆ ԳՈՏՈՒՄ ԴԻՆԱՄԻԿ ԲԵՌՆՄԱՆ
ՀԱՇՎԱԾՈՒՄՈՎ

Դիտարկված են ընդհատ կտրման ժամանակ գործիքի կտրող սեպի հպման գոտում ամրության հետ կապված հարցեր: Կտրող սեպի փխրամրության գնահատման ժամանակ կարծր համաձուլվածքե թիթեղը դիտարկվել է որպես առաձգական հենարանի վրա տեղադրված հեծան: Սեպի ամրության հաշվարկը կատարված է կոնտակտային բեռնվածությունների ուղղանկյուն և եռանկյուն օրենքներով բաշխումների դեպքերի համար:

Առանցքային բառեր. ամրություն, կտրող սեպ, կարծր համաձուլվածքե թիթեղ, ընդհատ կտրում, կոնտակտային բեռնվածություն:

M.M. SIMONYAN

CALCULATION OF ACTIVE TENSION IN CONTACT AREA OF THE
HARDMETAL CUTTING WEDGE IN CONSIDERATION OF THE LOAD
DYNAMICS IN THE PROCESS OF INTERRUPTED CUTTING

Problems concerning the toughness of hardmetal instrument in the contact area of the cutting wedge in the process of interrupted cutting are discussed. During the assessment of brittle strength of the cutting wedge the hardmetal plate was viewed as a bar on elastic foundation. The toughness of the wedge is calculated for cases of contact load distributions due to rectangle and triangle laws.

Keywords: toughness, cutting wedge, hardmetal plate, interrupted cutting, contact load.

Ս.Գ. ԱՂԲԱԼՅԱՆ, Հ.Ս. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ, Վ.Ս. ՂՈՒԿԱՍՅԱՆ

ԵՐԿԱԹԻ ՀԻՄՔՈՎ ԲԱՐՁՐ ՋԵՐՄԱՀԱՂՈՐԴԱԿԱՆՈՒԹՅԱՄԲ ՀԱԿԱՇՓԱԿԱՆ ՓՈՇԵԿՈՄՊՈԶԻՑԻՈՆ ՆՅՈՒԹԵՐԻ ՍՏԱՅՄԱՆ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱՅԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ

Փորձագիտական հետազոտությունների հիման վրա մշակվել է երկաթի հիմքով բարձր ջերմահաղորդականությամբ հակաշփական կոմպոզիցիոն նյութ՝ մեծ բեռնվածությունների տակ աշխատելու համար: Հաշվարկվել է առանցքակալի ջերմային գրադիենտի կախվածությունը բեռնվածությունից և շփման գործակցից, ինչը նախագծողին հնարավորություն է տալիս կատարել նյութի ընտրություն:

Առանցքային բառեր. մամլում, եռակալում, տաք արտամղում, առանցքակալ, պինդ քսանյութ, ջերմային հոսք, ջերմահաղորդականություն, շփման գործակցից, մաշվածք:

Շփման ադիեզիոն-դեֆորմացիոն տեսությունից հայտնի է, որ գործընթացը պայմանավորված է շփվող մակերևույթների կոնտակտային գոտում նյութի ծավալային (առաձգական և պլաստիկ) դեֆորմացմամբ և միջմոլեկուլյար կապերի կամ, այլ – կերպ ասած, եռակցված կամրջակների հաղթահարմամբ [1]: Շփվող մակերևույթներն ունեն անհարթություններ և իրար հպվում են հպման առանձին կետերում, որտեղ առաջանում են տեղային լարումներ, առաձգական և պլաստիկ դեֆորմացիաներ և տեղային բարձր ջերմաստիճաններ: Փոխադարձ սահքի հետևանքով հպվող նյութերը (անիզոտրոպ) փոխադարձ ներթափանցում են միմյանց մեջ, իսկ լարվածային վիճակը խիստ դինամիկ է: Ադիեզիոն կապերը խզվում են, առաջանում են նոր կապեր: Տեղային լարվածային վիճակները նույնպես անընդհատ փոխվում են, մի կողմից՝ նյութը պլաստիկ դեֆորմացված գոտիներում ստանում է մակակոմպիվածք, մյուս կողմից՝ առաջացած բարձր ջերմաստիճանների տակ այդ նույն գոտիներում տեղի է ունենում վերաբյուրեղացում [2, 3]: Այս գործընթացը զուգորդվում է ֆիզիկաքիմիական ձևափոխություններով, որի հետևանքով շփման գոտի թափանցող քսուքների և արտաքին միջավայրի ակտիվ մասնակցությամբ շփման մակերևույթների վրա առաջանում են երկրորդային (աշխատանքային) շերտեր [4]:

Թաղանթների առաջացման, ձևավորման և ի վերջո քայքայման գործընթացները, դրանց ֆիզիկամեխանիկական հատկությունները որոշվում են սկզբնական նյութերի բաղադրությամբ և կառուցվածքով, գործընթացի կատարման միջավայրով և ռեժիմներով, աշխատանքային պայմաններով, որոնց բազմազանությունը պահանջում է ունենալ հակաշփական համապատասխան նյութերի օպտիմալ կառուցվածքներ:

Փոշմետալուրգիայի եղանակը հնարավորություն է տալիս ստանալ որոշակի ծակոտկենությամբ ($\theta \geq 15\%$) հակաշփական նյութերի մեծ տեսականի, որոնք լայն կիրառություն ունեն տեխնիկայում: Ծակոտիները նախապես ներծծված քսուքի պահեստարաններ են, որտեղից աշխատանքի ընթացքում քսուքը մատուցվում է

աշխատանքային մակերևույթ: Կատարվում է, այսպես կոչված, ինքնայուղման գործընթաց, որը, սակայն, չի բացառում առանձին դեպքերում նաև լրացուցիչ յուղումն արտաքին աղբյուրներից:

Այսպիսի սկզբունքով աշխատող հակաշփական նյութերում, ինչպիսիք են երկաթագրաֆիտներն ու բրոնզագրաֆիտները, անհրաժեշտ է բարձրացնել մայրակի ամրությունը, ինչն իրականացվում է Ti, Ni, Zn, Co, Fe-ով (բրոնզագրաֆիտներում) և Cu, Ni, Cr, Mo-ով (երկաթ-գրաֆիտներում) լեգիրման դեպքում: Ստեղծվել են ծակոտկեն կոմպոզիցիաներ, որոնք ներծծված են դյուրահալ մետաղներով, պլաստմասսայով, ինչպես նաև լրացուցիչ մտցվում են պինդ քսանյութեր (սուլֆիդներ, սելենիդներ), որոնք թույլ են տալիս աշխատել կոնտակտային ավելի բարձր ջերմաստիճանների պայմաններում: Բայց ծակոտկեն կոմպոզիցիաները, համանման կառուցվածք ունեցող ոչ ծակոտկենների համեմատ ունենալով ցածր ջերմահաղորդականության և ամրության ցուցանիշներ, հեռանկարային չեն ծանր ռեժիմներում աշխատող հակաշփական արտադրատեսակների պատրաստման համար: Ծանր ռեժիմներում աշխատելիս ծակոտկեն հակաշփական նյութում տեղի են ունենում քսուքի կոքսացում և ծակոտիների խցանում: Սահմանային և չոր շփման դեպքում, բարձր և գերցածր ջերմաստիճաններում, ինքնայուղման սկզբունքն ընդհանրապես կորցնում է իր նշանակությունը:

Բացառելով այն դեպքերը, երբ ծակոտկենությունն ապահովում է հատուկ պայմաններ, ինչպիսիք են շփման հանգույցում առաջացող տատանումների մարումը, անաղմուկ աշխատանքը կամ ցածր ինքնարժեքը, անհամեմատ թեթև ռեժիմներում աշխատող հակաշփական նյութերի զարգացման հեռանկարը պետք է որոնել ոչ ծակոտկեն կոմպոզիցիաներում: Այս կոմպոզիցիաները լիովին բավարարում են շփման և մաշման մոլեկուլյար-մեխանիկական տեսության դրույթներին, կարող են ունենալ ամուր մայրակ, որը կպահպանի առանցքակալի շինվածքի մեխանիկական հատկությունները հնարավորին չափ բարձր ջերմաստիճաններում [5]:

Շփման ադիեզիոն-դեֆորմացիոն տեսությունը պահանջում է, որ կոնտակտային մակերևույթից դեպի շփվող մարմինների խորքը ապահովվի մեխանիկական հատկությունների դրական գրադիենտ, և երբ աշխատանքային շերտերում առկա է բարակ յուղային թաղանթ, ապա այդ պահանջը միշտ ապահովված է: Այդ թաղանթը, բացի ադիեզիոն կապերի (եռակցման կամրջակների) առաջացումն արգելակելուց, մեղմացնում է նաև շփման-մաշման գործընթացին մասնակցող դեֆորմացիոն գործոնի ազդեցությունը: Ծակոտկեն միայն ինքնայուղմամբ աշխատող հակաշփական նյութի աշխատանքային մակերևույթում առավելապես դիտվում են սահմանային յուղման պայմաններ, երբ առաջացող յուղի թաղանթը բարակ է և ոչ անընդհատ, այսինքն՝ ունակ չէ մի կողմից՝ «կլանելու» շփվող մակերևույթների անհարթությունները և մեղմացնելու շփման և մաշման դեֆորմացիոն գործոնը, մյուս կողմից՝ բացառելու սկզբնականության մակերեսների առանձին կետերում անմիջական կոնտակտը,

եռակալման կամրջակների առաջացումը և հետագա խզումը (որը կարող է լինել նաև խորքային և առաջացնել արագընթաց մաշման պայման): Հասկանալի է, որ այդ բացասական երևույթներն առաջանում են որոշ կրիտիկական ռեժիմների պայմաններում: Սահմանային և, հատկապես, չոր շփման ժամանակ առաջին գործոնին հակազդելու համար նյութի մեջ պետք է ավելացնել պինդ քսանյութեր, որոնք ակտիվորեն մասնակցելով երկրորդային (աշխատանքային) թաղանթների գոյացման գործընթացին, ապահովում են ցածր շփման գործակից և մեխանիկական հատկությունների դրական գրադիենտ [4]: Երկրորդ գործոնին հակազդելու համար անհրաժեշտ է բարձրացնել նյութի, հատկապես՝ նրա մակերևութային շերտի մեխանիկական հատկությունները:

Պինդ քսանյութը (ածխածին, ծծումբ, սուլֆիդներ, սելենիդներ և այլն) նույն հաջողությամբ կարելի է կիրառել և՛ ծակոտկեն, և՛ ոչ ծակոտկեն փոշեկոմպոզիցիաներում: Երկրորդ դեպքում ներդրուկի կապը մայրակի հետ կլինի ավելի ամուր: Հոծ մակերևութի վրա այդ քսանյութի մասնակցությամբ առաջացած հակաշփական թաղանթն անընդհատ է և ավելի ամուր է կապված հիմքի հետ ու տարրալուծվում է լարումների կոնցենտրատոր հանդիսացող ծակոտիների և նրանց սուր եզրերի բացակայության պատճառով:

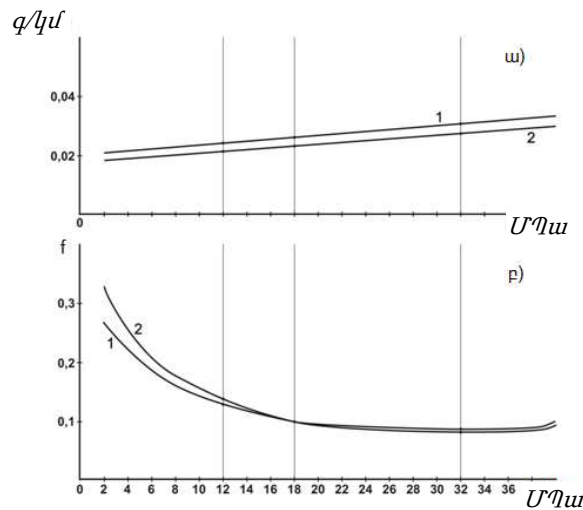
Բերված միևնույն բաղադրության եռակալված և տաք արտամղված նմուշների հատկությունների համեմատություններից պարզ է դառնում, որ հոծ (ոչ ծակոտկեն) նյութերի հատկությունները՝ բերված բոլոր մեխանիկական հատկությունների ցուցանիշներով, ակնհայտորեն բարձր են:

Նկ. 1-ում ցույց են տրված մշակված $\text{Fe}+5\%\text{Mo}+2\%\text{Cu}+2\%\text{MoS}_2+0,5\%\text{C}$ փոշեկոմպոզիցիոն նյութի հակաշփական հատկությունները տաք արտամղումից և մխումից հետո, իսկ աղ. 1-ում՝ ֆիզիկամեխանիկական հատկությունները:

Mo-ի առկայությունն ամրացնում է երկաթի հիմք ունեցող կոմպոզիցիոն նյութը պինդ լուծույթի ($\text{Fe}[\text{Mo}]$) և ինտերմետաղական (Fe_2Mo , Fe_3Mo_2) ֆազերի առաջացման մեխանիզմներով, տալով նրան նաև հրամրություն: Ուստի այս համաձուլվածքի մեջ ծծումբ (S) կամ սելեն (Se) ներմուծելով կարելի է ստեղծել մեծ բեռնվածությունների տակ աշխատող ($t=600\ldots 650^\circ\text{C}$) հակաշփական նյութ:

Եթե համաձուլվածքները լրացուցիչ լեգիրվեն նաև պղնձով, ապա շնորհիվ ազատ պղնձի առկայության՝ տեղի կունենա փոշեկոմպոզիցիայի ջերմահաղորդականության բարձրացում, որը կփոքրացնի շփման կոնտակտում ջերմաստիճանը, և, հետևաբար, կփոքրանա շփման գույգի մաշումը:

Ծծումբը և սելենն ազատ վիճակում ունեն ցածր հակաշփական հատկություններ: Այդ հատկությունները կտրուկ լավանում են, երբ նրանք հանդես են գալիս սուլֆիդների և սելենիդների տեսքով: Հակաշփական նյութում դրանց օպտիմալ քանակը (ծծմբի և սելենի հաշվարկով) կազմում է 0,5...1,5 %, մինչդեռ գրաֆիտին ավելի բարձր է (3...6 և ավելի %) [5]:



Նկ. 1. Մաշման (ա) և շփման գործակցի (բ) կախվածությունը բեռնվածությունից ոչ ծակրտկեն նմուշների համար.

1 – Fe+5%Mo+2%Cu+2%MoS₂+0,5%C (տաք արտամղված),

2 – Fe+5%Mo+2%Cu+2%MoS₂+0,5%C (մխված)

Աղյուսակ 1

Երկաթի հիմքով փոշեհամաձուլվածքների հակաշփական և ֆիզիկամեխանիկական հատկությունները

Նմուշ	Կոմպոզիցիոն նյութ	V=1 մ/վրկ (չոր շփում)		σ_d , ՄՊա	HB, ՄՊա	KC, կՋ/մ ²	λ , կՎտ/մ ² ·Կ
		P, Պա	f				
Ա	Fe-Mo-Cu-S	18	0,10	440	870	970	46,0
Բ	Fe-Mo-Cu-C-MoS ₂ (տաք արտամղված)	18	0,08	510	1100	830	35,5
Գ	Fe-Mo-Cu-C-MoS ₂ (մխված)	18	0,07	-	1980	550	30,0

Գրաֆիտի ազատ ձևը կառուցվածքում խախտում է նյութի անընդհատությունը, հանդիսանում է լարման կուտակիչ, թուլացնում մայրակը: Իսկ սուլֆիդները, սելենիդները և թելուրիդները ցանկացած ագրեգատային վիճակում լավ կոնսոլիդացվում են համաձուլվածքի մայրակի հետ, պահպանելով նյութի ամուր կառուցվածքային ամբողջականությունը: Այդուհանդերձ, նրանք ունեն շատ փոքր շփման գործակից-

ներ՝ $f_{FeS} = 0,02$; $f_{MoS_2} = 0,02...0,3$; $f_{MoSe_2} = 0,02...0,22$; $f_{WSe_2} = 0,18...0,22$: Հատկանշական է, որ դրանք չեն կորցնում իրենց հակաշփական հատկությունները, մասնակցելով շփման երկրորդային թաղանթների առաջացման գործընթացին: Հոծ (ոչ ծակոտկեն) հակաշփական նյութերում, որպես մայրակն ամրացնող գործոն, ֆերիտ-պեռլիտային կամ պեռլիտային կառուցվածքի դեպքում, գրաֆիտի քանակը չպետք է գերազանցի 0,4...0,8% [5]:

Հակաշփական հանգույցի բեռնվածության բարձրացումը կապված է կոնտակտի ջերմաստիճանն իջեցնող միջոցառումների իրագործման հետ:

Դիտարկենք սահքի առանցքակալի տիպային հանգույցը (նկ. 2):

Կոնտակտային մակերևույթում անջատվող ջերմության քանակն արտահայտվում է հետևյալ բանաձևով [6].

$$Q^* = Q \cdot t = q \cdot s \cdot t = p \cdot v \cdot f \cdot s \cdot t, \quad (1)$$

որտեղ Q -ն ջերմային հոսքն է, q -ն՝ t -ն՝ ժամանակը, v -ը՝ շփման մակերևույթը, f -ը՝ q -ն՝ ջերմային հոսքի միջինացված խտությունը, p -ն՝ բեռնվածությունը, U -ը՝ v -ն՝ շփման արագությունը, s -ը՝ f -ը՝ շփման գործակիցը:

Q ջերմային հոսքը հեռանում է երեք ուղղություններով՝ ջերմային հոսք դեպի առանցքակալ (Q_1), հակամարմնի ուղղությամբ դեպի լիսեռ (Q_2) և դեպի մթնոլորտ (Q_3): Չոր շփման պայմաններում Q_3 - ն ունի ցածր արժեք: Հետևաբար, ստացիոնար ռեժիմի պայմաններում

$$Q = Q_1 + Q_2 : \quad (2)$$

Ջերմության հեռացումը ստացիոնար ջերմափոխանակման պայմաններում արտահայտվում է հետևյալ բանաձևերով [7]

$$Q^* = Q \cdot t = K (T_{շփ} - T_{արտ}) \cdot F \cdot t, \quad (3)$$

$$Q^* = Q \cdot t = \alpha (T_{արտ} - T_{թմ}) \cdot F \cdot t, \quad (4)$$

որտեղ $T_{շփ}$ - ը շփման մակերևույթի միջին ջերմաստիճանն է, $T_{արտ}$ -ը՝ հանգույցի արտաքին մակերևույթի միջինացված ջերմաստիճանը (որտեղից ջերմային հոսքը հաղորդվում է մթնոլորտ), $T_{թմ}$ -ը՝ մթնոլորտի ջերմաստիճանը; K -ն և α -ն՝ համեմատականության գործակիցներ, q -ն/մ².աստ, որոնց հակառակ մեծությունները կոչվում են ջերմային դիմադրություն:

$$R_\alpha = \Delta T / Q, \quad (5)$$

որտեղ ΔT -ն կոչվում է ջերմաստիճանային ճնշում կամ գրադիենտ:

Դիտարկենք առանցքակալի մարմնի գնացող (Q_1) հոսքի ուղին: Այն, անցնելով վրան-առանցքակալի պատի միջով (նկ. 2), մտնում է առանցքակալային հանգույցի բունը, այնտեղից անցնում-տարածվում սարքի (մեքենայի) ողջ մետաղական կոնստ-

բուկցիայով և նրա արտաքին մակերևույթներից ջերմատվության շնորհիվ փոխանցվում շրջակա միջավայր: Այդ համակարգի ընդհանուր դիմադրությունը կազմում է՝

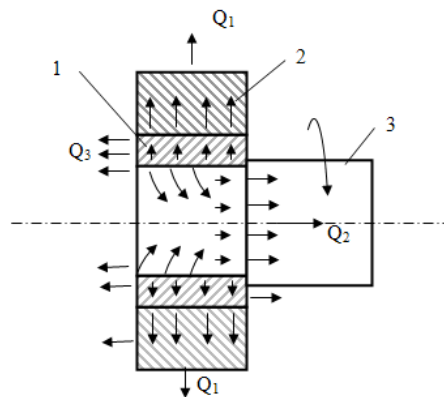
$$R_{K_1} = \sum_{i=1}^{n_1} R_{\alpha_{i_1}} = R_{\alpha_{\text{առ}}} + R_{\alpha_{\text{բմ}}} + R_{\alpha_{\text{գն}}} + R_{\alpha_{\text{թմ}}} = \Delta T_{\text{առ}} / Q_{\text{առ}} + \sum_{i=2}^4 R_{\alpha_{i_1}}, \quad (6)$$

որտեղ $\Delta T_{\text{առ}}$ – ը առանցքակալի պատի ջերմային ճնշումն է (տաք և սառը պատերի ջերմության տարբերությունը): $PV=3...5$ ՄՊա.մ/վ բեռնվածության պայմաններում շփման միջին ջերմաստիճանը (չոր շփման) հասնում է $300...400^\circ\text{C}$, մթնոլորտինը՝ $\approx 20^\circ\text{C}$, ուստի ընդհանուր ջերմային ճնշումը համակարգում հասնում է $280...380^\circ\text{C}$: Առանցքակալ գնացող ջերմաքանակը՝ $Q_1=k \cdot Q$, ընդ որում, $Q_1 > Q_2$, և $K \approx 0,6...0,8$, (ընդունենք $K=0,7$): Առանցքակալով անցնող ջերմային հոսքը կարելի է դիտել որպես հարթ պատով անցնող ստացիոնար հոսք [6]

$$Q_1 = 0,7 \cdot Q = \frac{\lambda}{S} \cdot \Delta T_{\text{առ}} : \quad (7)$$

Այստեղից՝

$$\Delta T_{\text{առ}} = \frac{0,7 \cdot Q \cdot S}{\lambda} = \frac{0,7 \cdot q}{\lambda} : \quad (8)$$



Նկ. 2. Ջերմային հոսքերն առանցքակալային հանգույցում.

1-վրան-առանցքակալ, 2-առանցքակալային հանգույցի բուն, 3-հակամարմին (լիսեռ), Q_1 -ջերմային հոսք դեպի առանցքակալ, Q_2 -ջերմային հոսք դեպի հակամարմին, Q_3 - ջերմային հոսք դեպի մթնոլորտ

Ջերմային հոսքի q խտությունը ըստ (1) բանաձևի կազմում է՝

$$q = PVT : \quad (9)$$

Տեղադրելով (9)-ը (8)-ի մեջ, կստանանք՝

$$\Delta T_{\text{sun}} = \frac{0,7 \cdot p \cdot v \cdot t}{\lambda}, \quad (10)$$

որտեղ λ -ն ջերմահաղորդականության գործակիցն է:

Ջերմափոխանակման ստացիոնար գործընթացների համար որոշ մոտավորությամբ կարելի է կիրառել (3) և (4) բանաձևերը [7]:

Ծանր բեռնվածության տակ չոր շփման պայմաններում աշխատող առանցքակալների աշխատանքային մակերևույթների միջին ($T_{\text{միջ}}$) ջերմաստիճանները հասնում են մինչև $500...600^{\circ}\text{C}$ [8]: Պինդ քսուք պարունակող ժամանակակից փոշեկոմպոզիցիոն նյութերն այդ ջերմաստիճաններում բավարար աշխատունակ են, սակայն առանցքակալի բեռնվածության (PV) հետագա մեծացման և համապատասխանորեն $T_{\text{միջ}}$ -ի բարձրացման հետ նրանց աշխատունակությունը կտրուկ պակասում է: Այստեղից ակնհայտ է, որ բեռնվածության բարձրացման համար կարևոր է լավացնել հակաշփական հանգույցի ջերմահեռացման հնարավորությունները:

Ըստ նկ. 2-ի՝

$$T_{\text{միջ}} = \Delta T_{\text{sun}} + T_{\text{մ.հ}}, \quad (11)$$

որտեղ $T_{\text{մ.հ}}$ -ն առանցքակալային վռանի հենարանային մակերևույթի միջին ջերմաստիճանն է:

Հանգույցի $T_{\text{մ.հ}}$ -ն իջեցվում է զանազան տեխնիկական կոնստրուկտիվ միջոցառումներով, ինչպես, օրինակ՝ սառեցման կողերի ստեղծմամբ (ջրային սառեցում): Ջերմային անկումը (ΔT_{sun}) կարելի է փոքրացնել առանցքակալի (վռանի) պատի հաստության փոքրացմամբ կամ դրա նյութի ջերմահաղորդականության մեծացմամբ: Պատի հաստության փոքրացումը սահմանափակված է առանցքակալի մեխանիկական հատկությունների և կոնստրուկտիվ պահանջների ապահովմամբ: Նյութի ջերմահաղորդականության մեծացման նպատակով մեծ բեռնվածության դիմացող երկաթի հիմքով առանցքակալի հակաշփական նյութի փոխարինումը բարձր ջերմահաղորդականություն ունեցող պղնձի հիմքով հակաշփական նյութով հաճախ նպատակահարմար չէ, քանի որ վերջինս ունի ավելի ցածր տանող-ունակություն (PV): Այս դեպքում հարցի լավագույն լուծումը երկմետաղ առանցքակալի ստեղծումն է՝ աշխատանքային բարակ երկաթի հիմքով հակաշփական և հենարան հանդիսացող պղնձի համաձուլվածքից կոնստրուկտիվ շերտերով: Աղ. 2-ում բերված է միամետաղ և երկմետաղ պղնձե և երկաթի հիմքով հակաշփական նյութից պատրաստված առանցքակալների ΔT_{sun} -ը՝ կախված աշխատանքային ռեժիմներից (PV և f): Օգտվելով (11) բանաձևից, տարբեր շփման ռեժիմների, առանցքակալի նյութի և պատի հաստությունների համար հաշվարկվել է ΔT_{sun} , որի արդյունքները բերված են աղ. 2-ում: Այն նախագծողին հնարավորություն է տալիս կատարել ընտրություն, թե ինչպիսի հիմքով և հենարանի նյութով պատրաստել առանցքակալ: Եթե գերխնդիրն առանցքա-

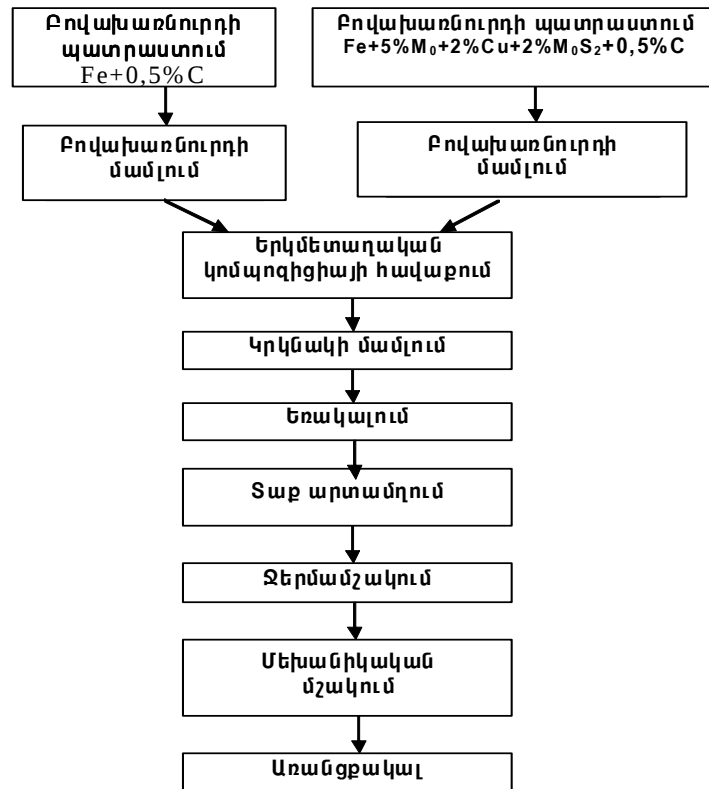
կալի փոքր ինքնարժեքն է, ապա ընտրվում է երկաթի հիմքով համաձուլվածքից հենարան, իսկ եթե $\Delta T_{\text{տո}}$ -ի փոքրացումը՝ պղնձե համաձուլվածքից հենարան:

Աղյուսակ 2

$\Delta T_{\text{տո}}$ ջերմաստիճանային անկման արժեքների կախվածությունը միամետաղ և երկմետաղ առանցքակալի աշխատանքային ռեժիմներից՝ (P, V) տանողունակությունից և (f) շփման գործակցից

Շահագործման ռեժիմներ		Առանցքակալի տվյալները					
		միամետաղ		երկմետաղ			
PV, ՄՊա· ս/վ	f	պատի հաստությո- նը, մմ	ΔT _{տո} , °C	շերտերի հաստ., մմ		ΔT _{տո} , °C	
				աշխատան- քային	հենարա- նային	երկաթյա հենարան	պղնձյա հենարան
ա) երկաթի հիմքով							
3	0,1	5	24,5	1,5	3,5	21,7	9,7
3	0,2		49,0			43,4	19,4
6	0,1		19,0			43,4	19,4
6	0,2		98,0			86,8	38,8
9	0,1		147,0			126,4	49,8
9	0,2		294,0			252,8	99,6
3	0,1	10	49,0	1,5	8,5	40,8	12,9
3	0,2		98,0			81,6	25,8
6	0,1		98,0			81,6	25,8
6	0,2		195,0			161,9	51,5
9	0,1		294,0			244,0	64,4
9	0,2		988,0			488,0	128,8
բ) պղնձի հիմքով							
3	0,1	5	3,3	1,5	3,5	17,05	2,8
3	0,2		6,6			34,1	5,6
6	0,1		6,6			34,1	5,6
6	0,2		13,2			68,2	11,2
9	0,1		19,8			102,3	17,0
9	0,2		39,6			204,6	34,0
3	0,1	10	6,6	1,5	8,5	34,4	5,5
3	0,2		13,2			68,8	11,0
6	0,1		13,2			68,8	11,0
6	0,2		26,4			137,6	22,0
9	0,1		39,6			206,3	32,7
9	0,2		79,2			412,6	65,4

Նկ. 3-ում բերված է երկաթի հիմքով երկմետաղական փոշեկոմպոզիցիոն առանցքակալի ստացման տեխնոլոգիական սխեման, որն ընդգրկում է բովախառնուրդի պատրաստում, մամլում, երկմետաղական կոմպոզիցիաների հավաքում, կրկնակի մամլում, եռակալում, տաք արտամղում և ջերմամշակում:



Նկ. 3. Երկմետաղական առանցքակալի ստացման տեխնոլոգիական սխեմա

Մշակված տեխնոլոգիան հնարավորություն է տալիս իջեցնել առանցքակալի ինքնարժեքը, իսկ անհրաժեշտության դեպքում՝ փոքրացնել $\Delta T_{\text{տո}}$ ջերմաստիճանային գրադիենտը:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Крагельский М.В.** Трение и износ. – М.: Машиностроение, 1968. – 478 с.
2. **Աղբալյան Ս.Գ., Կարապետյան Գ.Խ., Պետրոսյան Ա.Ա., Վասիլյան Գ.Ա.** Հակաշփական փոշեհամաձուլվածքների կառուցվածքագոյացման առանձնահատկությունները // Հայաստանի Ճարտարագիտական ակադեմիայի Լրաբեր. – 2009.- Հատոր 6, N 3.- էջ 403 - 408:
3. Стереометрическое строение износостойких антифрикционных порошковых материалов / **С.Г. Агбальян, Г.Х. Карапетян, А.А. Петросян и др.** // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН.- 2010. - Том LXIII, N1.- С. 25-34.
4. **Агбальян С.Г., Карапетян Г.Х., Петросян А.А., Агбальян А.С.** Механизм образования вторичных структур в процессе трения и износа // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН.- 2010. - Том LXIII, N2.- С.139-147.
5. **Манукян Н.В.** Порошковая металлургия на пороге 3000-летия. – Ереван: Тигран Мец, 2000. – 230с.
6. Справочник теплоэнергетика цветной металлургии. – М.: Металлургия, 1982. – 450с.
7. **Кутателадзе С.С.** Теплопередача и гидродинамическое сопротивление: Справочное пособие. – М.: Энергоиздат, 1990. – 330 с.
8. **Федорченко И.М., Пугина Л.И.** Композиционные спеченные, антифрикционные материалы. - Киев: Наукова думка, 1980. – 408 с.

ՀՊՀՀ (ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿ). Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 20.07.2011:

Ս.Գ. ԱԳԲԱԼՅԱՆ, Ա.Ս. ՍԵՏՐՍՅԱՆ, Վ.Ս. ԳՈՒԿԱՍՅԱՆ

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ПОРОШКОВЫХ АНТИФРИКЦИОННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА С ВЫСОКОЙ ТЕПЛОПРОВОДИМОСТЬЮ

Разработана технология получения антифрикционных порошковых композиционных материалов на основе железа с высокой теплопроводимостью. Рассчитана зависимость теплового градиента подшипника от нагрузки и коэффициента трения, что дает возможность конструктору сделать правильный выбор материала подшипника.

Ключевые слова: прессование, спекание, горячая экструзия, подшипник, твердая смазка, тепловой поток, теплопроводимость, коэффициент трения, износ.

S.G. AGHBALYAN, H.S. PETROSYAN, V.S. GHUKASYAN

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY FOR ANTIFRICTIONAL POWDER COMPOSITES BASED ON IRON WITH HIGH THERMAL CONDUCTIVITY

Based on iron with high thermal conductivity the technology for producing powdered antifriction composite materials is developed. The dependence of the thermal gradient from the bearing load and friction coefficient is calculated. It allows the designer to make a correct choice of material bearing.

Keywords: compression, agglomeration, hot extrusion, bearing, solid lubricant, heat flow, thermal conductivity, friction coefficient, wear.

ՀՏԴ 621.785.5

ՆՅՈՒԹԱԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆ

Գ.Ս. ՀՈՎՍԵՓՅԱՆ, Ն.Գ. ՀՈՎՍԵՓՅԱՆ, Կ.Ս. ԱՂԲԱԼՅԱՆ,
Ս.Ո. ՎԱՐԴԱՆՅԱՆ, Կ.Գ. ԿԱՐԱՊԵՏՅԱՆ

**ՄԵՏԱՂՆԵՐԻ ՋԵՐՄԱՔԻՄԻԱԿԱՆ ՄՇԱԿՄԱՆ ԳՈՐԾՆԹԱՅՈՒՄ ԴԻՖԴԵՐԵՆՑԻԱԿԱՆ
ՀՆԱՐԱՎՈՐ ՏԱՐԲԵՐԱԿՆԵՐԸ**

Քննարկված են մետաղների ծավալային դիֆուզիայի հնարավոր տարբերակները՝ տեղակայման, օղակաձև, միջհանգուցային ներդրման, միջհանգուցային արտամղման, էստաֆետային, թափուր տեղերում տեղակայման: Ցույց է տրվել, որ ռենիումով և այլ տարրերով լեգիրված պողպատների ջերմաքիմիական մշակումը դիֆուզիոն բարդ գործընթաց է, երբ տեղի ունեն ռենիումի և դիֆուզիոն ատոմների բազմաբնույթ տեղաշարժեր և բյուրեղային ցանցերի շեղումներ:

Առանցքային բառեր. դիֆուզիա, ատոմ, տեղաշարժ, էներգիա, ատոմի տրամագիծ, ջերմաքիմիական մշակում, բյուրեղային ցանց:

Դիֆուզիան նյութի ինքնին տարածումն է որևէ միջավայրում, որն ընթանում է համակարգի ազատ էներգիայի նվազմամբ: Ցանկացած ինքնին ընթացող գործընթացում համակարգի ազատ էներգիան կարող է արտաքին միջավայրի հետ փոխակերպվել ջերմային էներգիայի:

Դիֆուզիայի գործընթացի ջերմադինամիկական պոտենցիալների շարժիչ ուժը համակարգի սկզբնական (ոչ հավասարակշռված) և վերջնական (հավասարակշռված) ազատ էներգիաների տարբերությունն է:

Դիֆուզիայի գործընթացը կարելի է պատկերացնել երկու մոտեցմամբ՝ միկրոսկոպիկ և մակրոսկոպիկ: Միկրոսկոպիկ դիֆուզիայի դեպքում ատոմների տեղաշարժը պայմանավորված է մետաղի կառուցվածքով: Մակրոսկոպիկ դեպքում՝ արտաքին տարրեր պայմաններում, տեղի է ունենում տարրերի զանգվածափոխանակում մեկ տեղամասից դեպի մյուսը [1]:

Ատոմների տեղաշարժման հիմնական ձևը տատանումներով հավասարակշռված դիրքի գրավումն է, որը տեղի է ունենում -10^{13}C^{-1} հաճախականությամբ:

Ջերմային էներգիան ատոմների միջև տեղաբաշխվում է ոչ հավասարաչափ և հարաբերական հավասարակշռության դիրքում ջերմային էներգիան ատոմների տատանումներով չի սահմանափակվում: Առանձին ատոմներ կարող են հավասարակշռության մեկ դիրքից տեղաշարժվել մեկ այլ դիրքի, դրանով իսկ առաջ բերելով դիֆուզիայի գործընթացի ձևավորման տարրական «թռիչքային» տեսակը:

Մետաղների բյուրեղային ցանցերում ատոմների դիֆուզիոն տեղաշարժերը բարդ գործընթացներ են, որոնք ճիշտ նկարագրելու համար անհրաժեշտ է հաշվի

առնել բյուրեղային ցանցերում առկա ատոմների միմյանց նկատմամբ ունեցած կապերը և բյուրեղային ցանցերում առկա արատները: Դրանցից էլ բխում են հետևյալ առնչությունները.

- դիֆուզիոն “թռիչքները” պայմանավորում են բյուրեղներում մեծ թվով կապերի թուլացում,
- դիֆուզիոն “թռիչքների” ժամանակ հավասարակշռված վիճակում գտնվող ատոմների շեղումը կարող է հասնել մեծ քանակների, սակայն դրանք համատեղելի են բյուրեղային ցանցերին,
- դիֆուզիոն “թռիչքները” սովորաբար տեղի են ունենում արատներ ունեցող բյուրեղային ցանցերում:

Փաստորեն, ատոմների դիֆուզիոն տեղաշարժերի հետազոտման ցանկացած մոդել կարող է ունենալ բացթողումներ, որոնք կարող են էական ազդեցություն ունենալ դիֆուզիայի գործընթացի վրա:

Դիֆուզիայի ժամանակ ատոմը “թռիչքի” ընթացքում կորցնում է իր ավելցուկային կինետիկական էներգիան, սակայն կարող է փոխներգործել հարևան ատոմների հետ և ձեռք բերել լրացուցիչ էներգիա՝ դիֆուզիայի հաջորդ ակտն իրականացնելու համար:

Դիֆուզիոն հոսքերի համար բոլոր բյուրեղային նյութերն անիզոտրոպ են, որով և պայմանավորվում է դիֆուզիայի դժվար կամ հեշտ գործընթացը: Որոշակի ուղղությամբ հոսքի ներթափանցման աստիճանը կախված է ատոմների դասավորությունից, արատներից, բյուրեղային ցանցի տիպերից, ինչպես նաև դիֆուզիոն ակտն իրականացնող տարրական բջջի չափերից:

Դիֆուզիայի իրականացման բոլոր մեխանիզմներում կարևոր դեր ունեն բյուրեղային ցանցում գտնվող թափուր տեղերը, միջհանգուցային ատոմները և խառնուկ ատոմները:

Դիֆուզիան կարող է տեղի ունենալ ինչպես մետաղի մակերևույթում, այնպես էլ ծավալում: Մակերևութային դիֆուզիայի ժամանակ ատոմների դիֆուզիան կատարվում է մարմնի մակերևույթի վրա, ինչպես նաև մետաղի մակերևույթին հարող միկրոծավալներում [2]:

Ծավալային դիֆուզիան տեղի է ունենում նյութի կառուցվածքներում, հատկապես կետային արատների և խառնուկների տիրույթում: Խառնուկների ատոմները խարխլում են հատիկի բյուրեղային ցանցը, դրանով իսկ հեշտացնելով մետաղի ներթափանցումը դեպի դիֆուզիայի ենթարկվող նյութի ծավալային մասերը:

Մետաղների ծավալային դիֆուզիայի հնարավոր տարբերակները բերված են նկ.1-ում: Դրանք ներկայացված են տեղակալման, օդակաձև, միջհանգուցային ներդրման, միջհանգուցային արտամղման, էստաֆետային և թափուր տեղերում տեղակալման ձևերով:

1. Դիֆուզիոն տեղակալման գործընթացում (1) և (2) հարևան ատոմները (նկ.1-ի 1) տեղերը փոխում են, և տեղի է ունենում բյուրեղային ցանցի կտրուկ աղավաղում: Այդ ընթացքում (3) և (4) հարևան ատոմները ատոմի մոտ երկու տրամագծի չափով տեղաշարժվում են, կամ էլ (1) և (2) ատոմները տեղափոխանակմամբ ենթարկվում են զգալի դեֆորմացիայի:

2. Դիֆուզիայի օղակաձև մեխանիզմը (նկ.1-ի 2) էներգետիկական առումով ավելի ակնառու է, քան ատոմների տեղակալումը: Օղակաձև պտտվող երկու և ավելի փոխներգործող ատոմների տեղաշարժման ժամանակ բյուրեղային ցանցի տվյալ տեղամասում աղավաղումները (շեղումները) համեմատաբար փոքր են լինում: Ենթադրվում է [2], որ դիֆուզիոն օղակաձև մեխանիզմը հատուկ է խորանարդային նիստակենտրոնացված բյուրեղային ցանց ունեցող մետաղներին:

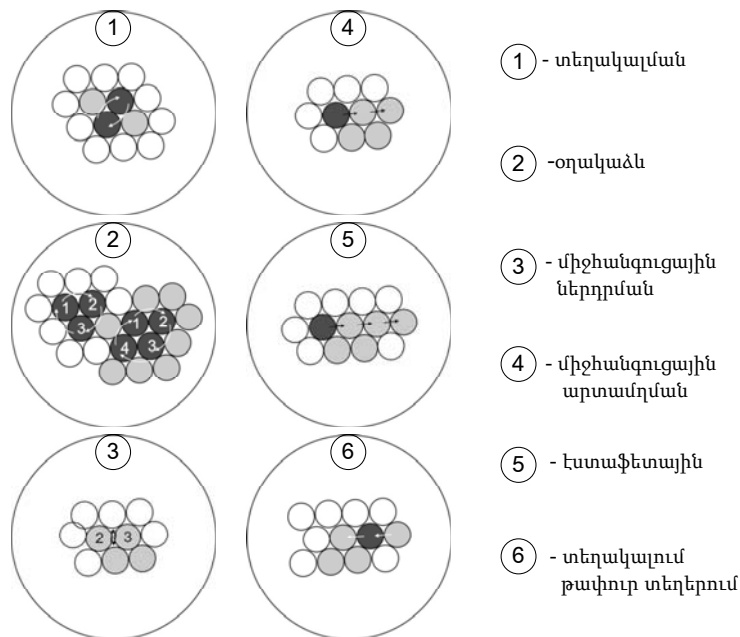
3. Դիֆուզիայի “միջհանգուցային ներդրման” մեխանիզմում ատոմը բյուրեղային ցանցի մեկ հանգույցից տեղափոխվում է մեկ այլ հարևան հանգույց, առաջացնելով էական շեղումներ: Այս մեխանիզմում, որպեսզի ատոմը հնարավորություն ունենա տեղափոխվելու հարևան միջհանգուցային տիրույթ, անհրաժեշտ է, որ (2) և (3) ատոմները տեղաշարժվեն (նկ.1-ի 3): Որքան փոքր է դիֆուզիոն պտտման չափը, այնքան նվազագույն է բյուրեղային ցանցի շեղումը:

Դիֆուզիայի “միջհանգուցային ներդրման” մեխանիզմն արտահայտվում է մայրակի հետ ներդրման պինդ լուծույթներ առաջացնող տարրերով (ածխածնի, ազոտի, ջրածնի, բորի դիֆուզիա և այլն): Միջհանգուցային արտամղման մեխանիզմի պայմաններում միջհանգույցում գտնվող ատոմը տեղաշարժվում և դիրքավորվում է նույն հանգույցում գտնվող մեկ այլ ատոմի տեղում:

4. Դիֆուզիայի “միջհանգուցային արտամղման” մեխանիզմում միջհանգույցում գտնվող արտամղված ատոմը բյուրեղային ցանցից դուրս է մղում մեկ այլ ատոմի և դիրքավորվում դրա տեղում (նկ.1-ի 4):

5. Դիֆուզիայի էստաֆետային մեխանիզմում ատոմների՝ որևէ ուղղությամբ սեղմված խումբը շղթայական դասավորվածությամբ տեղաշարժվում է նույն ուղղությամբ (նկ.1-ի 5): Այդ խմբերը համեմատաբար հեշտ տեղաշարժվում են բյուրեղային ցանցերի ատոմների խիտ դասավորված տեղանքում՝ առանց փոփոխելու իրենց շարժման ուղղությունը:

6. Դիֆուզիայի իրականացման հավանական մեխանիզմը պինդ լուծույթներում և մաքուր մետաղներում դիֆուզիան է թափուր տեղերում (նկ.1-ի 6): Մեխանիզմի ակտի այս տարատեսակում տեղի է ունենում ատոմի տեղաշարժ հարևան թափուր տեղանքում՝ իր նախնական դիրքում առաջացնելով թափուր տեղ: Դիֆուզիայի այս մեխանիզմն անընդհատ կրկնվում է:

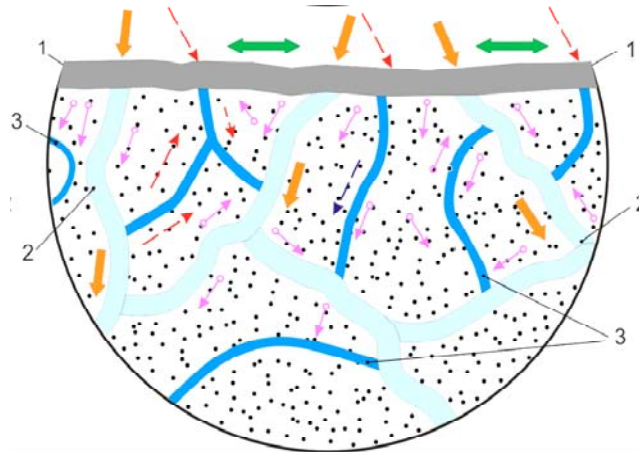


Նկ.1. Մետաղների ծավալային դիֆուզիայի հնարավոր տարբերակները

Առավել մեծ հետաքրքրություն է ներկայացնում ռենիումի դիֆուզիոն փոխազդեցությունը պարբերական աղյուսակի մի շարք տարրերի հետ: Ռենիումը, գտնվելով պարբերական աղյուսակի VIII խմբում, փոխազդեցության մեջ է մտնում մի շարք մետաղների՝ Co-ի, Ru-ի, Tc-ի, Os-ի հետ՝ առաջացնելով պինդ լուծույթների անընդհատ շարք, որոնք ունեն խորանարդային նիստակենտրոնացված բյուրեղային ցանցեր, և որոնց ատոմային շառավիղները տատանվում են 0,127 ... 0,136 նմ սահմաններում: Նման փոխազդեցության պայմաններում առավել հատկանշանական է դիֆուզիայի մեխանիզմի տեղակալման ձևը:

Ռենիումը Fe-ի, Mn-ի, Cr-ի, V-ի հետ առաջացնում է δ ֆազ՝ խորանարդային ծավալակենտրոնացված բյուրեղային ցանցով և 0,126...0,134 նմ ատոմային շառավիղներով: W-ի, Ta-ի, Mo-ի հետ Re-ը առաջացնում է $(\alpha+\delta)$ ֆազ՝ խորանարդային ծավալակենտրոնացված բյուրեղային ցանցով, 0,14...0,146 նմ ատոմային շառավիղների միջակայքում: Բյուրեղային նման ցանցերում առկա են մի շարք արատներ և աղավաղումներ, որով և պայմանավորված է դիֆուզիայի մեխանիզմի մի շարք տարատեսակների առկայությունը (նկ. 1-ի 1, 3, 4, 6):

Ջերմաքիմիական մշակման ընթացքում բազմաբյուրեղային մետաղներում դիֆուզիոն հոսքը բարդ գործընթաց է, որտեղ ատոմների դիֆուզիան տեղի է ունենում ինչպես մետաղի մակերևույթի վրա, այնպես էլ միջհատիկների եզրային սահմաններում և բուն հատիկի ներսում (նկ. 2):



Նկ.2. Ջերմաքիմիական մշակման ընթացքում բազմաբյուրեղային մետաղներում դիֆուզիոն հոսքի սխեմա.

1-հազեցված մակերևույթ, 2-միջհատիկային սահմաններ, 3-դիսոլյացիաներ

- ←→ -- մակերևույթի վրա դիֆուզիոն հոսքի ուղղությունը,
- -- դիֆուզիան միջհատիկային եզրային սահմաններում,
- - - → -- դիֆուզիան դիսոլյացիաներով,
- - - - → -- դիֆուզիան հատիկի ծավալում

Ատոմների “թռիչքային” դիֆուզիայի ընթացքում ատոմները կորցնում են իրենց կինետիկական ավելցուկային էներգիան, սակայն դրանք, փոխազդեցության մեջ մտնելով հարևան ատոմների հետ, կարող են ձեռք բերել կորցրած էներգիան, որն անհրաժեշտ է դիֆուզիայի նոր ակտի համար [3]:

Մաքուր մետաղներում ինքնադիֆուզիոն ատոմների ակտիվացման էներգիան համաչափության մեջ է գտնվում տվյալ մետաղի հալման ջերմաստիճանի հետ ($Q/T_{\text{հալ}}=33$): Դիֆուզիոն ատոմի ֆիզիկաքիմիական հատկությունները բնորոշվում է դիֆուզիայի տվյալ ձևով. հավասար պայմանների դեպքում էական դեր է խաղում դիֆուզիայի տվյալ ձևի ակտիվացման նվազագույն էներգիան: Դիֆուզիայի մեխանիզմի բոլոր ձևերում վճռորոշ դեր ունեն բյուրեղային կառուցվածքներում առկա արատները:

Այսպիսով, բացահայտելով բազմաբյուրեղային մետաղներում դիֆուզիայի մեխանիզմները և ձևերը, հնարավոր է դառնում ջերմաքիմիական մշակման գործընթացների նախնական կառավարումը, որը թույլ կտա մետաղների տաքացման և սառեցման գործընթացներում խուսափել անցանկալի երևույթներից, ճիշտ պատկերացում կազմել դիֆուզիայի այս կամ այն ձևի ժամանակ ատոմների շարժունակության վերաբերյալ և հաշվի առնել դրանց ազդեցությունները ֆիզիկաքիմիական հատկությունների վրա:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Агбальян С.Г., Карапетян К.Г., Овсепян Г.С.** Упрочнение твердосплавных инструментальных материалов тугоплавкими металлами // Технологии ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки: Материалы 8-й Международной практической конференции-выставки. – СПб., 2006. - Часть 2. - С. 3 - 9.
2. **Лариков Л.Н., Исайчев В.И.** Диффузия в металлах и сплавах: Справочник.- Киев: Наукова думка, 1987. - 510 с.
3. **Криштал М.А.** Механизм диффузии в железных сплавах.- М.: Металлургия, 1985.- 176 с.

ՀՊՃՀ (ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿ). Նյութեր ներկայացվել է խմբագրություն 20.07.2011:

**Г.С. ОВСЕПЯН, Н.Г. ОВСЕПЯН, К.С. АГБАЛЯН,
С.В. ВАРДАНИЯН, К.Г. КАРАПЕТЯН**

ВОЗМОЖНЫЕ МЕХАНИЗМЫ ДИФФУЗИИ В ПРОЦЕССЕ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ

Для описания объемной диффузии в металлах предложено несколько возможных механизмов: обменный, циклический (кольцевой), междоузельный простой и междоузельный с вытеснением, краудсионный и вакансионный. Выявлено, что при химико-термической обработке металлов процесс диффузии достаточно сложный с многомерным движением атомов и смещением кристаллических решеток.

Ключевые слова: диффузия, атом, смещение, диаметр атома, химико-термическая обработка, кристаллическая решетка.

**G.S. HOVSEPYAN, N.G. HOVSEPYAN, K.S. AGBALYAN,
S.V. VARDANYAN, K.G. KARAPETYAN**

DIFFUSION MECHANISMS FOR CHEMICAL-THERMAL METAL PROCESSING

To describe volumetric diffusion in metals, some possible mechanisms are offered-exchange, cyclic (circular), interstitial idle time and interstitial with cumulative and vacancy replacement. It is revealed that at chemical-thermal processing the diffusion process is complex where there is multidimensional movement of atoms and displacement of crystal lattices.

Keywords: diffusion, atom, displacement, diameter of atom, chemical-thermal working out, crystal line lattice.

R.L. STEPANYAN

THE EFFECT OF WORK HARDENING ON THE STRESS DISTRIBUTION IN DEEP DRAWING OF CYLINDRICAL CUP

A new approach to estimate of the influence of work hardening on stress distribution in deep drawing is introduced. As a result equations which show dependence of radial, circumferential, as well as caused by a blank holder stress on intensity of work hardening are explicitly obtained. The maximal stretching stress is also obtained. Diagrams which clearly show the character of stress distribution in the flat surface of flange are presented.

Keywords: deep drawing, work hardening, blank holder, stress distribution.

The nature of stress distribution in the flange of the specimen greatly depends on work hardening in the process of deep drawing. To carry out exact count of the influence of this factor, one will encounter some mathematical difficulties. Meanwhile, using some assumptions makes possible to obtain approximate equations revealing distribution of stresses in the flange. The accuracy of the obtained results depends on the degree of the assumption validity. Many authors, particularly, P. Hill [1], L.A. Shofman [2], E.A. Popov [3], D. C. Chiang, Shiro Kobayashi [4], etc., have devoted many papers to the investigation of this problem.

In these papers the influence of work hardening on the process of drawing was determined with one or another degree of approximation. In [2] the field of stress by taking into account work-hardening by means of averaging of tangential strain value by flange width in the arbitrary instant of deformation was defined. A solution is obtained with using the power dependence of the yielding stress on the strain. In this case two terms of series decomposition of the conditional strain ε_θ equation are used in calculations which narrows the application range of the result [3]. There exists more accurate analysis of the process applying the incremental strain theory. Calculations were conducted by means of the numerical integration. A practical application of the obtained results meet some difficulties [4]. Below a new approach to solve the problem is presented.

The problem under consideration is shown in Fig.1. The circular blank of original radius R_0 is deep drawn by the flat-bottomed punch through a die opening of radius r . Here the scheme of principal stresses acting on the element of flange is shown. To avoid the appearance of wrinkles, a blank holder is applied. The changing of the specimen thickness in the process of drawing is neglected.

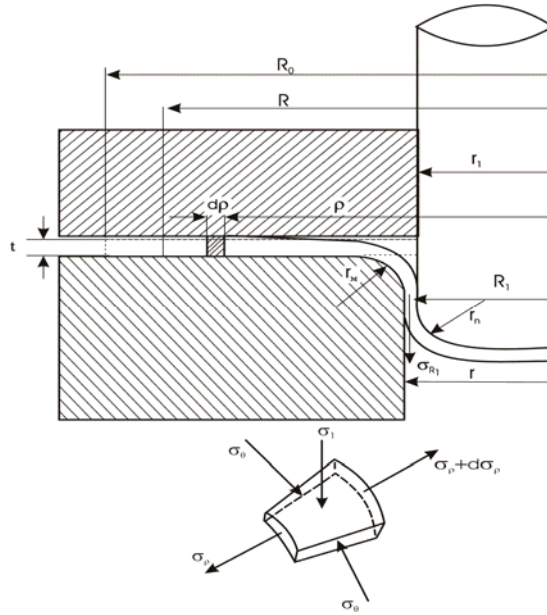


Fig. 1. Scheme of the Cylindrical Cup Deep Drawing Process

The equilibrium equation of an element of the flange is obtained in the form

$$\frac{d\sigma_\rho}{d\rho} + \frac{\sigma_\rho - \sigma_\theta}{\rho} = 0, \quad (1)$$

where σ_ρ is the radial stress, and σ_θ is the circumferential stress. The yield condition is as follows:

$$\sigma_\rho - \sigma_\theta = \beta\sigma_s, \quad (2)$$

where β is the coefficient which takes into account the influence of the intermediate principal stress (in this case, stress σ_t caused by the blank holder.)

The work hardening characteristics of the material are assumed in the form

$$\sigma_s = A\varepsilon^n, \quad (3)$$

where A and n are constants which can be obtained from a simple tension test of a specimen cut from the sheet metal.

As a deformation ε we apply the circumferential strain ε_θ [1]. In the process of drawing, when original radius R_0 has moved to the intermediate radius R , the initial radius ρ_n of the element has moved to the current radius ρ . Then the logarithm deformation in circular

direction is defined as

$$\varepsilon_{\theta} = \ln \frac{\rho_n}{\rho}.$$

To take into account the invariability of the specimen thickness, we can write:

$$R_0^2 - R^2 = \rho_n^2 - \rho^2.$$

Hence, we have

$$\rho_n = \sqrt{R_0^2 - R^2 + \rho^2}.$$

Then

$$\varepsilon_{\theta_1} = \ln \sqrt{1 + \frac{R_0^2 - R^2}{\rho^2}}. \quad (4)$$

Combining equations (1) and (2) and using relations given by equations (3) and (4), we yield

$$d\sigma_{\rho} = -\beta A \left(\ln \sqrt{1 + \frac{R_0^2 - R^2}{\rho^2}} \right)^n \frac{d\rho}{\rho}. \quad (5)$$

The complexity of the obtained equation does not allow deriving formulas determining distribution of stresses in the flange. To solve the problem, it is suggested to replace the formula (4) by relation of the form

$$\varepsilon_{\theta} = \left(\frac{\bar{R}}{\bar{\rho}} \right)^{x\bar{R}} \ln \frac{1}{\bar{R}}, \quad (6)$$

where $\bar{R} = R / R_0$ and $\bar{\rho} = \rho / R_0$.

The value of x may be obtained by comparing ε_{θ_1} and ε_{θ_2} for different values of $\bar{R}$ and $\bar{\rho}$. In case, when $\bar{\rho} = \bar{R}$ which is equivalent to $\rho = R$, we have $\varepsilon_{\theta_1} = \varepsilon_{\theta_2} = \ln(1 / \bar{R})$. The value of $x\bar{R}$ for $\bar{\rho} < \bar{R}$ will look like as follows: when $\bar{R} = 0.95$ and $\bar{\rho} = 0.9; 0.8; 0.7; 0.6; 0.5, = 0.9; 0.8; 0.7; 0.6; 0.5$, then $x\bar{R}$ will be equal to 1.895; 1.89; 1.87; 1.85; 1.82, respectively. The average value of $x\bar{R}$ is 1.865. Then the value of x for $\bar{R} = 0.95$ will be 1.96. By the same way we can obtain the average value of x for $\bar{R} = 0.9$

and $\bar{R} = 0.8$ which are equal to 1.89 and 1.86, respectively. Then the average value of x for $\bar{R} = 0.95; 0.9; 0.8$ will be equal to 1.9.

Thus, equation (6) is written as

$$\varepsilon_{\theta_2} = \left(\frac{\bar{R}}{\bar{\rho}} \right)^{1.9 \bar{R}} \ln \frac{1}{\bar{R}}. \quad (7)$$

The equation (7) in the range of $1 < K < 2.7$ with any value of $\bar{R}$ and $\bar{\rho}$ does not actually differ from ε_{θ_1} from the formula (4) ($K = R_0 / R_1$ is drawing ratio).

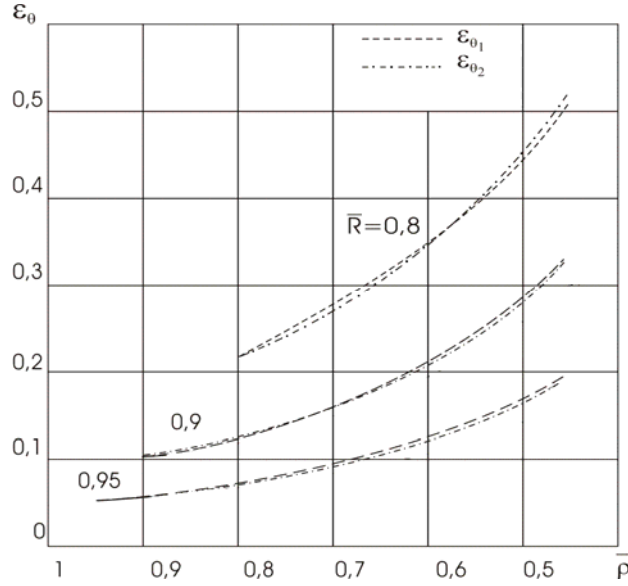


Fig. 2. Circumferential strain ε_{θ_1} and relation ε_{θ_2} as functions of $\bar{\rho}$ for several values of $\bar{R}$

In Fig. 2 are shown ε_{θ_1} and ε_{θ_2} as functions of $\bar{\rho}$ for various values of $\bar{R}$. When we replace ε_{θ_1} in the equation (5) by relation (6) we get the following result

$$d\sigma_{\rho} = -\beta A \left(\frac{\bar{R}}{\bar{\rho}} \right)^{\varphi \bar{R}} \ln^n \frac{1}{\bar{R}} \frac{d\bar{\rho}}{\bar{\rho}},$$

where $\varphi = 1.9n$.

After integrating and using the boundary condition $\sigma_{\rho} = 0$, when $\bar{\rho} = \bar{R}$, we have

$$\frac{\sigma_r}{A} = \frac{\beta}{\varphi \bar{R}} \left[\left(\frac{\bar{R}}{\bar{\rho}} \right)^{\varphi \bar{R}} - 1 \right] \ln^n \frac{1}{\bar{R}} \quad (8)$$

and the yield condition is

$$\frac{\sigma_\theta}{A} = \frac{\beta}{\varphi \bar{R}} \left[\left(\frac{\bar{R}}{\bar{\rho}} \right)^{\varphi \bar{R}} (1 - \varphi \bar{R}) - 1 \right] \ln^n \frac{1}{\bar{R}}. \quad (9)$$

The obtained equations are good approximation to the problem solving when the hard blank holder is applied; clearance between the blank holder and surface of the die is equal to the thickness of the material and it is considered that the process of drawing take place in the condition of plane strain. In this case $\beta = 2/\sqrt{3}$.

In Fig. 3 and 4 the radial and circumferential stress distributions are shown for various values of n at several stages of drawing.

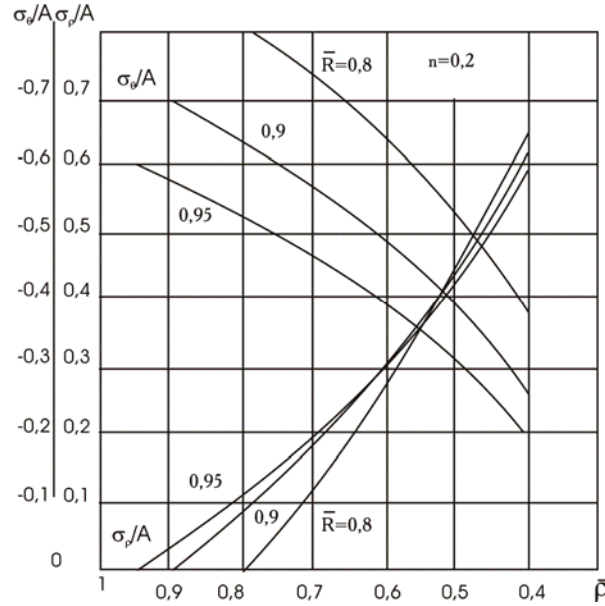


Fig. 3. Distribution of radial and circumferential stresses at several stages of drawing for $n = 0.2$

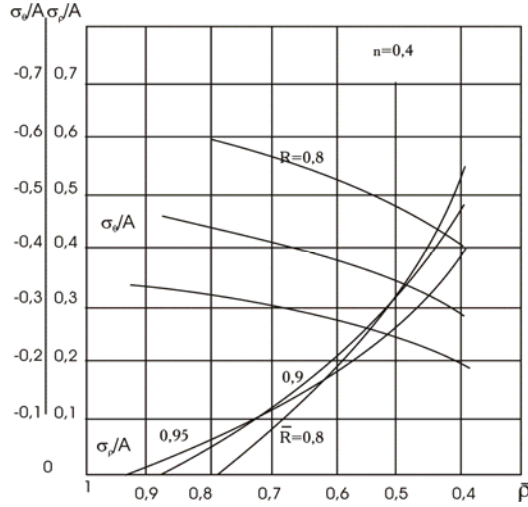


Fig. 4. Distribution of radial and circumferential stresses at several stages of drawing for $n = 0.4$

The stress σ_t may be obtained from the condition $\sigma_t = 1/2(\sigma_\rho + \sigma_\theta)$:

$$\frac{\sigma_t}{A} = \frac{\beta}{\phi \bar{R}} \left[\left(\frac{\bar{R}}{\bar{\rho}} \right)^{\phi \bar{R}} (1 - 0.5 \phi \bar{R}) - 1 \right] \ln^n \frac{1}{\bar{R}}. \quad (10)$$

Thus, equations (8), (9), and (10) may be recommended for determining the field of stresses in the deep drawing.

The radial stress σ_ρ reaches its greatest value in the edge of the die, when $\bar{\rho} = \bar{R}_1$ ($\bar{R}_1 = R_1 / R_0$). Substitution of ρ in the equation (8) by R_1 results in

$$\frac{\sigma_{R_1}}{A} = \frac{\beta}{\phi \bar{R}} \left[\left(\frac{\bar{R}}{\bar{R}_1} \right)^{\phi \bar{R}} - 1 \right] \ln^n \frac{1}{\bar{R}}$$

or

$$\frac{\sigma_{R_1}}{A} = \frac{\beta}{\phi \bar{R}} \left[(\bar{R} K)^{\phi \bar{R}} - 1 \right] \ln^n \frac{1}{\bar{R}}. \quad (11)$$

As it is seen from the equation (11), σ_{R_1} increases from zero at the beginning of the process when $\bar{R} = 1$ reaching the maximum somewhere for $1 > \bar{R} > 1/K$, becomes zero when $\bar{R} = 1/K$.

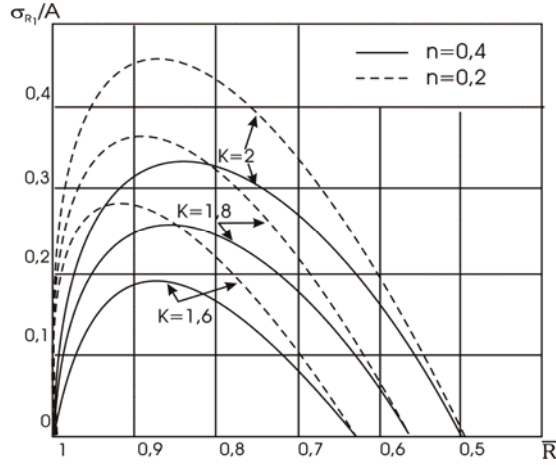


Fig. 5. Diagrams of σ_{R_1} as a function of $\bar{R}$ for several values of n and K

In the Fig. 5 are shown diagrams of σ_{R_1} as a function of $\bar{R}$ for several values of n and K . One can see in the Figure that σ_{R_1} is higher for smaller value of n for the same values of K . The point where σ_{R_1} reaches its maximum moves toward the end of the process with increasing of the work hardening coefficient n and drawing ratio K . In [4] diagrams identical to those shown in Fig. 3, 4 and 5 are constructed.

The value $\bar{R} = \bar{R}_e$ where σ_{R_1} reaches its extremum can be calculated if derivative of σ_{R_1} by $\bar{R}$ is equalized to zero and the obtained equation is solved in respect to $\bar{R}$. However, the availability of this parameter in the exponent of the formula (11) makes it difficult to get acceptable equation for $\bar{R}_e$. Therefore, remaining technological parameters – extremal value of the greatest stretching stress, drawing force, limiting drawing ratio – are not here defined. They are presented in [5], where the formula (6) with fixed exponent is applied.

If in formulas (8), (9), (10) and (11) we take $n = 0$ (lack of work hardening), then after opening of uncertainty, they are transformed as follows:

$$\frac{\sigma_\rho}{\sigma_s} = \beta \ln \frac{R}{\rho}, \quad \frac{\sigma_\theta}{\sigma_s} = \beta \left(\ln \frac{R}{\rho} - 1 \right), \quad \frac{\sigma_t}{\sigma_s} = \beta \left(\ln \frac{R}{\rho} - \frac{1}{2} \right) \text{ and } \frac{\sigma_{R_1}}{\sigma_s} = \beta \ln (\bar{R}K).$$

We represent the equation (8) in the following way

$$\frac{\sigma_\rho}{A} = \frac{\beta}{\varphi \bar{R}} \left[\left(\frac{\bar{R}}{\bar{\rho}} \right)^{\varphi \bar{R}} \ln^n \frac{1}{\bar{R}} - \ln^n \frac{1}{\bar{R}} \right]. \quad (12)$$

The left side of the expression in brackets represents deformation ε_{θ_2} expressed by the formula (7) raised to the n -th power. It replaces the deformation ε_{θ_1} in the differential equation (5). Let us make an inverse replacement in formula (12), i.e. replace ε_{θ_2} by ε_{θ_1} . Then it will be written as

$$\frac{\sigma_{\rho}}{A} = \frac{\beta}{\varphi \bar{R}} \left[\ln^n \sqrt{1 + \frac{1 - \bar{R}^2}{\bar{\rho}^2}} - \ln^n \frac{1}{\bar{R}} \right]. \quad (13)$$

Making the same replacements in formulas (9) and (10) we obtain

$$\frac{\sigma_{\theta}}{A} = \frac{\beta}{\varphi \bar{R}} \left[\ln^n \sqrt{1 + \frac{1 - \bar{R}^2}{\bar{\rho}^2}} (1 - \varphi \bar{R}) - \ln^n \frac{1}{\bar{R}} \right], \quad (14)$$

$$\frac{\sigma_t}{A} = \frac{\beta}{\varphi \bar{R}} \left[\ln^n \sqrt{1 + \frac{1 - \bar{R}^2}{\bar{\rho}^2}} (1 - 0.5 \varphi \bar{R}) - \ln^n \frac{1}{\bar{R}} \right]. \quad (15)$$

The greatest stress σ_{R_1} will be obtained if we substitute $\bar{\rho}$ by $\bar{R}_1$ in the expression (13):

$$\frac{\sigma_{R_1}}{A} = \frac{\beta}{\varphi \bar{R}} \left[\ln^n \sqrt{1 + K^2 (1 - \bar{R}^2)} - \ln^n \frac{1}{\bar{R}} \right]. \quad (16)$$

Conducted transformations reduce to minimum the error obtained by problem solving with changing ε_{θ_1} by ε_{θ_2} in the differential equation (5).

Equations (8), (9), (10), as well as equations (13), (14), (15) can be written in more simple way by the following formulas

$$\frac{\sigma_{\rho}}{A} = \frac{\beta}{\varphi \bar{R}} \left(\varepsilon^n_{\theta} - \ln^n \frac{1}{\bar{R}} \right), \quad (17)$$

$$\frac{\sigma_{\theta}}{A} = \frac{\beta}{\varphi \bar{R}} \left[\varepsilon^n_{\theta} (1 - \varphi \bar{R}) - \ln^n \frac{1}{\bar{R}} \right], \quad (18)$$

$$\frac{\sigma_t}{A} = \frac{\beta}{\varphi \bar{R}} \left[\varepsilon^n_{\theta} (1 - 0.5 \varphi \bar{R}) - \ln^n \frac{1}{\bar{R}} \right]. \quad (19)$$

If we replace in the equations (17), (18), (19) ε_{θ} by ε_{θ_2} defined by the formula (7), then we get formulas (8), (9), (10). If we substitute ε_{θ_1} defined by (4), then we get expressions (13), (14), (15). These equations are practically identical. Some divergence is occurred by $\bar{\rho} \leq 0.45$. The difference between formulas (11) and (14) is marked when $K \geq 2.2$. In other cases they are equivalent.

REFERENCES

1. **Hill R.** Mathematical Theory of Plasticity. - Oxford, England: the Clarendon press, 1950.
2. **Shofman L.A.** The Theory and Calculation of Cold Stamping Processes. - Moscow: Mashinostroenie, 1964.
3. **Popov E.A.** The Principles of the Theory of the Sheet Metal Stamping. - Moscow: Mashgiz, 1977.
4. **Chiang D.C., Kobayashi Shiro.** The Effect of Anisotropy and Work-hardening Characteristics on the Stress and Strain Distribution in Deep Drawing // Journal of Engineering for Industry, Transactions of the ASME.-1966. - Vol. 99, No 4 - P. 443-448.
5. **Stepanyan R.L.** The Deep Drawing of Sheet Metal. - Yerevan: Publishing House "Gitutyun", NAS of the RA, 2001- P. 26-31.

SEUA (POLYTECHNIK). The material is received 20.05.2010.

Ռ.Լ. ՍՏԵՓԱՆՅԱՆ

ԱՍՐԱՑՄԱՆ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ ԼԱՐՈՒՄՆԵՐԻ ԲԱՇԽՄԱՆ ՎՐԱ ԳԼԱՆԱՁԵՎ ԲԱԺԱԿԻ ԽՈՐ ԱՐՏԱԶԳՄԱՆ ԴԵՊՔՈՒՄ

Ներկայացված է խոր մոտեցում խոր արտաձգման գործընթացում լարումների բաշխման վրա ամրացման ազդեցությունը բացահայտելու համար: Արդյունքում ստացվել են բացահայտ տեսքով բանաձևեր, որոնք տալիս են շառավղային, շրջանային և սեղմիչի ճնշումից առաջացած լարման կախվածությունը ամրացման ինտենսիվությունից: Ստացվել է նաև մաքսիմալ ձգող լարման բանաձևը: Ներկայացված են դիագրամներ, որոնք պարզորեն ցույց են տալիս կցաշուրթի հարթ մասում լարումների բաշխման բնույթը:

Առանցքային բաղեր. խոր արտաձգում, ամրացում, սեղմիչ, լարումների բաշխում:

Ր.Լ. СТЕПАНИАН

ВЛИЯНИЕ УПРОЧНЕНИЯ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ГЛУБОКОЙ ВЫТЯЖКЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО СТАКАНА

Представлен новый подход к определению влияния упрочнения на распределение напряжений в процессе глубокой вытяжки. Получены в явном виде формулы, показывающие зависимость радиального, окружного, а также вызванного прижимом напряжения от интенсивности упрочнения. Выведены также формулы для определения максимального растягивающего напряжения. Представлены диаграммы, показывающие характер распределения напряжения в плоской части фланца.

Ключевые слова: глубокая вытяжка, упрочнение, прижим, распределение напряжения.

Վ.Ս. ՍԱՖԱՐՅԱՆ, Ս.Գ. ԳԵՎՈՐԳՅԱՆ

ԻՆՔՆԱՎԱՐ ԱՍԻՆՔՐՈՆ ԳԵՆԵՐԱՏՈՐԻ ՍՏԱՑԻՈՆԱՐ ՌԵԺԻՄԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ

Դիտարկվում է ինքնավար ռեժիմում աշխատող ասինքրոն գեներատորի ստացիոնար ռեժիմի գոյության պայմանը: Ստացվել է ստացիոնար ռեժիմի պարամետրերի ինքնագրգռման ունակությունից կախվածության կորերի ընտանիքը:

Առանցքային բառեր. ասինքրոն գեներատոր, ինքնավար ռեժիմ, ինքնագրգռման ունակություն, ստացիոնար ռեժիմ:

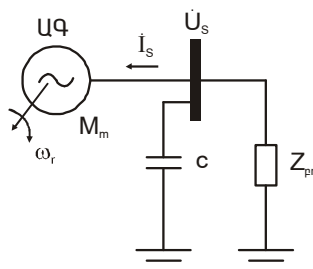
Էլեկտրաէներգետիկայի զարգացման ռազմավարության մեջ կարևոր տեղ են զբաղեցնում էլեկտրամատակարարման ինքնավար համակարգերը (ԷԻՀ) [1-3]: Այսպիսի համակարգերի անհրաժեշտությունն առաջանում է այնտեղ, որտեղ տեխնիկապես անհնար կամ տնտեսապես ձեռնտու չէ կիրառել կենտրոնացված էլեկտրամատակարարում: Բաշխիչ ցանցերում որևէ ճյուղի խզման արդյունքում ցանցում կարող են առաջանալ ինքնավար ռեժիմում աշխատող տեղամասեր: Վերջին տարիների տեսական հետազոտությունները և գործնական փորձը ցույց են տալիս փոքր և միկրո հիդրոէլեկտրակայաններում ինքնագրգռվող ասինքրոն գեներատորների (ԱԳ)՝ որպես էլեկտրաէներգիայի ինքնավար աղբյուրի կիրառման հեռանկարները [1,2]:

ԱԳ - ների սահմանափակ կիրառությունը երկար ժամանակ պայմանավորված էր փոքր չափերի կոնդենսատորների բացակայությամբ, որոնք ապահովում են բեռի ռեակտիվ հզորության կոմպենսացիա ու ինքնագրգռում, ինչպես նաև՝ էլքային լարման ու հաճախության կարգավորման դժվարությամբ [1,2]:

Աշխատանքի նպատակն է հետազոտել ինքնավար ռեժիմում աշխատող ԱԳ - ի ստացիոնար ռեժիմի գոյության պայմանը և դրա առանձնահատկությունները:

Դիտարկենք ինքնավար ռեժիմում աշխատող ԱԳ (նկ. 1):

Նկ.1 - ում ω_r - ն ռոտորի պտտման անկյունային արագությունն է, $I_s(U_s)$ - ը՝ ստատորի հոսանքի (լարման) մոդուլը, M_m - ը՝ արտաքին մեխանիկական մոմենտը, c - ն՝ ինքնագրգռման կոնդենսատորային մարտկոցների ունակությունը, Z_{pn} - ը՝ բեռի լրիվ դիմադրությունը:



Նկ. 1. Ինքնավար ռեժիմում աշխատող ԱԳ - ի սխեման

Ասինքրոն մեքենայի ստացիոնար ռեժիմի մաթեմատիկական մոդելը d,q համակարգում [4] ունի հետևյալ տեսքը.

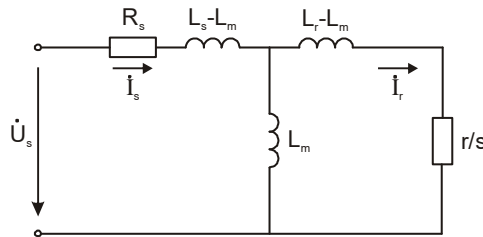
$$\begin{cases} U_{ds} = R_s i_{ds} - \omega_s (L_s i_{qs} + L_m i_{qr}), \\ U_{qs} = R_s i_{qs} + \omega_s (L_s i_{ds} + L_m i_{dr}), \\ 0 = r i_{dr} - (\omega_s - \omega_r) (L_m i_{qs} + L_r i_{qr}), \\ 0 = r i_{qr} + (\omega_s - \omega_r) (L_m i_{ds} + L_r i_{dr}), \\ 0 = \frac{3}{2} L_m (i_{qs} i_{dr} - i_{ds} i_{qr}) + M_m, \end{cases} \quad (1)$$

որտեղ $L_m = \frac{3}{2} L_{sr}$, L_{sr} - ը ստատորի և ռոտորի փոխինդուկտիվությունն է դրանց գուգահեռ դիրքում, $L_s (L_r)$ - ը՝ ստատորի (ռոտորի) փաթույթների ինդուկտիվությունները, $R_s (r)$ - ը՝ ԱԳ - ի ստատորի (ռոտորի) փաթույթների ակտիվ դիմադրությունները, $\omega_s (\omega_r)$ -ն՝ ստատորի դաշտի (ռոտորի) պտտման անկյունային արագությունը, $i_{ds} (i_{dr})$ -ը և $i_{qs} (i_{qr})$ -ը՝ ստատորի (ռոտորի) փաթույթների հոսանքների ընդհանրացված վեկտորների պրոյեկցիան d, q առանցքներով, $U_{ds} (U_{qs})$ - ը՝ ստատորի փաթույթներին կիրառված լարման ընդհանրացված վեկտորի պրոյեկցիան d (q) առանցքով:

Ստատորի և ռոտորի փաթույթների լարումների և հոսանքների միջև կապը ստացիոնար ռեժիմում կոմպլեքս տեսքով կլինի.

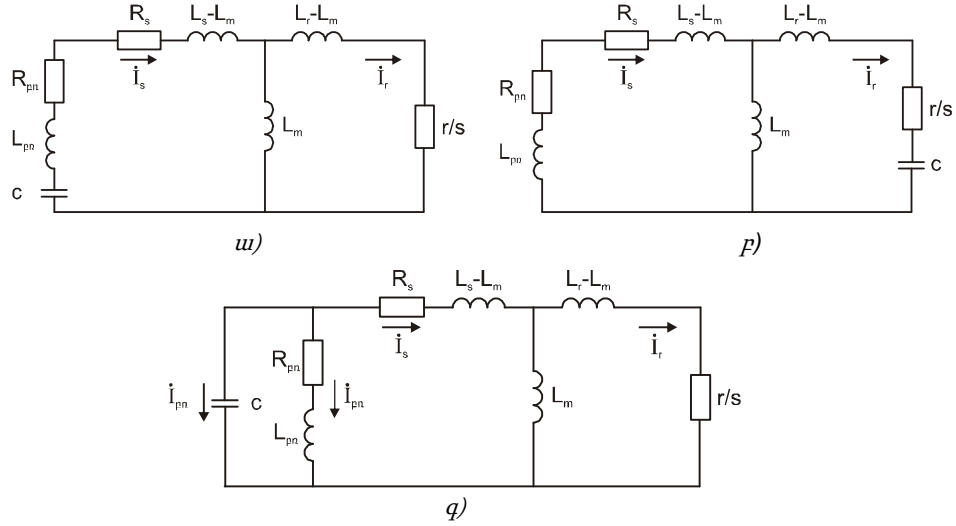
$$\begin{cases} \dot{U}_s = (R_s + j\omega_s L_s) \dot{I}_s + j\omega_s L_m \dot{I}_r, \\ 0 = \left(\frac{r}{s} + j\omega_s L_r \right) \dot{I}_r + j\omega_s L_m \dot{I}_s, \end{cases} \quad (2)$$

որին համապատասխան փոխարինման սխեման պատկերված է նկ. 2 - ում:



Նկ. 2. Ստացիոնար ռեժիմում աշխատող ասինքրոն մեքենայի փոխարինման սխեման

Նկ. 3 - ում ներկայացված են ԱԳ - ի ինքնագրգման կոնդենսատորային մարտկոցների միացման տարատեսակները:



Նկ. 3. Ինքնավար, ստացիոնար ռեժիմում աշխատող ԱԳ - ի փոխարինման սխեմաները
ինքնագրգռման ունակությունների տարբեր միացումների դեպքում.
ա) ունակությունը միացված է բեռին հաջորդաբար, բ) ունակությունը միացված է ռոտորին,
գ) ունակությունը միացված է բեռին զուգահեռ

Ինքնավար ասինքրոն գեներատորի ստացիոնար ռեժիմի գոյության պայմանը ԱԳ - ի ինքնագրգռման ապահովման պայմանն է [2]:

Նկ. 3 ա - ում պատկերված սխեմայից կարող ենք գրել.

$$\dot{U}_s = -Z_{pn} \dot{I}_s, \quad (3)$$

$$Z_{pn} = r_{pn} + j\omega_s L_{pn} - j \frac{1}{\omega_s C}, \quad (4)$$

որտեղ Z_{pn} -ը ԱԳ - ին հաջորդաբար միացված բեռի լրիվ դիմադրությունն է, r_{pn} - ը՝ բեռի ակտիվ դիմադրությունը, L_{pn} - ը՝ բեռի ինդուկտիվությունը:

(2) հավասարումների համակարգը ներկայացնենք հետևյալ տեսքով.

$$\begin{cases} \left[R + j \left(\omega_s L - \frac{1}{\omega_s C} \right) \right] \dot{I}_s + j\omega_s L_m \dot{I}_r = 0, \\ j\omega_s L_m \dot{I}_s + \left(\frac{r}{s} + j\omega_s L_r \right) \dot{I}_r = 0 \end{cases} \quad (5)$$

կամ

$$\begin{bmatrix} R + j\left(\omega_s L - \frac{1}{\omega_s c}\right) & j\omega_s L_m \\ j\omega_s L_m & \left(\frac{r}{s} + j\omega_s L_r\right) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_s \\ \dot{I}_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad (6)$$

որտեղ $R = R_s + r_{pn}$, $L = L_s + L_{pn}$ (որպես որոնելիներ դիտարկվում են ω_s և y մեծությունները):

(6) մատրիցային հավասարման պարզունակ լուծումը հետաքրքրություն չի ներկայացնում: Որպեսզի այն ունենա անթիվ բազմությամբ ոչ պարզունակ լուծումներ, անհրաժեշտ է, որ՝

$$\begin{vmatrix} R + j\left(\omega_s L - \frac{1}{\omega_s c}\right) & j\omega_s L_m \\ j\omega_s L_m & \left(\frac{r}{s} + j\omega_s L_r\right) \end{vmatrix} = 0 : \quad (7)$$

Նշանակելով $y = s/r$, $a = LL_r - L_m^2$ կստանանք.

$$\begin{cases} \omega_s^2 a = \frac{R}{y} + \frac{L_r}{c}, \\ \omega_s^2 \left(RL_r + \frac{L}{y} \right) = \frac{1}{yc} : \end{cases} \quad (8)$$

(8) հավասարումների համակարգի լուծումները պետք է բավարարեն հետևյալ անհավասարումների համակարգի լուծմանը.

$$\begin{cases} D_\omega = c^2 (R^4 L_r^2 c^2 - 2R^2 L_r (L_r L + a)c + L_m^4) \geq 0, \\ c^2 R^2 L_r - (2LL_r - L_m^2)c < 0 : \end{cases} \quad (9)$$

Որոշենք c - ի և R - ի այն արժեքների բազմությունը, որի դեպքում (9) - ը տեղի ունի.

$$c \in \left(0, \frac{(\sqrt{LL_r} - \sqrt{a})^2}{R^2 L_r} \right], \quad (10)$$

$$R \in \left(0, \frac{\sqrt{LL_r} - \sqrt{a}}{\sqrt{cL_r}} \right] : \quad (11)$$

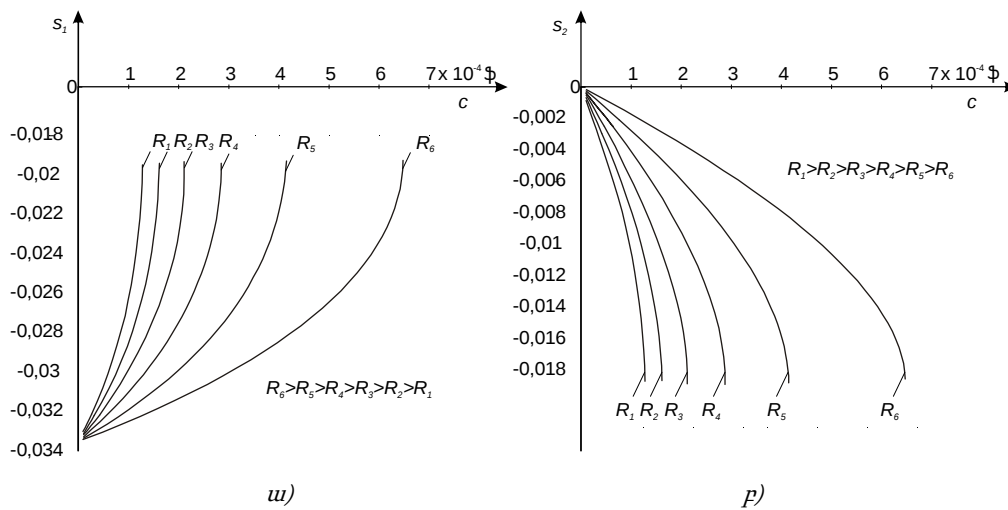
Այսպիսով, ստատորի դաշտի պտտման անկյունային արագությունը կլինի.

$$\begin{cases} \omega_{s1} = \sqrt{\frac{-(c^2 R^2 L_r - (2LL_r - L_m^2)c) + \sqrt{D_\omega}}{2ac^2 L}}, \\ \omega_{s2} = \sqrt{\frac{-(c^2 R^2 L_r - (2LL_r - L_m^2)c) - \sqrt{D_\omega}}{2ac^2 L}}, \end{cases} \quad (12)$$

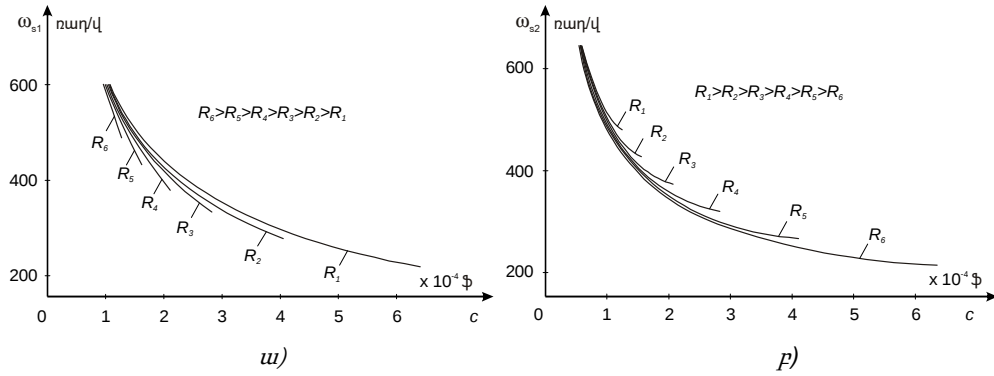
իսկ սահքը՝

$$\begin{cases} s_1 = \frac{1 - \omega_{s1}^2 Lc}{\omega_{s1}^2 RL_r c} r, \\ s_2 = \frac{1 - \omega_{s2}^2 Lc}{\omega_{s2}^2 RL_r c} r : \end{cases} \quad (13)$$

Ստացված առնչությունները ծրագրավորվել են MatLab ծրագրային փաթեթի միջոցով և $L=0,04395$ Հն, $L_r=0,55937$ Հն, $L_m=0,10242$ Հն, $r=1,25572$ Օմ պարամետրերով ԱԳ - ի համար ստացվել է ω_s - ի և s - ի ունակությունից կախվածությունների կորերի ընտանիքը (նկ. 4, 5):



Նկ. 4. Սահքի ունակությունից կախվածության կորերի ընտանիքը տարբեր դիմադրությունների դեպքում.
ա) s_1 արմատի համար, բ) s_2 արմատի համար



Նկ. 5. Ստատորի պտտման արագության ունակությունից կախվածության կորերի ընտանիքը տարբեր դիմադրությունների դեպքում.

ա) ω_{s1} արմատի համար, բ) ω_{s2} արմատի համար

(6) հավասարումների համակարգի երկու հավասարումներից որոշենք $\dot{I}_r$ - ը:

$$\begin{cases} \dot{I}_r = -\frac{R + j\left(\omega_s L - \frac{1}{\omega_s c}\right)}{j\omega_s L_m} \dot{I}_s, \\ \dot{I}_r = -\frac{j\omega_s L_m}{\frac{r}{s} + j\omega_s L_r} \dot{I}_s \end{cases} \quad (14)$$

կամ

$$\dot{I}_r = \dot{K} \dot{I}_s, \quad (15)$$

որտեղ

$$\dot{K} = -\frac{R + j\left(\omega_s L - \frac{1}{\omega_s c}\right)}{j\omega_s L_m} = -\frac{j\omega_s L_m}{\frac{r}{s} + j\omega_s L_r} = \frac{\omega_s^2 L c - 1}{\omega_s^2 L_m c} + j \frac{R}{\omega_s L_m}: \quad (16)$$

(1) հավասարումների համակարգի վերջին հավասարումը ներկայացնենք հետևյալ տեսքով.

$$M_m = -\frac{3}{2} L_m (i_{qs} i_{dr} - i_{ds} i_{qr}) = -\frac{3}{2} L_m \Im m \left(\dot{I}_s^* \dot{I}_r \right) = -\frac{3}{2} \frac{L_m}{(L_s L_r - L_m^2)} \Im m \left(\dot{\psi}_s^* \dot{\psi}_r \right): \quad (17)$$

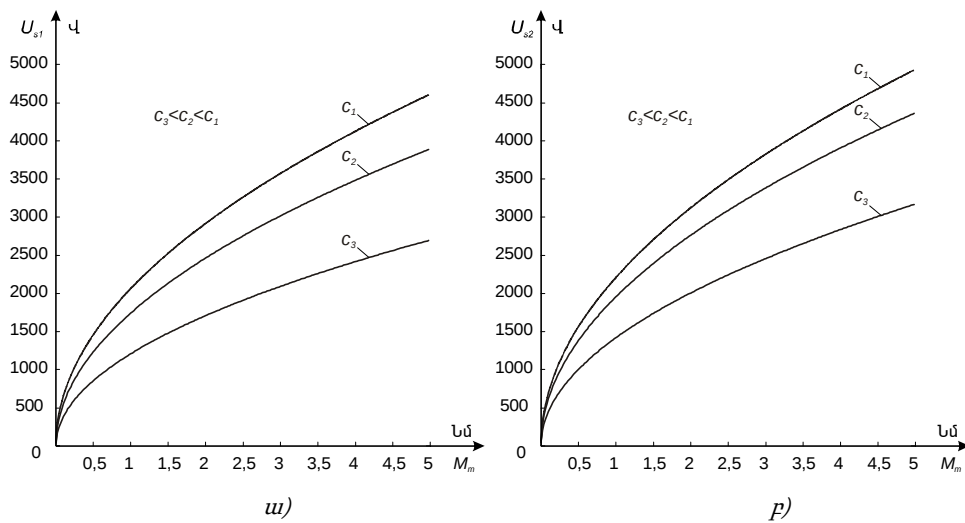
Օգտվելով (15) և (17) առնչություններից՝ ստատորի հոսանքի համար կարող ենք գրել.

$$I_s = \sqrt{\frac{2M_m \omega_s}{3R}} : \quad (18)$$

Այդ դեպքում ստատորի լարման մոդուլը կլինի.

$$U_s = Z I_s = I_s \sqrt{r_{\rho n}^2 + \left(\omega_s L_{\rho n} - \frac{1}{\omega_s C} \right)^2} : \quad (19)$$

Նկ. 6 - ում բերված է $U_s = f(M_m)$ կորերի ընտանիքը տարբեր ունակությունների դեպքում:



Նկ. 6. Ստատորի լարման մոդուլի մոմենտից կախվածության կորերի ընտանիքը տարբեր ունակությունների դեպքում.

ա) ω_{s1} արմատի համար, բ) ω_{s2} արմատի համար

Այսպիսով, ինքնավար ԱԳ - ի ինքնագրգման, անցումային գործընթացների, ստացիոնար կետերի կայունության հետազոտման, ստատորի լարման և հաճախության կարգավորման հարցերը մնում են չլուծված: Ստատորի դաշտի և ռոտորի պտտման անկյունային արագությունները կախված են ոչ թե արտաքին մեխանիկական մոմենտից, այլ մեքենայի էլեկտրական պարամետրերից և բեռից: Արտաքին մեխանիկական մոմենտի փոփոխությունը հանգեցնում է միայն լարման (հոսանքի) փոփոխությանը:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Джэндунбаев А.Р.** Автономные асинхронные генераторы с конденсаторным самовозбуждением: развитие теории и практики: Дис. ... докт. техн. наук: 05.09.01/ МЭИ.- Черкеск, 2006.- 365 с.
2. **Торопцев Н.Д.** Асинхронные генераторы для автономных электроэнергетических установок. - М.: Энергопрогресс, 2004.- 89с.
3. **Зачепа Ю.В.** Автономные системы электроснабжения на базе асинхронных генераторов: основные требования и структура // Электромеханические и энергосберегающие системы. - 2007.- Вып. 3. - С. 12 - 22.
4. **Сафарян В.С.** Исследование несимметричных режимов асинхронной машины // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. - 2011. - Т. 64, N⁰ 2.- С. 168 - 177.

<<Էներգետիկայի գիտահետազոտական ինստիտուտ>> ՓԲԸ: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 05.07.2011:

В.С. САФАРЯН, С.Г. ГЕВОРГЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАЦИОНАРНОГО РЕЖИМА АВТОНОМНОГО АСИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА

Рассматривается условие существования стационарного режима асинхронного генератора, работающего в автономном режиме. Получено семейство кривых зависимости параметров стационарного режима от емкости самовозбуждения.

Ключевые слова: асинхронный генератор, автономный режим, емкость самовозбуждения, стационарный режим.

V.S. SAFARYAN, S.G. GEVORGYAN

STATIONARY REGIME INVESTIGATION OF AN AUTONOMOUS ASYNCHRONOUS GENERATOR

The condition of existing stationary regime of an asynchronous generator is considered. A family of curves dependence of stationary regime parameters on self-disturbance capacity is obtained.

Keywords: asynchronous generator, autonomous regime, self-disturbance capacity, stationary regime.

ՀՏԴ 621.762

ԷՆԵՐԳԵՏԻԿԱ

Լ.Հ. ԿԱՐԱՆԱՆՅԱՆ, Ա.Ս. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ, Ն.Մ. ՍԱՀԱԿՅԱՆ

ՀՈՍԱՆՔԻ ՏՐԱՆՍՖՈՐՄԱՏՈՐՆԵՐԻ ՀՈՍԱՆԱՅԻՆ ԵՎ ԱՆԿՑՈՒՆԱՅԻՆ
ՍԽԱԼԱՆՔՆԵՐԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ

Ներկայացված են չափիչ հոսանքի տրանսֆորմատորների հոսանային և անկյունային սխալանքների հետազոտման արդյունքները, հաշվի առնելով ֆերոմագնիսական միջուկի մագնիսական թափանցելիության կախումը չափվող հոսանքից: Հաշվարկված են ТФ3М110 տիպի հոսանքի տրանսֆորմատորի սխալանքները՝ կախված վերջինիս երկրորդային շղթայի բեռնվածքից և հզորության գործակիցից:

Առանցքային բառեր. հոսանքի տրանսֆորմատոր, հոսանային սխալանք, անկյունային սխալանք, բացարձակ մագնիսական թափանցելիություն:

Էլեկտրական ցանցերում էլեկտրական էներգիայի կորուստների վերլուծության ընթացքում օբյեկտիվ անհրաժեշտություն է տեխնոլոգիական կորուստների նորմատիվի մեջ, բացի հաշվարկային տեխնոլոգիական կորուստներից, հաշվի առնել էլեկտրական էներգիայի հաշվառման չափիչ սարքերի մտցրած սխալանքները: Այդ սարքերից չափիչ հոսանքի տրանսֆորմատորները (ՀՏ) ամենամեծ չափով են ազդում գումարային սխալանքի վրա, մտցնելով երկու տեսակի՝ հոսանային և անկյունային սխալանքներ: Ընդ որում, ՀՏ ֆերոմագնիսական միջուկի մագնիսական թափանցելիության՝ մագնիսական ինդուկցիայից ոչ գծային կախվածության պատճառով անվանականից տարբերվող առաջնային հոսանքների դեպքում առաջանում են սխալանքներ՝ զգալիորեն մեծ անվանական հոսանքի դեպքում երաշխավորվող սխալանքից: Ներկայումս ՀՀ էներգահամակարգում գործում են տասնամյակներ առաջ տեղակայված ՀՏ-ներ, որոնց իրական բեռնվածքը մի քանի անգամ փոքր է իրենց անվանականից, բայց այդ չափիչ սարքերի սխալանքը անվանականից տարբերվող ռեժիմներում հաշվի է առնվում ճշտության դասին համապատասխանող արժեքով:

Դիտարկվում են ՀՏ հոսանային և անկյունային սխալանքների հաշվարկման անալիտիկ արտահայտությունները և դրանց հիման վրա սխալանքների թվային հաշվարկների արդյունքները՝ շահագործման մեջ գտնվող 110 կՎ լարման ՀՏ առաջնային հոսանքների լայն տիրույթում, երբ երկրորդային շղթայում միացված չափիչ սարքերի (ամպերաչափի, հաշվիչի) փաթույթների հզորության գործակիցը ($\cos\alpha$) փոփոխվում է 0,6...0,8 սահմաններում:

Հայտնի է, որ ՀՏ ֆերոմագնիսական միջուկում Φ_0 հոսքը E_2 -ից փուլով առաջ է 90° -ով: Մագնիսական B_m ինդուկցիան ուղղությամբ համընկնում է Φ_0 -ի հետ և որոշվում է հետևյալ հայտնի բանաձևով [1]՝

$$B_m = \frac{E_2}{4,44 f S_u w_2} = \frac{0,225 E_2}{f S_u w_2}, \quad (5)$$

որտեղ $f = 50 \text{ Հգ}$ - հոսանքի հաճախությունն է, S_u -ն՝ մագնիսալարի լայնական հատույթի մակերեսը:

Մագնիսական հոսքը որոշվում է՝

$$\Phi_0 = \frac{\sqrt{2} F_0}{Z_u}, \quad (6)$$

որտեղ $Z_u = \frac{\ell_u}{\mu_p S_u}$ - մագնիսալարի մագնիսական դիմադրությունն է, ℓ_u, S_u -ն՝ մագնիսական միջին զծի երկարությունը և լայնական հատույթի մակերեսը, μ_p -ն՝ պողպատի բացարձակ մագնիսական թափանցելիությունը:

ՀՏ հոսանային սխալանքն ըստ (1) սահմանման և վեկտորական դիագրամի ($BC = F_0 \sin(\psi + \alpha)$) ստացվում է հետևյալ տեսքով.

$$\delta_i = \frac{F_0}{F_1} \sin(\psi + \alpha) \cdot 100\%, \quad (7)$$

որտեղ ψ -ն ֆերոմագնիսական միջուկում կորուստների անկյունն է:

Ըստ (6)-ի

$$F_0 = \frac{0,225 E_2 Z_u}{\sqrt{2} f w_2} = \frac{0,225 I_2 Z_2 \ell_u}{\sqrt{2} \mu_p f S_u w_2}, \quad (8)$$

հետևաբար՝

$$\delta_i = \frac{0,225 I_2 Z_2 \ell_u}{\sqrt{2} \mu_p f S_u w_2 F_1} \sin(\psi + \alpha) \cdot 100\% : \quad (9)$$

2. Անկյունային սխալանք: ՀՏ-ի անկյունային սխալանքը (θ) որոշվում է I_1 առաջնային հոսանքի և 180° -ով շրջված I_2 հոսանքի վեկտորների փուլային շեղմամբ (նկ. 1) և արտահայտվում է անկյունային բուպեներով [1]

$$\theta = 3440 \frac{F_0}{F_1} \cos(\psi + \alpha) = 3440 \frac{0,225 I_2 Z_2 \ell_u}{\sqrt{2} \mu_p f S_u w_2 I_1 w_1} : \quad (10)$$

Վերլուծելով (7) և (10) բանաձևերով որոշվող ՀՏ հոսանային և անկյունային սխալանքների արտահայտությունները՝ կարելի է եզրակացնել, որ տվյալ ՀՏ-ի առաջացրած սխալանքը I_1 առաջնային հոսանքի յուրաքանչյուր արժեքի դեպքում որոշվում է պողպատի բացարձակ $\mu_p = \frac{B_m}{H}$ մագնիսական թափանցելիությամբ: Հետևաբար, անալիտիկորեն δ_i և θ սխալանքները հաշվարկելու համար անհրաժեշտ է տվյալ երկրաչափական պարամետրերով (ℓ_u, S_u) ֆերոմագնիսական միջուկի պողպատի μ_p թափանցելիության հաշվարկ, ելնելով նրա մագնիսացման $B_m(H)$ բնութագրից:

Մասնավոր դեպքում՝ 1512 (Յ42) պողպատի համար նշված բնութագիրը ապրոքսիմացվում է [2]

$$H = 82 B_m^{0.6} : \quad (11)$$

Ֆունկցիայի միջոցով [2], որտեղ H և B_m մեծություններն արտահայտված են համապատասխանաբար $U/\text{մ}$ և S_z միավորներով:

Ինչ վերաբերում է ֆերոմագնիսական միջուկում մագնիսական կորուստների ψ անկյանը, նշենք, որ այն որոշվում է մագնիսահաղորդչում մագնիսական դաշտի H լարվածությունից կամ ինդուկցիայի B_m ամպլիտուդից ունեցած կախվածությամբ, որը յուրաքանչյուր պողպատի համար տրվում է չափումների հիման վրա ստացված տվյալների աղյուսակի տեսքով [1, էջ 286]: Ընդ որում, Յ41, Յ42, Յ46 և Յ48 պողպատների համար $\psi(H)$ կախվածությունը նպատակահարմար է ապրոքսիմացնել հետևյալ բազմանդամի տեսքով՝

$$\psi = -0,000001H^4 + 0,0000429H^3 - 0,0003877H^2 + 0,015476H + 0,2057971, \quad (12)$$

որտեղ H -ը ֆերոմագնիսական միջուկում մագնիսական դաշտի լարվածությունն է, $U/\text{մ}$:

Այն պետք է որոշել առաջնային հոսանքի յուրաքանչյուր արժեքի դեպքում, ելնելով $B_m = \frac{I_1 Z_2}{4,44 \cdot K_{iui} \cdot S_u \cdot f \cdot w_2}$ հավասարումից և (11) բանաձևի աջ մասի հաշվարկից:

Հոսանային և անկյունային սխալանքների անալիտիկ արտահայտությունների հիման վրա հաշվարկվել են ТФ3М110 տիպի ՀՏ-ի հոսանային և անկյունային սխալանքները առաջնային հոսանքի I_1/I_{iui} հարաբերական արժեքի փոփոխման լայն տիրույթում:

Հաշվարկման արդյունքները նշված ՀՏ-ի համար բերված են աղյուսակում՝ երկրորդային շղթայի հզորության գործակցի ($\cos \alpha$) տարբեր արժեքների համար:

ТФ3М110 ՀՏ սխալանքների կախումը I_1 -ի հարաբերական արժեքից

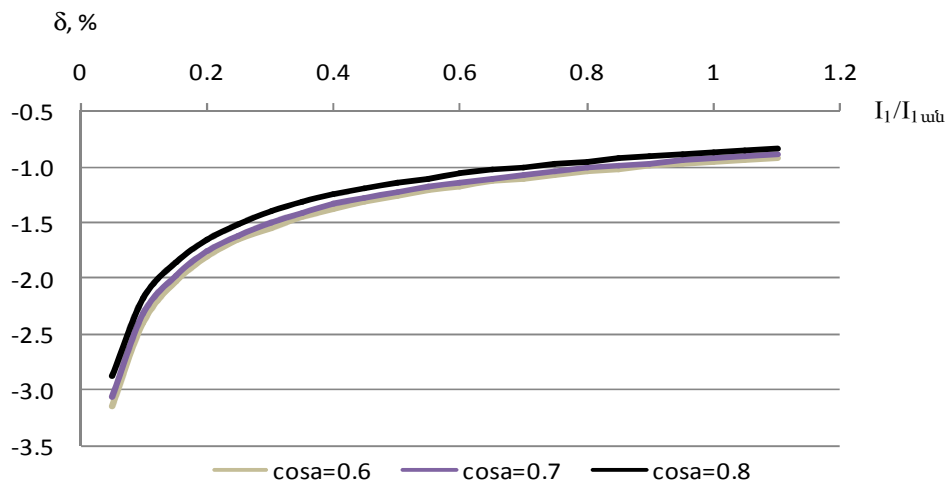
cos α =0.8					cos α =0.7					cos α =0.6				
$I_1/I_{1\text{տն}}$	B_m, S_L	$H, U/f$	$\delta, \%$	$\theta, \rho n u y$	$I_1/I_{1\text{տն}}$	B_m, S_L	$H, U/f$	$\delta, \%$	$\theta, \rho n u y$	$I_1/I_{1\text{տն}}$	B_m, S_L	$H, U/f$	$\delta, \%$	$\theta, \rho n u y$
0,05	0,00	2,95	-0,94	67,53	0,05	0,00	2,95	-1,22	59,02	0,05	0,00	2,95	-1,43	50,52
0,1	0,01	4,46	-0,58	51,17	0,10	0,01	4,46	-0,80	44,71	0,10	0,01	4,46	-0,96	38,27
0,15	0,01	5,69	-0,42	43,50	0,15	0,01	5,69	-0,60	38,01	0,15	0,01	5,69	-0,73	32,53
0,2	0,02	6,77	-0,31	38,76	0,20	0,02	6,77	-0,47	33,87	0,20	0,02	6,77	-0,59	28,98
0,25	0,02	7,74	-0,24	35,44	0,25	0,02	7,74	-0,39	30,97	0,25	0,02	7,74	-0,50	26,50
0,3	0,02	8,63	-0,19	32,94	0,30	0,02	8,63	-0,32	28,78	0,30	0,02	8,63	-0,42	24,62
0,35	0,03	9,47	-0,14	30,97	0,35	0,03	9,47	-0,27	27,05	0,35	0,03	9,47	-0,37	23,14
0,4	0,03	10,26	-0,11	29,35	0,40	0,03	10,26	-0,23	25,64	0,40	0,03	10,26	-0,32	21,93
0,45	0,04	11,01	-0,08	28,00	0,45	0,04	11,01	-0,19	24,45	0,45	0,04	11,01	-0,28	20,92
0,5	0,04	11,73	-0,05	26,84	0,50	0,04	11,73	-0,16	23,44	0,50	0,04	11,73	-0,25	20,05
0,55	0,04	12,42	-0,03	25,83	0,55	0,04	12,42	-0,14	22,56	0,55	0,04	12,42	-0,22	19,29
0,6	0,05	13,08	-0,01	24,94	0,60	0,05	13,08	-0,11	21,78	0,60	0,05	13,08	-0,19	18,63
0,65	0,05	13,73	0,01	24,15	0,65	0,05	13,73	-0,09	21,09	0,65	0,05	13,73	-0,17	18,04
0,7	0,06	14,35	0,02	23,44	0,70	0,06	14,35	-0,07	20,47	0,70	0,06	14,35	-0,15	17,50
0,75	0,06	14,96	0,04	22,80	0,75	0,06	14,96	-0,06	19,91	0,75	0,06	14,96	-0,13	17,02
0,8	0,06	15,55	0,05	22,22	0,80	0,06	15,55	-0,04	19,40	0,80	0,06	15,55	-0,11	16,58
0,85	0,07	16,12	0,06	21,68	0,85	0,07	16,12	-0,03	18,93	0,85	0,07	16,12	-0,10	16,18
0,9	0,07	16,68	0,07	21,19	0,90	0,07	16,68	-0,02	18,50	0,90	0,07	16,68	-0,08	15,81
0,95	0,07	17,23	0,08	20,73	0,95	0,07	17,23	0,00	18,10	0,95	0,07	17,23	-0,07	15,47
1	0,08	17,77	0,09	20,31	1,00	0,08	17,77	0,01	17,73	1,00	0,08	17,77	-0,06	15,15
1,05	0,08	18,30	0,10	19,91	1,05	0,08	18,30	0,02	17,38	1,05	0,08	18,30	-0,04	14,86
1,1	0,09	18,82	0,11	19,54	1,10	0,09	18,82	0,03	17,06	1,10	0,09	18,82	-0,03	14,58
1,1	0,09	18,82	0,11	19,54	1,10	0,09	18,82	0,03	17,06	1,10	0,09	18,82	-0,03	14,58
1,15	0,09	19,33	0,12	19,20	1,15	0,09	19,33	0,04	16,75	1,15	0,09	19,33	-0,02	14,32
1,2	0,09	19,83	0,12	18,87	1,20	0,09	19,83	0,04	16,47	1,20	0,09	19,83	-0,01	14,07
1,25	0,10	20,32	0,13	18,56	1,25	0,10	20,32	0,05	16,20	1,25	0,10	20,32	-0,01	13,84
1,3	0,10	20,80	0,14	18,27	1,30	0,10	20,80	0,06	15,94	1,30	0,10	20,80	0,00	13,62
1,35	0,11	21,28	0,14	17,99	1,35	0,11	21,28	0,07	15,70	1,35	0,11	21,28	0,01	13,42
1,4	0,11	21,75	0,15	17,73	1,40	0,11	21,75	0,07	15,47	1,40	0,11	21,75	0,02	13,22
1,45	0,11	22,21	0,15	17,48	1,45	0,11	22,21	0,08	15,26	1,45	0,11	22,21	0,03	13,03
1,5	0,12	22,67	0,16	17,25	1,50	0,12	22,67	0,09	15,05	1,50	0,12	22,67	0,03	12,86
1,55	0,12	23,12	0,16	17,02	1,55	0,12	23,12	0,09	14,85	1,55	0,12	23,12	0,04	12,69
1,6	0,13	23,56	0,17	16,80	1,60	0,13	23,56	0,10	14,66	1,60	0,13	23,56	0,05	12,52
1,65	0,13	24,00	0,17	16,60	1,65	0,13	24,00	0,10	14,48	1,65	0,13	24,00	0,05	12,37
1,7	0,13	24,44	0,18	16,40	1,70	0,13	24,44	0,11	14,31	1,70	0,13	24,44	0,06	12,22
1,75	0,14	24,86	0,18	16,21	1,75	0,14	24,86	0,11	14,14	1,75	0,14	24,86	0,06	12,08
1,8	0,14	25,29	0,18	16,02	1,80	0,14	25,29	0,12	13,98	1,80	0,14	25,29	0,07	11,94
1,85	0,15	25,71	0,19	15,85	1,85	0,15	25,71	0,12	13,82	1,85	0,15	25,71	0,07	11,81
1,9	0,15	26,12	0,19	15,68	1,90	0,15	26,12	0,13	13,68	1,90	0,15	26,12	0,08	11,68
1,95	0,15	26,53	0,20	15,52	1,95	0,15	26,53	0,13	13,53	1,95	0,15	26,53	0,08	11,56
2	0,16	26,94	0,20	15,36	2,00	0,16	26,94	0,14	13,40	2,00	0,16	26,94	0,09	11,44

Նկ. 2 – 3-ում վրա բերված են δ_i և θ անկյունային սխալանքների կախումը $I_1/I_{1\text{ան}}$ հարաբերությունից արտահայտող գրաֆիկները:

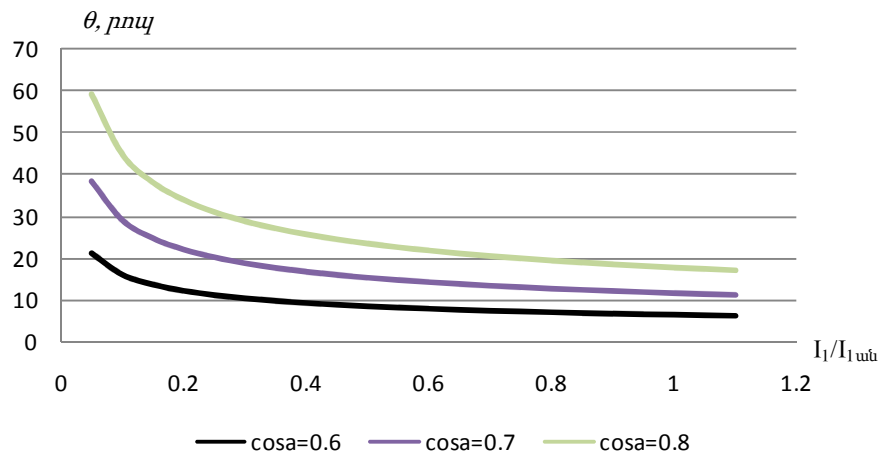
Ընդ որում, I_1 հոսանքի՝ անվանականից փոքր արժեքների դեպքում δ_i ունի բացասական նշան (թերաչափում) և բացարձակ արժեքով փոքրանում է հոսանքի մեծանալիս, իսկ $\theta = f(I_1)$ գրաֆիկներից հետևում է, որ I_1 -ի մեծանալիս անկյունային սխալանքը փոքրանում է և $I_{1\text{ան}}$ դեպքում ունի նվազագույն արժեք:

ՀՏ հոսանային սխալանքը փոքրացնելու նպատակով կիրառվում է երկրորդային փաթույթի գալարների «ետփաթաթում», այսինքն՝ երկրորդային փաթույթի իրական w_2 գալարների թիվը անվանականից 1-2 գալարով պակասեցվում է: Երկրորդային հոսանքը մեծանում է, և հաշվարկային բացասական սխալանքին ավելանում է $\frac{\Delta w_2}{w_{2\text{ան}}} 100\%$ դրական նշանով սխալանք:

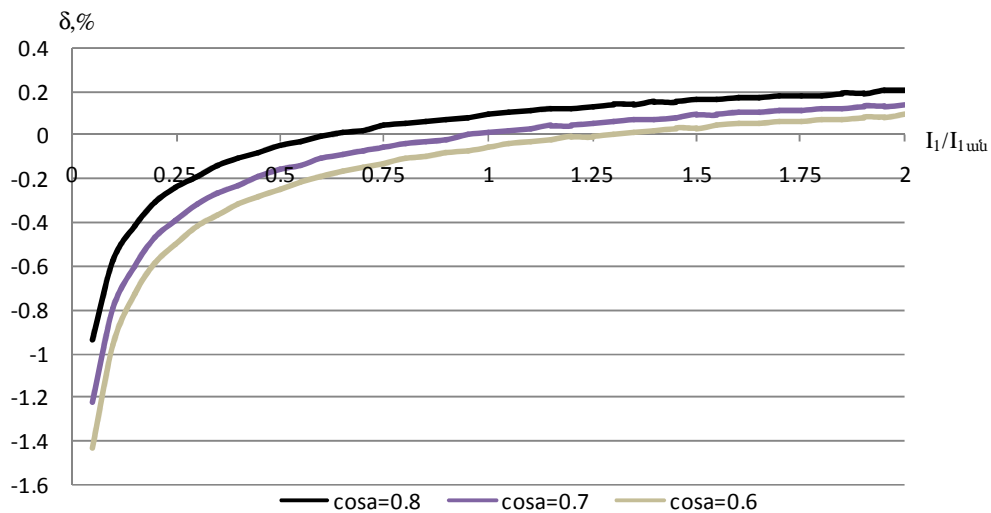
Նկ. 4-ում բերված են ТФ3М110 տիպի ՀՏ հոսանային սխալանքի կախումը $I_1/I_{1\text{ան}}$ -ից արտահայտող գրաֆիկները, երբ երկրորդային փաթույթի գալարների թիվը $w_{2\text{ան}}$ -ից 1,7-ով պակաս է՝ $\cos \alpha$ -ի 0,8, 0,7 և 0,6 արժեքների դեպքում:



Նկ. 2. ТФ3М110 տիպի ՀՏ հոսանային սխալանքի կախումը հոսանքի հարաբերական արժեքից



Նկ. 3. $T\Phi 3M110$ տիպի ՀՏ անկյունային սխալանքի կախումը հոսանքի հարաբերական արժեքից



Նկ. 4. $T\Phi 3M110$ տիպի ՀՏ հոսանային սխալանքի կախումը հոսանքի հարաբերական արժեքից՝ գալարների թիվը պակասեցնելուց հետո

Եզրակացություններ

1. Հոսանքի չափիչ տրանսֆորմատորների հոսանային սխալանքը, անվանականից փոքր հոսանքների դեպքում, մի քանի անգամ մեծ է անվանական հոսանքի դեպքում երաշխավորված սխալանքից:
2. Հոսանքի տրանսֆորմատորի հոսանային և անկյունային սխալանքները էապես կախված են առաջնային հոսանքից և առավելագույն արժեք ունեն $I_1 \leq 0,01 I_{1un}$ հոսանքներ չափելիս:

3. Հոսանքի տրանսֆորմատորի հոսանային սխալանքը մեծանում է նրա երկրորդային շղթայի հզորության գործակցի նվազմանը զուգընթաց և $\cos \alpha = 1$ սահմանային արժեքի դեպքում ստանում է ամենափոքր արժեքը:

4. Հոսանքի տրանսֆորմատորի անկյունային սխալանքը մեծանում է նրա երկրորդային շղթայի հզորության գործակցի մեծանալիս և սահմանային արժեքի դեպքում ստանում է ամենամեծ արժեքը:

ՔՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. Трансформаторы тока / В.В. Афанасьев, Н.М. Адоньев, В.М. Кибель и др. – Л.: Энергоатомиздат, 1989. – 416 с.
 2. Бачурин Н.И. Трансформаторы тока. – Л.: Энергия, 1963. – 350 с.
- «Էներգետիկայի ԳՀԻ» ՓԲԸ. Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 26.05.2011:

Լ.Օ. ԿԱՐԱԽԱՆՅԱՆ, Ա.Տ. ԱՐՄԵՆՅԱՆ, Ն.Մ. ՏԱԿՅԱՆ

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОКОВОЙ И УГЛОВОЙ ПОГРЕШНОСТЕЙ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА

Представлены результаты исследования токовой и угловой погрешностей измерительных трансформаторов с учётом нелинейной зависимости магнитной проницаемости ферромагнитного сердечника от измеряемого тока. Рассчитаны погрешности реального трансформатора тока типа ТФЗМ110 с известными геометрическими и электромагнитными параметрами, выявлены их зависимости от величины измеряемого тока, а также коэффициента мощности вторичной цепи.

Ключевые слова: трансформатор тока, токовая погрешность, угловая погрешность, абсолютная магнитная проницаемость.

L.H. KARAKHANYAN, A.S. HARUTYUNYAN, N.M. SAHAKYAN

INVESTIGATION OF CURRENT ANGLE INACCURACY IN MEASURING CURRENT TRANSFORMERS

Investigation results for current and angular inaccuracies in measuring current transformers subject to non-linear dependence of ferromagnetic core magnetic conductivity on measured current are presented. Inaccuracies for a real transformer of TFZM110 type with given geometrical and electrical magnetic parameters and their dependences on measured current value as well as power factor of the secondary circuit are calculated.

Keywords: current transformer, current inaccuracy, angular inaccuracy, absolute magnetic conductivity.

В.П. АРАКЕЛЯН, Л.А. АКОПЯН

НОВЫЙ ПОДХОД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ Y-МАТРИЦЫ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Получены формулы расчета элементов матрицы узловых комплексных проводимостей схемы замещения электроэнергетической системы. Осуществлено построение матрицы Y-формы пассивных параметров электроэнергетической системы.

Ключевые слова: электроэнергетическая система, схема замещения, проводимость, формулы, матрица.

Электроэнергетическая система (ЭЭС) – электрическая часть энергетической системы, является достаточно сложной. Элементы современных ЭЭС имеют множество внутренних и наружных связей, которые требуют большого объема информации для расчета и анализа ее режимов [1-4]. Учитывая разные виды моделирования элементов современных ЭЭС, сложность схем электрических сетей, а также возможности вычислительной техники, предлагаются новые формулы расчета параметров схемы замещения и виды обобщенных параметров ЭЭС. Преимуществами данного подхода являются универсальность полученных расчетных формул и легкая программная реализация.

Предположим, что ЭЭС состоит из $M+1$ узлов (см. рис. 1).

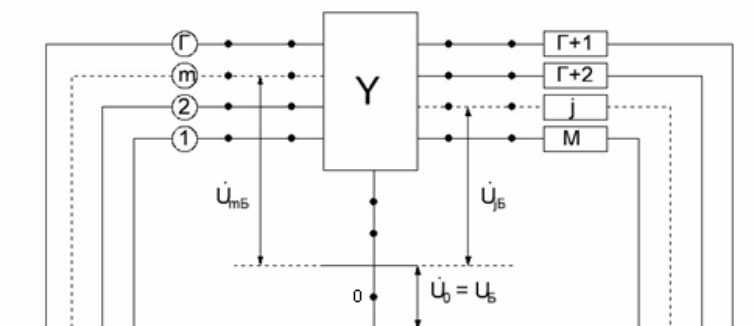


Рис. 1. Схема замещения ЭЭС Y-формой

В качестве базисного (балансного) выбирается узел с индексом “0”. Принимается, что мощности узлов станций (1, 2, ..., Γ) и нагрузки (Γ+1, Γ+2, ..., Γ+N=M) приведены на шины повышающих и понижающих трансформаторных подстанций. При моделировании режимов сложных ЭЭС становятся важными виды представления схем замещения их элементов [5]. Матрицу узловых комплексных проводимостей ЭЭС, содержащей M независимых узлов, можно представить в виде

(1)

$Y_{12}, Y_{21}, \dots, Y_{M1}$ - взаимные комплексные проводимости независимых узлов.

Матрица узловых комплексных проводимостей содержит полную информацию о конфигурации системы, ее параметрах и составляется непосредственно на основе схемы замещения. Схема узла ЭЭС показана на рис.2.

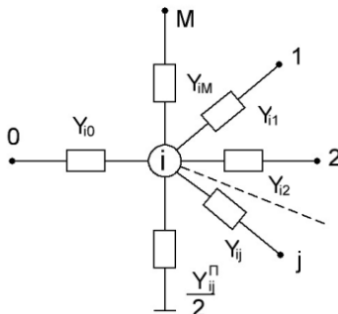


Рис. 2. Схема узла ЭЭС

Представляя линию электропередачи (ЛЭП) моделью Y [2], для взаимных комплексных проводимостей получим [3]

(2)

Полные комплексные сопротивления ветвей определяются в виде

(3)

где $\dot{W}_{B,i0}, \dot{W}_{B,i1}, \dot{W}_{B,i2}, \dots, \dot{W}_{B,ij}, \dot{W}_{B,iM}$ - комплексные величины волновых сопротивлений ЛЭП; $\dot{\gamma}_{B,i0}, \dot{\gamma}_{B,i1}, \dot{\gamma}_{B,i2}, \dots, \dot{\gamma}_{B,ij}, \dot{\gamma}_{B,iM}$ - комплексные коэффициенты распростра-

186

мой комплексных проводимостей, подключенных к узлу. Знак собственных комплексных проводимостей всегда положительный, а знак взаимных комплексных проводимостей – отрицательный. Если между узлами i и j электрическая связь отсутствует, то взаимная комплексная проводимость $Y_{ij} = 0$. По этой причине матрица комплексных проводимостей $[Y]$ слабозаполненная. Для собственных комплексных проводимостей получим

$$Y_{ii} = \sum_{j=1, j \neq i}^M Y_{ij} + \frac{1}{2} \sum_{j=1, j \neq i}^M Y_{ij}^n, \quad i = 1, 2, 3, \dots, M. \quad (11)$$

Исследование проводилось для ЭЭС Армении. Сооружена макромодель ЭЭС. На основе макромодели представлена схема замещения ЭЭС (см. рис. 3). Матрица $[Y]$ комплексных проводимостей ЭЭС имеет следующий вид:

$$Y = \begin{bmatrix} Y_{00} & -Y_{01} & -Y_{02} & -Y_{03} & -Y_{04} \\ -Y_{10} & Y_{11} & -Y_{12} & -Y_{13} & -Y_{14} \\ -Y_{20} & -Y_{21} & Y_{22} & -Y_{23} & -Y_{24} \\ -Y_{30} & -Y_{31} & -Y_{32} & Y_{33} & -Y_{44} \\ -Y_{40} & -Y_{41} & -Y_{42} & -Y_{43} & Y_{44} \end{bmatrix}. \quad (12)$$

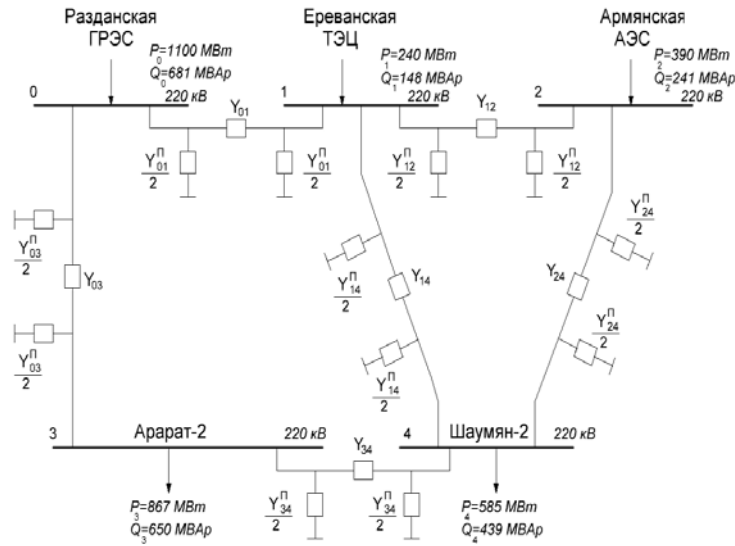


Рис. 3. Схема замещения ЭЭС

Результаты исследований представлены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Взаимные комплексные проводимости

ij	Формула	g_{ij}, C_M	b_{ij}, C_M	$g_{ij}^i \cdot 10^{-4}, C_M$	$b_{ij}^i \cdot 10^{-4}, C_M$
01 (10)	классическ.	-0,006427	0,036978	0,008937	1,6875
	новая	-0,006426	0,037006	0,008678	1,686231
12 (21)	классическ.	-0,006866	0,039506	0	1,5795
	новая	-0,006866	0,039533	0	1,578452
03 (30)	классическ.	-0,078139	0,36896	0	8,552311
	новая	-0,07804	0,369144	0	8,547651
14 (41)	классическ.	-0,12276	0,854073	0,008764	1,82946
	новая	-0,122456	0,854275	0,008732	1,829444
24 (42)	классическ.	-0,052321	0,301039	0,028726	5,4243
	новая	-0,052319	0,301133	0,028295	5,422269
34 (43)	классическ.	-0,12276	0,854073	0	1,82946
	новая	-0,122568	0,854255	0	1,829444

Таблица 2

Собственные комплексные проводимости

ij	Формула	g_{ii}, C_M	b_{ii}, C_M	$g_{ii}^i \cdot 10^{-4}, C_M$	$b_{ii}^i \cdot 10^{-4}, C_M$
00	классическ.	0,084566	-0,405938	0,008937	10,239811
	новая	0,084466	-0,40615	0,008678	10,233882
11	классическ.	0,136053	-0,930557	0,017701	5,09646
	новая	0,135748	-0,930814	0,017407	5,094127
22	классическ.	0,059187	-0,340545	0,028726	7,0038
	новая	0,059185	-0,340666	0,028295	7,000721
33	классическ.	0,200899	-1,223033	0	10,381771
	новая	0,200608	-1,223399	0	10,377095
44	классическ.	0,207841	-2,009185	0,03749	9,08322
	новая	0,297343	-2,009663	0,037027	9,081157

Выводы

1. Формулы расчетов элементов матрицы Y ЭЭС позволяют определить обобщенные параметры сложных систем.

2. Расчетные формулы взаимных и собственных комплексных проводимостей позволяют уточнить значения проводимостей продольных и поперечных ветвей схемы замещения системы, существенно изменяя значения активных проводимостей поперечных ветвей (0,36...2,89%).

3. Уменьшение активных проводимостей поперечной ветви схемы замещения ЭЭС дает возможность уменьшить потери на электрическую корону в сетях.

4. Предлагаемые формулы приемлемы как для питающих, так и для системообразующих электрических сетей, так как последние содержат ЛЭП

СВН, в расчетах которых используются вторичные параметры ЛЭП.

5. Составленная в среде С# компьютерная программа обеспечивает высокую точность расчетов и широкие границы применения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Առաքելյան Վ.Պ., Հակոբյան Լ.Ա.** Էլեկտրահաղորդման գծերի փոխարինման սխեմաների և գրառումների վերլուծություն // ՀՊՃՀ Լրաբեր – 75. - Երևան, 2008.- Մաս 1. - էջ 125-127:
2. **Аракелян В.П.** Границы применения моделей линий электропередач // Вестник Инженерной академии Армении. – 2009.- Т.5, № 1.- С. 39-41.
3. **Веников В.А., Строев В.А.** Электрические системы. Электрические сети.- М.: Высш. шк., 1998.-511 с.
4. **Duncan Glover J., Mulukutla Sarma S., Overbye Thomas J.** Power system analysis and design. 4th ed.- Thomson Australia, Brazil, Canada, Mexico, Singapore, United Kingdom, United States, 2008.-767 p.
5. **Xi-Fan Wang, Yonghau Song, Malcolm Irving** Modern Power Systems Analysis.- Springer Science + Business Media.- New York, 2008.- 569 p.
6. **Առաքելյան Վ.Պ.** Էլեկտրական ցանցեր: Գործնական աշխատանքներ / ՀՊՃՀ. - Երևան, 1999.- 22 էջ:
7. **Аракелян В.П., Оганесян О.С., Акопян Л.А., Аракелян А.В.** Программа расчета режимов линий электропередач // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. -2011. - Т. LXIV, № 2. - С. 178-182.

ГИУА (ПОЛИТЕХНИК). Материал поступил в редакцию 08.07.2011.

Վ.Պ. ԱՌԱՔԵԼՅԱՆ, Լ.Ա. ՀԱԿՈԲՅԱՆ

ԷԼԵԿՏՐԱԷՆԵՐԳԵՏԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ Y-ՄԱՏՐԻՑԻ ՈՐՈՇՄԱՆ ՆՈՐ ՄՈՏԵՑՈՒՄ

Ստացված են էլեկտրաէներգետիկական համակարգի փոխարինման սխեմայի հանգուցային կոմպլեքս հաղորդականությունների մատրիցի տարրերի հաշվարկման նոր բանաձևեր: Կառուցվել է էլեկտրաէներգետիկական համակարգի պասսիվ պարամետրերի Y տեսքի մատրիցը:

Առանցքային բառեր. էլեկտրաէներգետիկական համակարգ, փոխարինման սխեմա, հաղորդականություն, բանաձևեր, մատրից:

V.P. ARAKELIAN, L.A. HAKOBYAN

A NEW APPROACH TO DEFINING ELECTRICAL POWER SYSTEM OF Y-MATRIX

Calculation element formulae of matrix nodal complex scheme conductance for equivalent circuit are obtained. The matrix passive parameters of the electric power system Y-shaped construction is realized.

Keywords: electric energy system, equivalent circuit, conductance, formulae, matrix.

ՀՏԴ 621.1.016.4:536

ԳԻՏԱԿԱՆ ՍԱՐՔԱՇԻՆՈՒԹՅՈՒՆ
ԵՎ ՉԱՓԻՉ ՏԵԽՆԻԿԱ

Ա.Ս. ՇԱՂԳԱՍՅԱՆ, Ն.Ա. ՇԱՂԳԱՍՅԱՆ

**ՋԵՐՄԱՍՏԻՃԱՆՆԵՐԻ ՏԱՐԲԵՐՈՒԹՅԱՆ ՉԱՓՈՒՄՆ ՈւՂՂԱԿԻ ՄԵԹՈԴՈՎ ԵՎ
ՄԽԱԼԱՆՔՆԵՐԻ ՀԱՇՎԱՐԿԸ**

Առաջարկվում են դիմադրության ջերմակերպափոխիչներով (առանց գույգի ընտրության) ջերմաստիճանների տարբերության չափման մեթոդ և մեթոդային սխալանքների հաշվարկի բանաձևեր:

Առանցքային բառեր. ջերմաստիճանների տարբերություն, դիմադրության ջերմակերպափոխիչներ՝ առանց գույգի ընտրության, ջերմաստիճանների տարբերության չափման սխալանքի հաշվարկ:

Ներկայումս ջերմային էներգիայի չափման համակարգերում ջերմաստիճանների տարբերության չափումը բարձր ճշգրտությամբ իրականացվում է պլատինե դիմադրության ջերմակերպափոխիչների (ԴՋ) գույգի միջոցով θ_1 և θ_2 ջերմաստիճանները չափելով և դրանց $\Delta\theta = \theta_1 - \theta_2$ տարբերությունը որոշելով [1]: Պլատինե ԴՋ-ների գույգի ընտրությունն իրականացվում է ԴՋ-ներ արտադրող գործարաններում և բավական աշխատատար գործընթաց է [2]: ԴՋ-ների գույգերի կազմավորման նպատակով փորձարարությամբ որոշվում են արտադրված յուրաքանչյուր ԴՋ-ի ստատիկ բնութագրի (աստիճանավորման ֆունկցիայի) պարամետրերը, և այնուհետև ընտրվում են իրար շատ մոտ պարամետրերով գույգ ԴՋ-ները, որոնք հետագայում առաքվում են շահագործման [1,2]: Հարկ է նշել նաև, որ գույգ ԴՋ-ներից մեկի փչանալու դեպքում այն դժվար է փոխարինել համապատասխան ԴՋ-ով, և օբյեկտում օգտագործման համար տեղադրվում է նոր գույգ [1,2]:

Պլատինե ԴՋ-ի ստատիկ բնութագիրը 0 -ից մինչև $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($850\text{ }^{\circ}\text{C}$) տիրույթում արտահայտվում է մոտարկման հետևյալ բանաձևով [3,4]՝

$$R_{\theta} = R_0 W_{\theta} = R_0 [1 + A\theta + B\theta^2], \quad (1)$$

որտեղ R_0 -ն ԴՋ-ի դիմադրությունն է $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ջերմաստիճանում, $W_{\theta} = 1 + A\theta + B\theta^2$ - ն՝ ԴՋ-ի դիմադրության ջերմաստիճանային գործակիցը (A և B գործակիցների արժեքները բերված են աղ.1-ում):

Արտադրվող ԴՋ-ների կարևոր բնութագրերն են՝ դիմադրությունը $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ջերմաստիճանում (R_0), հարաբերական ջերմաստիճանային գործակիցը $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ջերմաստիճանում՝ $W_{100} = R_{100}/R_0$ -ը, որոնց արժեքները նորմավորվում են համապատասխան

ստանդարտներով [3,4]: Այդ ստանդարտներով սահմանված են նաև ԴՋ-ների թույլտվածքի դասերը, դրանց համապատասխան R_0 -ի թույլտվածքը, W_{100} -ի թույլտվածքը և թույլատրելի սխալանքների սահմանային արժեքները (աղ.2 և 3) [3,4]: ԴՋ-ների զույգի ընտրությունը կատարվում է այնպես, որ երկու ԴՋ-ների R_0 -ի և W_{100} -ի շեղումներն անվանական արժեքներից լինեն նույն նշանով և իրար շատ մոտ: Անհրաժեշտ է նաև, որ ԴՋ-ների բացարձակ սխալանքներն աշխատանքային պայմաններում լինեն նույն նշանով և մոտավորապես իրար հավասար, իսկ պարբերական ստուգաչափումներից հետո դրանք պետք է տեղադրվեն նույն տեղերում [1,2]:

Պլատինե ԴՋ-ներն արտադրվում են $W_{100}=1,3910$ (Պ տիպի) և $W_{100}=1,3850$ (Ք տիպի) արժեքներով և նույն պարամետրերով: Դրանց հիմնական բնութագրերը բերված են աղ.1- 3-ում:

Աղյուսակ 1

ԴՋ-ի մոտարկման ֆունկցիայի գործակիցների արժեքները

ԴՋ-ի մոտարկման ֆունկցիայի գործակիցները	ԳՕՍՍ 6651-94		ԳՕՍՍ Ռ 8.625-2006	
	$W_{100}=1,3910$	$W_{100}=1,3850$	$W_{100}=1,3910$	$W_{100}=1,3850$
A	$3,9692 \cdot 10^{-3}$	$3,9083 \cdot 10^{-3}$	$3,9690 \cdot 10^{-3}$	$3,9083 \cdot 10^{-3}$
B	$-5,8290 \cdot 10^{-7}$	$-5,7750 \cdot 10^{-7}$	$-5,7750 \cdot 10^{-7}$	$-5,8410 \cdot 10^{-7}$

ԳՕՍՍ 6651-94-ում [3] սահմանված են W_{100} -ի անվանական ($W_{100}=1,3910$ և $W_{100}=1,3850$) և ամենափոքր թույլատրելի արժեքները, իսկ ամենամեծ արժեքը չի սահմանափակված: Այդ ԴՋ-ներն արտադրվում են A, B և C թույլտվածքի դասերով: R_0 -ի թույլատրելի շեղումներն այդ դասերի համար կազմում են համապատասխանաբար 0,05, 0,1 և 0,2 % (աղ.2): ԴՋ-ի դիմադրության թույլատրելի շեղման սահմանային արժեքների (ըստ ջերմաստիճանի) բանաձևերը համընկնում են ԳՕՍՍ 8.625-2006-ով նորմավորված արժեքների հետ: ԳՕՍՍ 8.625-2006-ում [4] ներածված է թույլտվածքի AA դասը: Դրանում բացակայում են W_{100} -ի շեղումների վերաբերյալ պահանջները, իսկ ΔR_0 -ի համար նորմավորվում են թույլատրելի շեղումները 0°C -ում և 100°C -ում՝ $R_0=100$ Օմ համար ($W_{100}=1,3910$):

ՌԴ <<Էտալոն>> գիտաարտադրական ձեռնարկության (ԳԱՁ) հետազոտություններից պարզվել է, որ արտադրվող ԴՋ-ների հիմնական մասը թույլտվածքի A դասով է, մոտավորապես 30 %-ը՝ B դասով և չնչին մասը՝ C դասով [5]:

Աղյուսակ 2

ԴՋ-ների չափման տիրույթը և թույլատրելի սխալանքի սահմանը

ԴՋ-ի տիպը	Թույլ-տվածքի դասը	Չափման տիրույթը, °C		Թույլատրելի սխալանքի սահմանը, °C
		ԳՕՍՏ 8.625-2006	ԳՕՍՏ 6651-94	
Π, Pt	AA	-50-ից մինչև +250	-	$\pm(0,1+0,017 t)$
	A	-100-ից մինչև +400	-220-ից մինչև +850	$\pm(0,15+0,002 t)$
	B	-196-ից մինչև +660		$\pm(0,3+0,005 t)$
	C	-196-ից մինչև +660	-100-ից մինչև +300	$\pm(0,6+0,01 t)$

Աղյուսակ 3

ԴՋ-ների պարամետրերի թույլատրելի շեղումները

ԴՋ-ի տիպը	Թույլ-տվածքի դասը	W ₁₀₀ -ի թույլատրելի շեղումները			δR ₀ , %		ΔR ₁₀₀ , Oւf (R ₀ =100 Oւf) ԳՕՍՏ 8.625
		ԳՕՍՏ 6651	ԳՕՍՏ 8.625	“Էտալոն” ԳԱՀ [5]	ԳՕՍՏ 6651	ԳՕՍՏ 8.625	
Π	AA	-	-	+0,0005, -0,0004	-	±0,04	±0,1
	A	-/-0,0005	-	±0,0011	±0,05	±0,06	±0,13
	B	-/-0,0010	-	-	±0,10	±0,12	±0,31
	C	-/-0,0015	-	-	±0,20	±0,24	±0,62
Pt	AA	-	-	+0,0005, -0,0003	-	±0,04	±0,1
	A	-/-0,0005	-	±0,0011	±0,05	±0,06	±0,13
	B	-/-0,0010	-	-	±0,10	±0,12	±0,31
	C	-/-0,0015	-	-	±0,20	±0,24	±0,62

ԴՋ-ների զույգ արտադրող ձեռնարկություններում զույգերի ընտրությունը կատարվում է անհատական աստիճանավորման ֆունկցիաների պարամետրերը որոշելով, ինչը կարող է կատարվել 4 մեթոդով [2].

Մեթոդ 1. ԴՋ-ի մոտարկման ֆունկցիայի R₀, A և B գործակիցների որոշումը կատարվում է աստիճանավորման երեք կետերում դիմադրությունների ճշգրիտ չափման միջոցով: Այս մեթոդն ամենաճշգրիտն է, սակայն շատ թանկ արժե:

Մեթոդ 2. Ստուգաչափումները կատարվում են աստիճանավորման երկու կետում՝ 0 °C և 100 °C ջերմաստիճանների մոտակայքում, օգտագործվում է B գործակցի ստանդարտացված արժեքը, և հաշվարկվում են R₀-ն և A-ն: Այս մեթոդն ամենակուպիտն է, սակայն ամենապարզն ու ամենաեժանը:

Մեթոդ 3. Տարբերվում է նախորդից նրանով, որ որոշակի խմբաքանակով ԴՋ-

ների համար օգտագործվում է B գործակցի արժեքը: Սա հատկապես նպատակահարմար է օգտագործել թաղանթային զգայուն տարրով ԴՋ-ների համար, որովհետև B գործակցիցը նախապես որոշվում է որոշակի քանակով ընտրանքի համար: Այս մեթոդի ճշգրտությունը նախորդի համեմատ բարձր է:

Մեթոդ 4. Ստուգաչափումը կատարվում է աստիճանավորման մեկ կետում ($\theta_w \approx 100^\circ C$), և հաշվարկվում են անհատական աստիճանավորման ֆունկցիայի գործակիցները՝

$$W(t) = 1 + A_w \theta + B_w \theta^2,$$

որտեղ

$$A_w = (1 + a) A_{90}, \quad B_w = (1 + a) B_{90},$$

$$a = \frac{[W(\theta_w) - W_{90}(\theta_w)]}{[W_{90}(\theta_w) - 1]},$$

$W_{90}(\theta_w)$ -ն ստանդարտացված ֆունկցիայի արժեքն է θ_w ջերմաստիճանի համար:

Վերը նշվածից հետևում է, որ զույգ ԴՋ-ների ընտրությունը բավական աշխատատար և թանկարժեք գործողություն է [2]: Ջերմաստիճանների տարբերության չափման սխալանքը զգալիորեն է կախված նաև սառը (կամ տաք) խողովակաշարի ջերմաստիճանից, այդ պատճառով ԴՋ-ների զույգի վրա նշվում է, թե որ (տաք թե սառը) խողովակաշարի մեջ պետք է այն տեղադրվի [1]:

Ջերմաստիճանների տարբերությունը ուղղակի մեթոդով կարելի է չափել կամրջակային սխեմայով, որի հարևան ճյուղերում միացվում են համապատասխան ԴՋ-ները, սակայն չափման սխալանքը մեծ է և ջերմային էներգիայի հաշվիչներում այն չի օգտագործվում [1]:

Ջերմաստիճանների տարբերությունը ուղղակի մեթոդով չափելու համար առաջարկվել է չափիչ կերպափոխիչի սխեմա [6], որի հիմքում ընկած է տվյալ զույգ ԴՋ-ների վրա լարման անկումների տարբերության չափումը (նկ.), երբ դրանցով անցնում է որոշակի կայունացված հոսանք (I_0): Չափիչ կերպափոխիչի էլքային լարումը որոշվում է հետևյալ արտահայտությամբ [6]՝

$$U_t = K_m (I_0 R_{01} W_{\theta 1} - I_0 R_{02} W_{\theta 2}),$$

որտեղ $K_m = -R_2 / R_1 = -R_2 / R_3$ -ը գումարող ուժեղարարի ուժեղացման գործակիցն է:

Սխեմայի կարգաբերումը առաջարկված եղանակով [6] իրականացնելուց հետո էլքային լարումն ստացվում է համեմատական այդ ԴՋ-ների անվանական ջերմաստիճանային գործակիցների տարբերությամբ՝

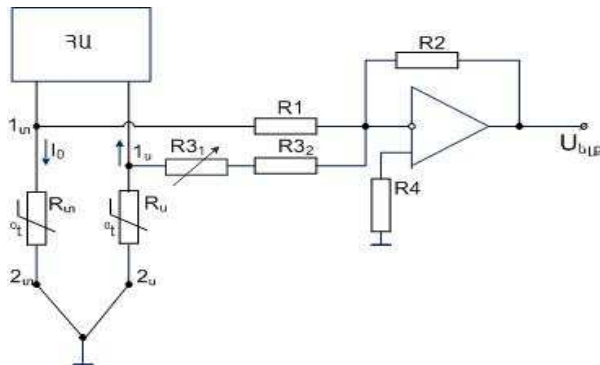
$$U_t = K \cdot \Delta W_\theta:$$

Ջերմամատակարարման համակարգերում ջերմաստիճանների տարբերության չափման սխալանքը նորմավորվում է ըստ EN1434.1-5-1997 եվրոպական ստանդարտների, որոնք ընդունված են ՌԴ-ում (ԳՕՍՏ Ռ ԵՄ 1434.1-5-2006) [7,8]: Այդ սխալանքի սահմանային արժեքները կախված են ջերմաստիճանների տարբերությունից ($\Delta\theta$) ու դրա ընդունված ամենափոքր արժեքից ($\Delta\theta_{min}$) և բերված են աղ.4-ում:

$$\Delta\theta_u = \pm(0,005\Delta\theta + 0,03\Delta\theta_{min}),$$

որտեղ $\Delta\theta_{min}$ -ն ընտրվում է (1,3,5,10) °C շարքից, ստանդարտով հանձնարարվում է ընտրել $\Delta\theta_{min}=3$ °C:

Ջերմային էներգիայի հաշվիչների համար ջերմաստիճանների տարբերության ($\Delta\theta = \theta_{տաք} - \theta_{սառը}$) չափմանը ներկայացվող պահանջները բերված են աղ.4-ում:



Նկ. Ջերմաստիճանների տարբերության չափման սխեման

Որոշենք ԴՋ-ների ջերմաստիճանային գործակիցների տարբերության (ΔW_θ) ու ջերմաստիճանների տարբերության ($\Delta\theta$) միջև կախումը և գնահատենք ΔW_θ -ի միջոցով $\Delta\theta$ -ի չափման սխալանքը: Բանաձև (1)-ից այդ կախման համար կստանանք՝

$$\Delta W_\theta = A(\theta_m - \theta_u) + B(\theta_m^2 - \theta_u^2) = A \left[1 + \frac{B}{A}(2\theta_m - \Delta\theta) \right] \Delta\theta = A[1 + \zeta] \Delta\theta, \quad (2)$$

որտեղ $\Delta\theta = (\theta_m - \theta_u)$, $\zeta = \frac{B}{A}(2\theta_m - \Delta\theta)$:

Հետևաբար, $\Delta\theta$ -ի և ΔW_θ -ի միջև կախումը կարելի է ներկայացնել հետևյալ տեսքով՝

$$\Delta\theta = \frac{1}{A(1 + \zeta)} \Delta W_\theta = \frac{1}{A} \Delta W_\theta (1 + \eta), \quad (3)$$

որտեղ $\eta = -\zeta / (1 + \zeta)$:

Ջերմաստիճանների տարբերության չափմանը ներկայացվող պահանջները

Պարամետր	ԳՕՍՏ Ռ 8.591-2002		ԳՕՍՏ Ռ ԵՄ 1431-1-5-2006	ԳՕՍՏ Ռ 51649-2000
	Հավելված A	Հավելված B		
$\theta_{\text{տ, min}}, ^\circ\text{C}$	40	40	-	-
$\theta_{\text{տ, max}}, ^\circ\text{C}$	100/200	100/200	-	90/200
$\Delta\theta_{\text{min}}, ^\circ\text{C}$	13	2	1,2,3,5,10	1,2,3,5,10
$\Delta\theta_{\text{max}}, ^\circ\text{C}$	95/195	95/195	95/195	95/195
$K_{\text{min}}=\Delta\theta_{\text{min}}/\theta_{\text{տ, min}}$	0,33	0,05	-	-
$\Delta(\Delta\theta)_{\text{min}}, ^\circ\text{C}$	0,2	0,11	-	-
$\Delta(\Delta\theta)_{\text{max}}, ^\circ\text{C}$	0,005 $\Delta\theta$ +0,1		0,005 $\Delta\theta$ +0,03 $\Delta\theta_{\text{min}}$	-

Տաք խողովակաշարով անցնող ջրի ջերմաստիճանի ($\theta_{\text{տ}}$) $40\text{ }^\circ\text{C}$ -ից մինչև $100\text{ }^\circ\text{C}$ տիրույթի և ջերմաստիճանների տարբերության $3\text{ }^\circ\text{C}$ -ից մինչև $95\text{ }^\circ\text{C}$ տիրույթի համար հաշվարկներ կատարելով՝ ընտրվել է դ գործակցի որոշակի միջին արժեք ($\eta_{\text{միջ}}$), և որոշվել են դրա շեղումներն այդ արժեքից ($\Delta\eta$), որի արդյունքում բանաձև (3)-ը բերվել է հետևյալ տեսքի՝

$$\begin{aligned}\Delta\theta &= \frac{1}{A} \Delta W_{\theta} (1 + \eta_{\text{միջ}} + \Delta\eta) = \frac{1}{A} \Delta W_{\theta} (1 + \eta_{\text{միջ}}) \left[1 + \Delta\eta / (1 + \eta_{\text{միջ}}) \right] = \\ &= C \Delta W_{\theta} \left[1 + \Delta\eta / (1 + \eta_{\text{միջ}}) \right] \approx C \cdot \Delta W_{\theta},\end{aligned}\quad (4)$$

որտեղ $C = \frac{1}{A} (1 + \eta_{\text{միջ}})$:

Ջերմաստիճանների տարբերության և ԴՋ-ների ջերմաստիճանային գործակիցների տարբերության միջև կախման սխալանքը ջերմաստիճանի միավորներով կարելի է ներկայացնել հետևյալ տեսքով՝

$$\Delta(\Delta\theta) \approx \Delta\eta \cdot \Delta\theta: \quad (5)$$

Աղ.5-ում բերված են ($\Delta(\Delta\theta)$)-ի արժեքները $\eta_{\text{միջ}}$ -ի տարբեր արժեքների դեպքում, որտեղից հետևում է, որ նպատակահարմար է ընտրել $\eta_{\text{միջ}}=0,0175$:

Աղ.6-ում բերված են C գործակցի արժեքները W_{100} -ի տարբեր արժեքների դեպքում: Աղյուսակից հետևում է, որ գործնականում կարելի է ընտրել $C=256,349$ ($W_{100}=1,3910$ դեպքում, ԳՕՍՏ 6651-94), $C=256,362$ ($W_{100}=1,3910$ դեպքում, ԳՕՍՏ Ռ 8.625-2006) և $C=260,343$ ($W_{100}=1,3850$ դեպքում):

Ջերմաստիճանների տարբերության չափման սխալանքի ($\Delta(\Delta\theta)$) արժեքները $\eta_{\text{միջ}}$ -ի տարբեր արժեքների դեպքում և թույլատրելի սխալանքի սահմանային արժեքները տարբեր $\Delta\theta_{\text{min}}$ -ի դեպքում

$\theta_{\text{տ}},$ $^{\circ}\text{C}$	$\Delta\theta,$ $^{\circ}\text{C}$	$\Delta(\Delta\theta)$ -ի արժեքները $\eta_{\text{միջ}}$ -ի հետևյալ արժեքների դեպքում, $^{\circ}\text{C}$			$\Delta\theta$ -ի արժեքները $\Delta\theta_{\text{min}}$ -ի հետևյալ արժեքների դեպքում, $^{\circ}\text{C}$		
		0,0180	0,0175	0,0173	3 $^{\circ}\text{C}$	5 $^{\circ}\text{C}$	10 $^{\circ}\text{C}$
1	2	3	4	5	6	7	8
40	3	-0,019	-0,018	-0,017	0,105	0,165	0,315
40	5	-0,033	-0,031	-0,030	0,115	0,175	0,325
40	10	-0,074	-0,069	-0,067	0,140	0,200	0,350
40	20	-0,179	-0,169	-0,165	0,190	0,250	0,400
50	3	-0,010	-0,008	-0,008	0,105	0,165	0,315
50	5	-0,018	-0,016	-0,015	0,115	0,175	0,325
50	20	-0,118	-0,108	-0,104	0,190	0,250	0,400
50	30	-0,223	-0,208	-0,202	0,240	0,300	0,450
60	3	-0,001	0,001	0,001	0,105	0,165	0,315
60	5	-0,003	0,000	0,001	0,115	0,175	0,325
60	10	-0,013	-0,008	-0,006	0,140	0,200	0,350
60	20	-0,057	-0,047	-0,043	0,190	0,250	0,400
60	30	-0,132	-0,117	-0,111	0,240	0,300	0,450
60	40	-0,237	-0,217	-0,209	0,290	0,350	0,500
70	3	0,009	0,010	0,011	0,105	0,165	0,315
70	5	0,013	0,015	0,016	0,115	0,175	0,325
70	10	0,018	0,023	0,025	0,140	0,200	0,350
70	20	0,004	0,014	0,018	0,190	0,250	0,400
70	30	-0,040	-0,025	-0,019	0,240	0,300	0,450
70	40	-0,114	-0,094	-0,086	0,290	0,350	0,500
70	50	-0,220	-0,195	-0,185	0,340	0,400	0,550
90	3	0,027	0,029	0,029	0,105	0,165	0,315
90	5	0,044	0,046	0,047	0,115	0,175	0,325
90	10	0,080	0,085	0,087	0,140	0,200	0,350
90	20	0,129	0,139	0,143	0,190	0,250	0,400
90	30	0,147	0,162	0,168	0,240	0,300	0,450
90	40	0,133	0,153	0,161	0,290	0,350	0,500
90	50	0,089	0,114	0,124	0,340	0,400	0,550
90	60	0,013	0,043	0,055	0,390	0,450	0,600
100	3	0,037	0,038	0,039	0,105	0,165	0,315
100	5	0,060	0,062	0,063	0,115	0,175	0,325

Աղ. 5-ի շարունակությունը

1	2	3	4	5	6	7	8
100	10	0,112	0,117	0,119	0,140	0,200	0,350
100	20	0,192	0,202	0,206	0,190	0,250	0,400
100	30	0,240	0,255	0,261	0,240	0,300	0,450
100	40	0,258	0,278	0,286	0,290	0,350	0,500
100	50	0,244	0,269	0,279	0,340	0,400	0,550
100	60	0,200	0,230	0,242	0,390	0,450	0,600
100	70	0,124	0,159	0,173	0,440	0,500	0,650
100	80	0,018	0,058	0,074	0,490	0,550	0,700

Աղյուսակ 6

C գործակցի արժեքները W_{100} -ի տարբեր արժեքների դեպքում

ԴՋ-ի ստատիկ բնութագրի գործակիցները	ԳՕՍՏ 6651-94		ԳՕՍՏ 8.625-2006	
	$W_{100}=1,3910$	$W_{100}=1,3850$	$W_{100}=1,3910$	$W_{100}=1,3850$
A	$3,9692 \cdot 10^{-3}$	$3,9083 \cdot 10^{-3}$	$3,9690 \cdot 10^{-3}$	$3,9083 \cdot 10^{-3}$
C=1,0175/A	256,349	260,343	256,362	260,343

Աղ.5-ից հետևում է, որ տաք խողովակաշարով անցնող ջրի ջերմաստիճանի 40°C -ից մինչև 100°C տիրույթում չափման սխալանքը $\Delta\theta_{\min} \geq 3^{\circ}\text{C}$ դեպքում փոքր է սահմանային արժեքներից 1,5 և ավելի անգամ (եթե $\theta_u = \theta_n - \Delta\theta \geq 20^{\circ}\text{C}$):

Աշխատանքը կատարվել է 11A-2b 015 դրամաշնորհային գիտական թեմայի շրջանակներում:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. Մամիկոնյան Բ.Մ., Շաղգամյան Ն.Ա. Ջերմաստիճանների տարբերության չափման առանձնահատկությունները // ՀՊՃՀ Լրաբեր.- Երևան, 2011.- Հ.3, N1. - էջ 186-191:
2. Моисеева Н.П. Индивидуальная градуировка термометров сопротивления для измерения разности температур // Измерительная техника.- 2010.- N 9.-С. 50-53.
3. ГОСТ 6651-94. Термопреобразователи сопротивления. Общие технические требования и методы испытаний.- М.: Изд-во стандартов, 1998.- 27 с.
4. ГОСТ Р 8.625-2006. Термометры сопротивления из платины, меди и никеля. Общие технические требования и методы испытаний.- М.: Стандартиформ, 2007.- 23 с.
5. Никоненко В.А., Ермаков А.В., Студенок Е.С. Проблемы при производстве эталонных термопреобразователей и термометров сопротивления и пути их решения // Датчики и системы.- 2010.- N9.- С. 19-22.
6. Շաղգամյան Ն.Ա. Ջերմաստիճանների տարբերության չափիչ կերպափոխիչ // ՀՀ ԳԱԱ և ՀՊՃՀ տեղեկագիր. Տեխն. գիտ. սերիա.- 2010.- Հ. LXIII, N3.- էջ 273-279:

7. ГОСТ Р ЕН 1434-1-2006. Теплосчетчики. Ч1. Общие требования.- М.: Стандартинформ, 2006.- 23 с.
8. ГОСТ Р ЕН 1434-5—2006. Теплосчетчики. Ч5. Первичная поверка.- М.: Стандартинформ, 2006.- 12 с.

ՀԱՃՀ (ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿ): Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 01.11.2011:

А.С. ШАХКАМЯН, Н.А. ШАХКАМЯН

ИЗМЕРЕНИЕ РАЗНОСТИ ТЕМПЕРАТУР ПРЯМЫМ МЕТОДОМ И РАСЧЕТ ПОГРЕШНОСТЕЙ

Предложен метод прямого измерения разности температур в системах с термопреобразователями сопротивления. Получены формулы для расчета погрешностей, оценены их значения.

Ключевые слова: разность температур, термопреобразователь сопротивления, расчет погрешностей.

A.S. SHAGHGAMYAN, N.A. SHAGHGAMYAN

TEMPERATURE DIFFERENCE DIRECT MEASUREMENT AND ERROR CALCULATION

A method is suggested for direct measurement of temperature difference in the systems with resistance thermal converters. Error calculation formulas are obtained.

Keywords: temperature difference, resistance thermal converters, error calculation

Л.М. ТРАВАДЖЯН

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК УСИЛИТЕЛЯ СЧИТЫВАНИЯ ДЛЯ
ФЕРРОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПАМЯТИ**

Проведено исследование и моделирование частотных и временных характеристик схемы усилителя считывания ферроэлектрической ячейки памяти для архитектуры 1T1C программным пакетом HSPICE. Показано, что коэффициент усиления и фазовый сдвиг усилителя остаются практически неизменными в диапазоне рабочих частот современных FeRAM. При этом чувствительность усилителя по напряжению достигает до 50 мВ.

Ключевые слова: ячейка, память, моделирование, битовая линия, усилитель.

Введение. В настоящее время ферроэлектрическая (ФЭ) память (FeRAM) является одной из перспективных типов энергонезависимой памяти благодаря высоким скоростям записи/считывания, низкой потребляемой мощности и хорошей совместимости с кремниевой технологией. При масштабировании FeRAM, как и во всех традиционных схемах памяти, схема считывания сигнала становится одним из основных факторов, ограничивающих уменьшение размеров запоминающей ячейки (ЗЯ) [1,2]. Токи считывания в ЗЯ, в особенности при низких рабочих напряжениях, резко уменьшаются, что, в основном, связано с изменением характеристик ЗЯ, а также с токами утечки битовой линии, которые еще более усиливают ограничения схемы считывания. Для повышения плотности интеграции необходимо максимизировать количество ЗЯ на битовую линию накопителя, что приводит к высоким значениям емкости битовой линии, т.е. критический параметр размаха входного напряжения усилителя (отношение тока считывания к емкости C_{BL} битовой линии) уменьшается. Проблему размаха входного напряжения считывания в ФЭ памяти можно преодолеть улучшением как свойств ФЭ конденсатора, так и характеристик схемы усилителя. Размах напряжения типовых усилителей обычно ограничивается до 100 мВ, что является серьезным ограничением повышения плотности интеграции. Следовательно, разработка и исследование высокочувствительных усилителей считывания с малым входным размахом является актуальной задачей. С этой целью в работе исследована схема усилителя для архитектуры 1T1C и моделированы ее частотные и временные характеристики.

Экспериментальная часть. В архитектуре 1T1C при операции считывания для точной идентификации напряжений на битовой линии накопителя входной сигнал усилителя сравнивается с постоянным опорным напряжением V_{ref} , определяемым как среднее напряжений V_1 и V_0 , соответствующих логическим уров-

ням “0” и “1” (рис.1). Чувствительность схемы определяется как минимальная разность сигналов считывания и опорного сигнала $(V_1 - V_0)/2$. Учитывая, что напряжения V_1 и V_0 зависят от технологии (в частности, отношения C_{BL}/C_{FE}) и времени, необходимо точно определить значения напряжений V_0 , V_1 и опорного напряжения. В [1,3] установлено, что усилители, управляемые током, имеют важные преимущества из-за уменьшения размаха напряжения битовой линии и временных задержек.

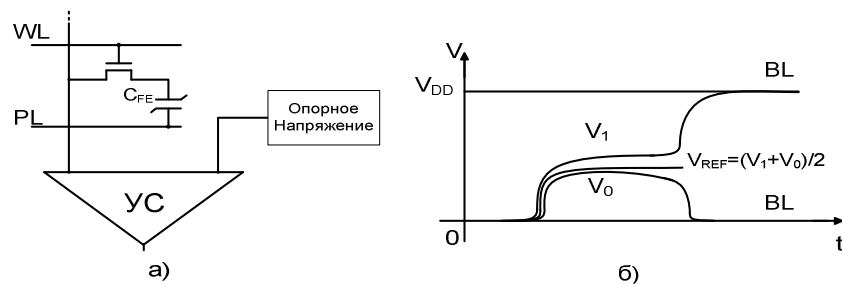


Рис. 1. Структура ФЭ ячейки памяти 1Т1С (а) и схема напряжений считывания (б) [3]

Анализ технической литературы показывает, что для 3Я 1Т1С из известных схем усилителей считывания [3] наилучшими характеристиками обладает схема, приведенная на рис. 2. Схема включает узлы формирования опорного напряжения и усилителя считывания сигналов. Во время операции считывания напряжение V_1 появляется на RBL, а напряжение V_0 - на $\overline{RBL}$. Пороговое напряжение V_{ref} формируется при коротком замыкании (рис.2) RBL и $\overline{RBL}$. При операции считывания усилитель идентифицирует логическое значение данных, сравнивая напряжение битовой линии V_{BL} со значением опорного напряжения V_{ref} . Разность напряжений усиливается до напряжения питания V_{DD} , если $V_{BL} > V_{ref}$ (для состояния “1”), или до 0 В, если $V_{BL} < V_{ref}$ (для состояния “0”). Далее разность напряжений (V_{DD} или 0 В) подается на битовый столбец памяти для считывания данных и на схему восстановления исходных данных. Управляемый ток усилитель считывания имеет перекрёстно связанную пару инверторов. Управляющие сигналы **sapn** и **san** соединяют узлы инверторов соответственно с напряжением питания V_{DD} и “нулевым” узлом. Сигналы BL, RBL и $\overline{RBL}$ подаются прямо на усилитель считывания и, таким образом, при считывании остаются неизменными. Работа схемы описывается следующим образом:

- 1) до начала операции считывания узлы **sen** и **senn** имеют уровни напряжения 0 В;
- 2) во время операции считывания на RBL и $\overline{RBL}$ появляются напряжения V_1 и V_0 соответственно. Далее формируется опорное напряжение V_{ref} , одновременно на битовой линии появляется напряжение V_x . В случае, когда уста-

навливается сигнал **sdn**, напряжения V_x и V_{ref} подаются на усилитель, генерируя токи I_x и I_{ref} ;

3) ток считывания I_x питает узел **sen**, а I_{ref} - узел **senn**. Из-за разницы токов между узлами **sen** и **senn** появляется разность напряжений ΔV ;

4) сигнал управления **sapn** активизирует инверторы, вследствие чего на одном из узлов устанавливается напряжение V_{DD} , а на другом - нулевое напряжение.

Усилитель считывания спроектирован нами по 130 нм технологии. Моделирование частотных и временных характеристик усилителя осуществляется программным пакетом HSPICE. На рис. 3 показаны частотные зависимости коэффициента усиления и фазового сдвига схемы, а на рис. 4-5 - те же зависимости при изменении температуры (10...85⁰C) и напряжения питания (1...3 В). Из моделированных зависимостей видно, что коэффициент усиления и фазовый сдвиг усилителя остаются практически неизменными в диапазоне рабочих частот (до 10...15 МГц) современных FeRAM.

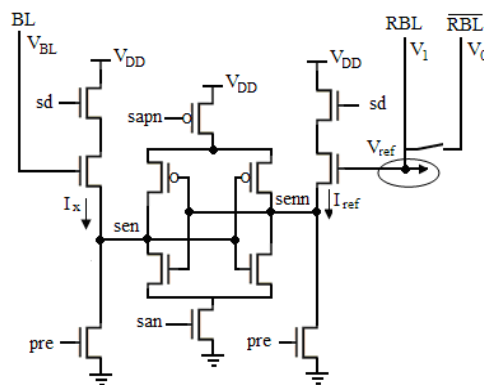


Рис. 2. Схема усилителя считывания элемента 1Т1С

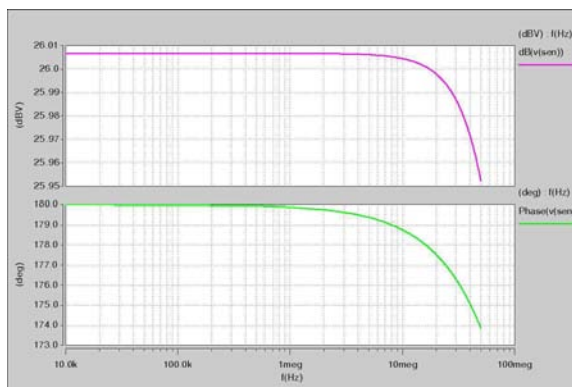


Рис. 3. Частотные характеристики коэффициента усиления и фазового сдвига

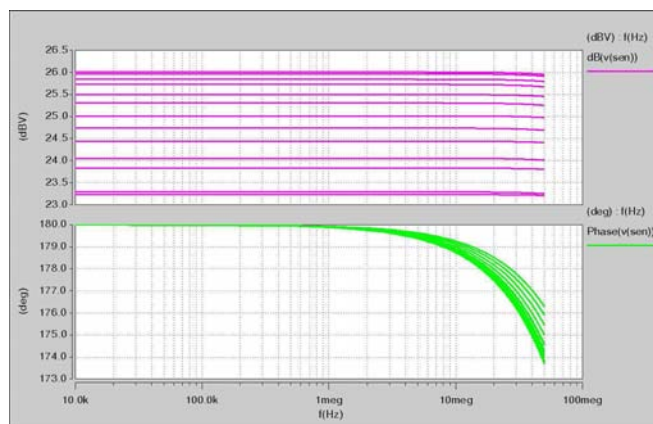


Рис. 4. Частотные характеристики коэффициента усиления и фазового сдвига при различных температурах (10...85⁰С, шаг изменения- 5⁰С)

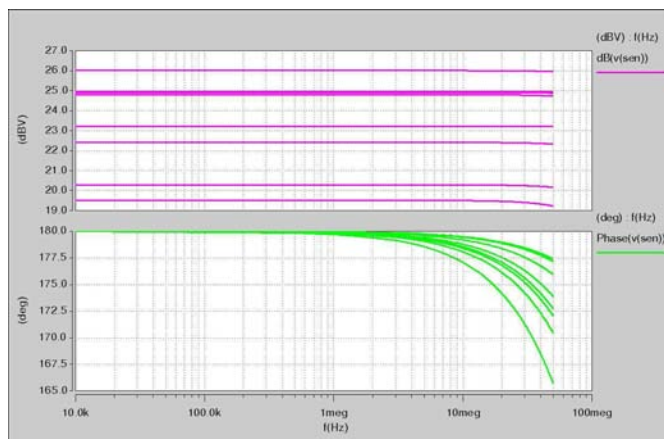


Рис. 5. Частотные характеристики коэффициента усиления и фазового сдвига при различных напряжениях питания (1...3 В, шаг изменения - 0,5 В)

На рис. 6 приведены временные характеристики усилителя считывания. Входными сигналами усилителя являются напряжения V_0 и V_1 битовой линии. опорное напряжение составляет 0,5 В, $V_1=0,55$ В, $V_0=0,45$ В, запас чувствительности по напряжению - $\Delta V = (V_1 - V_0)/2 = 50$ мВ. Из нижнего графика на рис.6 видно, что сигналы V_0 и V_1 в конце цикла считывания восстанавливаются до уровней 0,9 и 0,1 В соответственно (на рисунке показаны инверсные значения этих напряжений). На рис.7 представлены временные характеристики усилителя при различных уровнях напряжения входного сигнала.



Рис.6. Временные характеристики усилителя во время цикла считывания

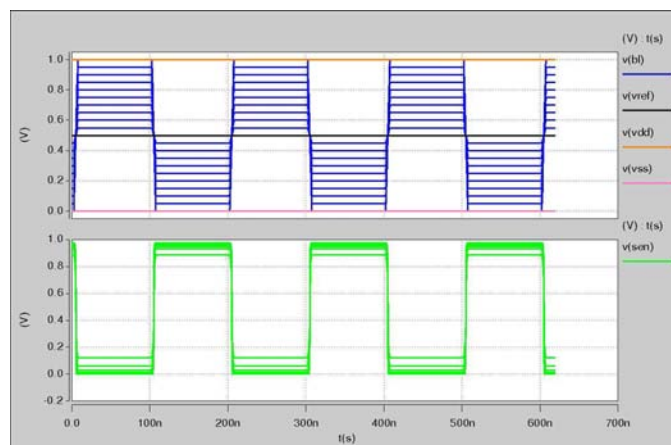


Рис. 7. Временные характеристики усилителя во время цикла считывания при различных уровнях напряжения на битовой линии

Таким образом, на основании вышеизложенного приходим к следующим выводам:

1. Частотные и временные характеристики усилителя удовлетворяют требованиям, предъявляемым к современным ячейкам ФЭ памяти.
2. Исследованная схема усилителя сохраняет работоспособность в широком диапазоне изменения температуры и напряжения питания.
3. Чувствительность схемы усилителя для идентификации логических уровней на битовой линии достигает 50 мВ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Sheikholeslami A., Gulak P. G.** A survey of circuit innovations in ferroelectric random access memories // Proc IEEE.- 2000.- 88.- P. 667.
2. **Siu J. W. K., Eslami Y., Sheikholeslami A.** A current-based reference-generation scheme for 1T- 1C ferroelectric random access memories // IEEE J Solid-State Circuits.- 2003.- 38.- P. 541.
3. **Jia Ze, Zou Zhongren, Ren Tianling, and Chen Hongy.** An asymmetrical sensing scheme for 1T1C FRAM to increase the sense margin // Journal of Semiconductors.- 2010.- V. 31, No11.

ГИУА (ПОЛИТЕХНИК). Материал поступил в редакцию 05.12.2011.

Լ.Մ. ՏՐԱՎԱՅԱՆ

ՖԵՐՈԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ ՀԻՇՈՂՈՒԹՅԱՆ ՀԱՄԱՐ ԸՆԹԵՐՑՄԱՆ ՈՒԺԵՂԱՐԱՐԻ ԲՆՈՒԹԱԳՐԵՐԻ ՄՈՂԵԼԱՎՈՐՈՒՄ

Ուսումնասիրվել և 1T1C ճարտարապետության համար մոդելավորվել են ֆերոէլեկտրական հիշողության բջի ընթերցման ուժեղարարի սխեմայի հաճախային և ժամանակային բնութագրերը՝ HSPICE ծրագրային փաթեթի միջոցով: Ցույց է տրված, որ ուժեղարարի ուժեղացման գործակիցը և փուլային շեղումը գործնականում մնում են անփոփոխ ժամանակակից FeRAM-ների աշխատանքային հաճախությունների միջակայքում, իսկ ըստ լարման ուժեղարարի՝ զգայնությունը հասնում է մինչև 50 *մՎ*:

Առանցքային բառեր. բջի, հիշողություն, մոդելավորում, բիթային գիծ, ուժեղարար:

L.M. TRAVAJYAN

MODELING OF SENSE AMPLIFIER CHARACTERISTICS FOR FERROELECTRIC MEMORY

The frequency and time characteristics of sense amplifier scheme of ferroelectric memory cell for 1T1C architecture are investigated and modelled for the first time using the software HSPICE. It is shown that gain factor and phase shift of amplifier actually remain constant in the operating frequency range of FeRAM and the voltage sensitivity being 50 *mV*.

Keywords: cell, memory, modeling, bit - line, amplifier.

Վ.Կ. ԲԵԳՈՅԱՆ

$BaTiO_3$ եւ $SrTiO_3$ ԿԵՐԱՄԻԿԱԿԱՆ ՆՍՈՒՇՆԵՐԻ ԿՈՐՍՏԱՅԻՆ ՀՈՍԱՆՔՆԵՐԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ ԹՈՒՅԼ ԼԱՐՎԱԾՈՒԹՅԱՄԲ ԴԱՇՏԵՐՈՒՄ

Հետազոտվել են ինքնատարածվող բարձրջերմաստիճանային սինթեզի (ԻԲՄ) մեթոդով ստացված $BaTiO_3$ և $SrTiO_3$ կերամիկական նմուշների կորստային հոսանքները: Կատարված տեսական հաշվարկների և մոդելավորման արդյունքների համադրումը փորձնական արդյունքների հետ ցույց է տալիս բավականաչափ լավ համընկնում:

Առանցքային բառեր. բարիումի տիտանատ, ստրոնցիումի տիտանատ, ԻԲՄ, Պուլ-Ֆրենկելի էմիսիա, թթվածնային վականսիա, կորստային հոսանքներ:

Ներածություն: Միկրոէլեկտրոնիկայի, ռադիոէլեկտրոնիկայի և էլեկտրոնային տեխնիկայի բնագավառներում այսօր կարևոր խնդիր է բարելավված միկրոկառուցվածքով ու հատկություններով օժտված անօրգանական նոր նյութերի ստացումը և դրանց սինթեզման նոր, արդյունավետ տեխնոլոգիաների մշակումը: Ներկայումս հաջողվել է ստանալ բարձր ցուցանիշներով բարդ սեգնետոէլեկտրական, սեգնետոկիսահաղորդչային նյութեր, որոնք կերամիկայի և բարակ թաղանթների տեսքով օգտագործվում են ժամանակակից ԳԲՀ էլեկտրոնիկայում, միջավայրի բնութագրերի չափման, հսկման համակարգերում, հիշասարքերում, էկոլոգիական, քիմիական և կենսաբանական տվիչներում: Ֆերոէլեկտրական ԳԲՀ կոնդենսատորների բնութագրերի, դրանց կորստային հոսանքների, կորստի անկյան տանգենսի, դիէլեկտրական թափանցելիության ոչ գծայնության, էլեկտրոնային սպեկտրերի, կոնտակտներից լիցքակիրների ինժեկտման մեխանիզմների, թաղանթային կառուցվածքներով սարքերի հոգնածության և ծերացման մեխանիզմների ուղղությամբ վերջին տարիներին կատարվել և կատարվում են ինտենսիվ հետազոտություններ [1 - 3]:

Ֆերոէլեկտրական նյութերից են բարիումի տիտանատը ($BaTiO_3$) և ստրոնցիումի տիտանատը ($SrTiO_3$), որոնց լայն օգտագործումը պայմանավորված է դրանց բարձր դիէլեկտրական թափանցելիությամբ, դիէլեկտրական թափանցելիության ջերմաստիճանով, կիրառված էլեկտրական դաշտի լարվածությունից և հաճախականությունից ունեցած ոչ գծային կախվածությամբ, փոքր կորուստների անկյան տանգենսով և ծակման բարձր լարմամբ:

Ներկայումս $BaTiO_3$ և $SrTiO_3$ արտադրության հիմնական մեթոդներն են դասական տեխնոլոգիայով վառարանային պինդփուլային սինթեզը [4], հեղուկ փուլից

սինթեզը [4], իսկ վերջին ժամանակներս՝ անօրգանական նյութերի ստացման տեխնոլոգիայում լայն կիրառություն գտած ԻԲՄ-ն [5]: Վերջինս ունի մի շարք առավելություններ՝ գործընթացի պարզություն, բարձր արտադրողականություն, սինթեզվող նյութի բարձր մաքրություն և այլն [6]:

Տեսական մաս: Դիտարկենք ֆերոէլեկտրական M-f-M «կոնդենստորային» կառուցվածքը, որում ընդունենք, որ առկա են մեծ քանակությամբ գրավման (թակարդային) կենտրոններ՝ պայմանավորված թթվածնի վականսիաներով, և որ ֆերոէլեկտրիկի դիէլեկտրական թափանցելիությունը կախված կիրառված դաշտերից, փոփոխվում է $\varepsilon(E) = \varepsilon_0 \varepsilon(0)(1 + AE^2)^{-1}$ օրենքով [1-3], որտեղ ε_0 -ն $(8,85 \cdot 10^{-14} \text{ Ֆ/սմ})$ վակուումի դիէլեկտրական հաստատունն է, $\varepsilon(0)$ -ն՝ ֆերոէլեկտրիկ նյութի դիէլեկտրական թափանցելիությունը զրոյական դաշտի դեպքում (օրինակ՝ SrTiO_3 -ի համար $\varepsilon(0) \cong 300$), $A \cong 0,45 \cdot 10^{-11} \text{ սմ}^2 / \text{Վ}^2$), E_0 -ն՝ արտաքին կիրառված դաշտի լարվածությունը [2]: Ընդունենք թակարդների խտությունը N_t , բաշխումը՝ մոնոէներգիական, ֆերոէլեկտրական թաղանթում ազատ էլեկտրոնների խտությունը (ներառյալ ինժեկտված և Պուլ-Ֆրենկելի մեխանիզմով առաջացած)՝ n_0 , և որ թակարդները կարող են էլեկտրոններ փոխանակել միայն հաղորդական գոտու հետ: Ինչպես նաև ընդունենք, որ թակարդից հաղորդական գոտի առաքման հիմնական մեխանիզմը Պուլ-Ֆրենկելյան իոնացման մեխանիզմն է: Թակարդներում էլեկտրոնների փոփոխման կինետիկ հավասարումն ընդհանուր դեպքում ընդունում է հետևյալ տեսքը.

$$\frac{\partial n_t}{\partial t} = S_n (N_t - n_t) n - (P_e + P_F) n_t,$$

որտեղ $S_n = \langle V_{th} \rangle \sigma$, V_{th} -ը էլեկտրոնների ջերմային (քառսային) արագությունն է, σ -ն՝ թակարդի գրավման լայնական կտրվածքի մակերեսը, n_t -ն՝ թակարդներում գրավված էլեկտրոնների խտությունը, P_e -ն և P_{PF} -ը՝ համապատասխանաբար թակարդից ջերմային և Պուլ-Ֆրենկելի մեխանիզմով իոնացման հավանականությունները:

Թերմոդինամիկական հավասարակշռության ռեժիմում $\left(\frac{\partial n_t}{\partial t}\right) = 0$,

$$n_{t0} = \frac{N_t n_0}{n_0 + \gamma(E_t)}, \text{ ուստի՝}$$

$$\gamma = \frac{N_c}{g} \exp(E_t - F_0 / KT),$$

որտեղ n_{t0} -ն թակարդներում գրավված էլեկտրոնների հավասարակշռային խտությունն է, N_c -ն՝ հաղորդական գոտում վիճակների արդյունարար խտությունը, E_t -ն՝ հաղորդական գոտու հատակից հաշվված թակարդի էներգիական մակարդակը, g -ն՝ թակարդի այլասերման գործոնը ($g=2$):

Թաղանթում լրիվ հոսանքի խտության համար ունենք՝

$$j = q\mu n_0 E_0 + qD \left(\frac{dn_0}{dx} + \frac{dn_{t0}}{dx} \right) + q\mu n_{t0} E_0 e^{\frac{-E_t - (\beta^*)^{1/2} E_0}{kT}}, \quad (1)$$

որտեղ D -ն էլեկտրոնների դիֆուզիայի գործակիցն է, իսկ q -ն և μ -ն՝ համապատասխանաբար էլեկտրոնի լիցքը և շարժունակությունը:

(1) հավասարման երրորդ բաղադրիչը թակարդից առաքված էլեկտրոններով (Պուլ-Ֆրենկելի մեխանիզմով) պայմանավորված հոսանքն է: Եթե անտեսենք դիֆուզիոն բաղադրիչը, ապա՝

$$j = q\mu n_0 E_0 + q\mu n_{t0} E_0 e^{\frac{-E_t - \beta^* E_0^{1/2}}{kT}}, \quad (2)$$

որտեղ $\beta^* \equiv q \left(\frac{q\beta}{\pi \varepsilon_\Gamma} \right)^{1/2}$, $\beta = 1 + A E_0^2$, $\varepsilon_\Gamma = \varepsilon_0 \varepsilon(0)$:

β^* -ն թակարդի պոտենցիալ փոսի նվազման չափն է Պուլ-Ֆրենկելի մեխանիզմի ռեժիմում [7]:

$$\text{Քննարկենք դեպքը, երբ } n_0 \ll \gamma(E_t), \quad n_{t01} \equiv \frac{n_0 N_t}{\gamma(E_t)} = b n_0, \quad b = \frac{N_t}{\gamma(E_t)}:$$

Այս ռեժիմում (2) հավասարման գծայնացման համար էքսպոնենտը վերածենք շարքի և սահմանափակենք առաջին երկու անդամով՝ $\beta^* \ll 1$, արդյունքում կստանանք՝

$$j = q\mu n_0 E_0 + q\mu n_0 b E_0 a_1 \left(1 + \frac{\beta^* E_0^{1/2}}{kT} \right), \quad a_1 = \exp \left(- \frac{E_t - F}{kT} \right), \quad (3)$$

$$j = q\mu n_0 E_0 + q\mu n_0 b E_0 a_1 \left(1 + \frac{E_0^{1/2} q^{3/2} (1 + A E_0^2)^{1/2}}{kT (\pi \varepsilon_\Gamma)^{1/2}} \right) \cong q\mu n_0 E_0 (1 + b a_1): \quad (4)$$

Դիֆերենցենք (4) արտահայտությունը և $\frac{dj}{dx} = 0$ պայմանից կստանանք՝

$$\frac{dj}{dx} = q\mu n_0 \frac{dE_0}{dx} (1 + ba_1) + q\mu E_0 (1 + ba_1) \frac{dn_0}{dx}, \quad n_0 \frac{dE_0}{dx} = -E_0 \frac{dn_0}{dx} : \quad (5)$$

$$\text{Պուասոնի հավասարման համար ունենք՝ } \frac{dE_0}{dx} = \frac{qn_0(1+b)\beta^2}{\varepsilon_r(1-AE_0^2)} :$$

$$\text{Դիտարկենք թույլ դաշտերի ռեժիմը, երբ՝ } n_0 \ll \gamma(E_t), \quad AE_0^2 \ll 1, \quad \beta \cong 1 :$$

$$\frac{dE_0}{dx} = \frac{qn_0(1+b)}{\varepsilon_r}, \quad j \cong q\mu n_0 E_0 (1 + ba_1) :$$

E_0 -ն գտնելու համար j -ի արտահայտությունից որոշելով n_0 -ն և տեղադրելով Պուասոնի հավասարման մեջ՝ ինտեգրենք $x=0$, $E_0=0$ սկզբնական պայմանների դեպքում՝

$$E_0 = \left[\frac{2j(1+b)x}{\varepsilon_r b_2} \right]^{1/2} : \quad (6)$$

Վերջին արտահայտության մեջ, տեղադրելով գործակիցների արժեքները, կառուցվածքի վոլտ-ամպեր կախվածության համար կստանանք՝

$$V = \int_0^l E_0 dx = \frac{2}{3} \left(\frac{2j(1+b)}{\varepsilon_r b_2} \right)^{1/2} \left(l^{3/2} \right), \quad (7)$$

$$V^2 = \frac{4}{9} \frac{2j(1+b)}{\varepsilon_r b_2} \cdot l^3, \quad j = \frac{9V^2 \varepsilon_r b_2}{8(1+b)l^3} : \quad (8)$$

(9)-ը ներկայացնում է Մոտտ-Հենրիի հայտնի հավասարումը (քառակուսային օրենքը) [7,8] թակարդների առկայության դեպքում: Թակարդների բացակայության դեպքում, երբ $b = 0$, $b_2 = \mu$, ապա

$$j = \frac{9V^2 \varepsilon_r \mu}{8l^3} : \quad (9)$$

Փորձնական մաս: Կերամիկական նմուշների պատրաստման համար $BaTiO_3$ և $SrTiO_3$ փոշենյութը սինթեզվել է նախապես մշակված ԻԲՍ տեխնոլոգիայով [5]: Սինթեզված $BaTiO_3$ և $SrTiO_3$ փոշենյութը պլանետար աղացով ենթարկվել է չոր մանրացման մինչև հատիկների $d < 4 \text{ մկմ}$ չափի ապահովումը: Փորձանմուշներ ստանալու համար մանրացված փոշենյութին ավելացվել է պլաստիֆիկատոր (15% պոլիվինիլային սպիրտի 10%-ոց լուծույթ), որից հետո 4000 $կգ/սմ^2$ ճնշման տակ մամլվել

են գլանաձև 12X2 (DXh) ձևաչափով նմուշներ: Այնուհետև նմուշները թրծվել են բարձրջերմաստիճանային վառարանում մինչև 1500°C : Էլեկտրաֆիզիկական հատկությունների ուսումնասիրման նպատակով թրծումից հետո նմուշները ենթարկվել են հղկման, որից հետո դրանց վրա նստեցվել են արծաթի օհմական կոնտակտներ: Արծաթապատման համար արծաթի կարբոնատի (35...40%) և պլաստիֆիկատորի (65...60%) խառնուրդը նստեցվել է նմուշների մակերեսին, որոնք նախապես մաքրվել և յուղազերծվել են: Թրծման առաջին փուլում ($200...400^{\circ}\text{C}$) այրվում է պլաստիֆիկատորը, իսկ 2-րդ փուլում ($450...850^{\circ}\text{C}$) արծաթի կարբոնատը վերականգնվում է՝ վերածվելով մետաղական արծաթի: Արծաթե էլեկտրոդների հաստությունը թրծումից հետո կազմել է 30...40 մկմ (նկ.1 և 2):



Նկ. 1. BaTiO_3 կերամիկական նմուշ



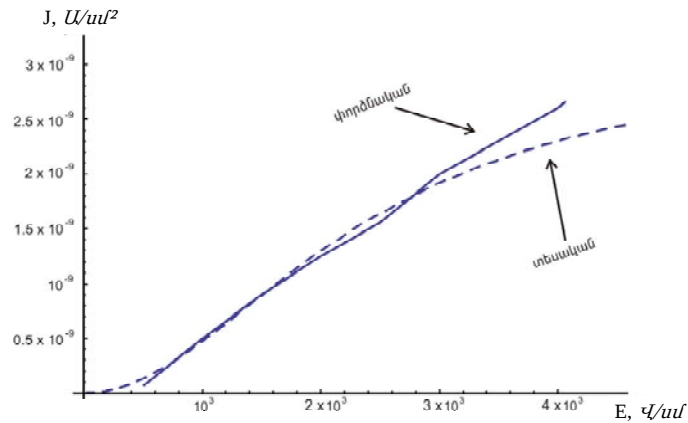
Նկ. 2. SrTiO_3 կերամիկական նմուշ

Հետազոտվել է կերամիկական նմուշների կորստային հոսանքների կախվածությունը կիրառված դաշտի լարվածությունից սենյակային ջերմաստիճանում [9,10]: Չափումները կատարվել են P5079 փոփոխական հոսանքի կամրջակի միջոցով: Տեսական հաշվարկները համեմատվել են փորձնական արդյունքների հետ (նկ.3 և 4):

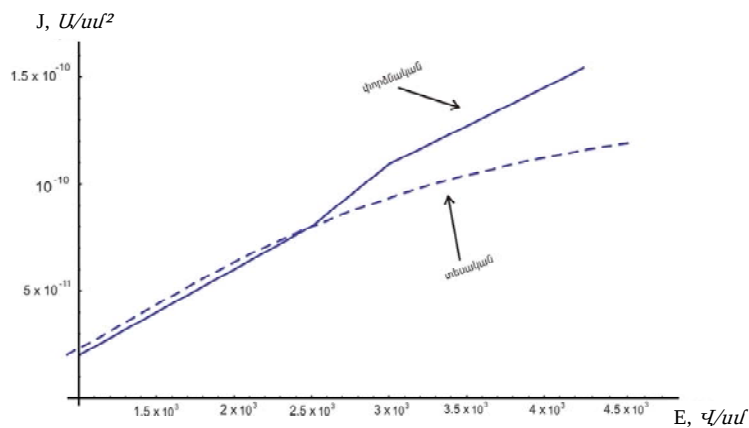
BaTiO_3 -ի փորձնական կորի և տեսական մոդելով ստացված կորի համեմատությունից հստակ երևում է, որ դրանք բավականաչափ համընկնում են մինչև 3000 Վ/սմ դաշտի լարվածության սահմանում: Դաշտի լարվածության 3000...4500 Վ/սմ տիրույթում կորերի միջև նկատելի է որոշակի տարբերություն (նկ.3):

SrTiO_3 -ի դեպքում փորձնական ու տեսական կորերի համընկնում երևում է մինչև 2500 Վ/սմ դաշտի լարվածության արժեքը: Դաշտի լարվածության 2500...4500 Վ/սմ տիրույթում կրկին առկա է որոշակի տարբերություն (նկ.4):

Տեսական և փորձնական կորերի ոչ լրիվ համընկումը կարող է պայմանավորված լինել ֆերոէլեկտրիկի դիէլեկտրական թափանցելիության⁸ էլեկտրական դաշտից ունեցած ոչ գծային կախվածությամբ $\varepsilon(E)$, ինչպես նաև թթվածնի վականսիաների ակտիվությամբ [8], որը պահանջում է լրացուցիչ հետազոտություններ:



Նկ. 3. BaTiO_3 կերամիկական նմուշի կորստային հոսանքի (j) կախվածությունը էլեկտրական դաշտի լարվածությունից



Նկ. 4. SrTiO_3 կերամիկական նմուշի կորստային հոսանքի (j) կախվածությունը էլեկտրական դաշտի լարվածությունից

Եզրակացություն: Պինդմարմնային սարքերի կորստային հոսանքների տեսական ուսումնասիրության հիմքում ընկած լրիվ հոսանքի խտության և Պուասոնի հավասարումների համակարգի համատեղ լուծման մեթոդի նոր, մեր կողմից առաջարկված մոտեցումը հնարավորություն է տալիս անալիտիկորեն ստանալու անհրաժեշտ կախվածություններն ավելի հեշտ և մատչելի եղանակով:

Կատարված փորձական հետազոտությունների արդյունքում կառուցված կորերը թույլ դաշտերում գրեթե համընկնում են տեսական հաշվարկների հիման վրա կառուցված կորերին:

Աշխատանքը կատարված է «Միկրո-նանոէլեկտրոնիկա» բազային լաբորատորիայի հետազոտությունների շրջանակներում:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Gevorgyan S.** Ferroelectrics in Microwave Devices, Circuits and Systems.-Springer, 2009.- 394 p.
2. Ferroelectric Materials for Microwave Tunable Applications / **A.K. Tagantsev, V.O. Sherman, K.F. Astafiev** et al // Ceramics Laboratory, Swiss Federal Institute of Technology, EPFL, 1015 Lausanne – Switzerland, 2003.
3. **Vorobiev A., Rundqvist P., Gevorgian S.** Microwave loss mechanisms in $Ba_{0.25}Sr_{0.75}TiO_3$ films // Materials Science and Engineering. - 2005.- B 118.-P. 214-218.
4. **Ye. Zuo-Guang.** Handbook of dielectric, piezoelectric and ferroelectric materials // Woodhead Publishing, 2003. - 1060 p.
5. $BaTiO_3$ Թաղանթային կառուցվածքների ստացման տեխնոլոգիայի մշակում / **Վ.Վ. Բունիաթյան, Մ.Գ. Տրավաջյան, Ն.Վ. Մարտիրոսյան** և այլք // ՀՊՃՀ Լրաբեր-76.- Երևան, 2009.- Հատոր 1, N 1.- էջ 552-555:
6. ԻԲՍ տեխնոլոգիայով սինթեզված $Ba_{0.25}Sr_{0.75}TiO_3$ կերամիկական նմուշների ստացումը և ուսումնասիրումը / **Տ.Վ. Վանդունց, Պ.Բ. Ավագյան, Ն.Վ. Մարտիրոսյան** և այլք // ՀՊՃՀ Լրաբեր-75.- Երևան, 2008.- Հատոր 1, N1.- էջ 422-425:
7. **Laha Apurba and Krupanidhi S.B.** Leakage current conduction of pulsed excimer laser ablated BaBi2Nb2O9 thin films // Materials Research Center, Indian Institute of Science Bangalore 560 012.- India, 2002.
8. Oxygen Vacancy Affect on Ferroelectric Characteristics / **V.V. Buniatyan, N.W. Martirosyan, V.K. Begoyan** et al // Proceedings of Engineering Academy of Armenia.- 2011.- Vol. 8, № 2. - P. 375-381; № 3. - P. 542-549.
9. **Vendik O.G., Ter-Martirosyan L.** Influence of charged defects on the dielectric response of incipient ferroelectrics // J.Appl. Phys. - 2000.- V.87, № 3.- P. 1435 – 1439.
10. **Li J., Dong X., Chen Y., and Zhang Y.** Space-charge-limited current characteristics influenced by field-dependent permittivity in high dielectric constant and ferroelectric thin films // American Institute of Physics. - 2006.

ՀՊՃՀ (ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿ): Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 05.12.2011:

В.К. БЕГОЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ УТЕЧКИ ТОКА КЕРАМИЧЕСКИХ ОБРАЗЦОВ $BaTiO_3$ И $SrTiO_3$ ПРИ СЛАБЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЯХ

Исследованы утечки тока керамических образцов $BaTiO_3$ и $SrTiO_3$, полученных методом СВС. Сравнение теоретических расчетов и результатов моделирования с экспериментальными показало их достаточное совпадение.

Ключевые слова: титанат бария, титанат стронция, СВС, эмиссия Пуля–Френкеля, кислородные вакансии, токи утечки.

V.K. BEGOYAN

**CURRENT LEAKAGE OF $BaTiO_3$ AND $SrTiO_3$ CERAMIC SAMPLES
INVESTIGATION UNDER APPLIED WEAK FIELDS**

The current leakage of $BaTiO_3$ and $SrTiO_3$ ceramics obtained by the SHS method are examined. Comparing theoretical calculation and results of modeling with experimental results gave a sufficient consilience.

Keywords: barium titanate, strontium titanate, SHS, Poole–Frenkel emission, oxygen vacancy, current leakage.

А.А. ТЕРЗЯН, А.Э. АКОПЯН, Г.С. СУКИАСЯН, Л.Т. ОГАННИСЯН

**ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ ПОСТРОЕНИЕ ТЕТРАЭДРИЧЕСКОЙ СЕТКИ ПРИ
КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ТРЕХМЕРНЫХ
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ**

В работе [1] предложен параллельный алгоритм автоматизированного построения тетраэдрической сетки на многопроцессорной системе кластерной архитектуры для численного решения нелинейных задач трехмерного электромагнитного поля методом конечных элементов. Настоящая работа является развитием [1] и посвящена преодолению возникших при практической реализации алгоритма трудностей, связанных с возможным появлением пересекающихся тетраэдров и вырожденных тетраэдров нулевого объема. Разработанный подход реализован на модельной задаче вычисления поля электромагнитного реле. Показана эффективность рассмотренного алгоритма.

Ключевые слова: электромагнитное поле, сеточные задачи, параллельные алгоритмы, тетраэдрическая сетка.

Введение. Построение тетраэдрической сетки – трудоемкий и длительный этап численного моделирования трехмерного электромагнитного поля. В этой связи представляется актуальным развитие параллельных алгоритмов построения тетраэдрической расчетной сетки с использованием многопроцессорных вычислительных систем [1,2].

Распараллеливание сеточной задачи путем разбиения исходной исследуемой области на параллельные блоки (подобласти) приводит к уменьшению размеров матриц и, как следствие, резкому ускорению процесса решения системы уравнений.

Однако при этом наряду с арифметическими операциями возникают межпроцессорные обменные операции. Кроме того, при неравномерном разбиении области на параллельные блоки возникает неравномерность времени арифметических операций отдельных процессоров, что приводит к простоям части процессоров.

Поэтому при разбиении исследуемой области на параллельные блоки следует учитывать: а) густоту участков сетки; б) ширину возникающих лент; в) длину дополнительных границ между блоками, а также количество процессоров, оптимальное для данной сетки.

Алгоритм. В [3] показано, что для расчета трехмерных магнитных полей методом конечных элементов при фиксированной конфигурации узлов оптималь-

ной является тетраэдрическая сетка Делоне, которая характеризуется отсутствием других узлов внутри шаров, описанных вокруг каждого тетраэдра.

Тетраэдрические сетки Делоне дуальны к мозаикам Вороного [4]. Следовательно, можно строить трехмерные триангуляции Делоне с помощью многогранных мозаик Вороного.

Множество V_i точек, расстояние которых до узла P_i меньше, чем до остальных узлов P_j , $i \neq j$, называется многогранником Вороного относительно системы узлов $\{P_i\}_{i=1}^n$. Множество $\{V_i\}_{i=1}^n$ многогранников называется мозаикой Вороного на базе системы узлов $\{P_i\}_{i=1}^n$, если каждый V_i является многогранником Вороного относительно той же системы узлов. Отметим, что в отличие от сетки Делоне, состоящей из четырехгранников, в мозаике Вороного количество многогранников равно количеству базовых узлов, и количество граней отдельного многогранника может быть произвольным.

Для любой конфигурации узлов $\{P_i\}_{i=1}^n$ всегда существует (при том единственная) мозаика Вороного на базе системы $\{P_i\}_{i=1}^n$ (см. [3]). Все элементы мозаики Вороного являются выпуклыми многогранниками, внутренности которых не пересекаются.

Переход от многогранников Вороного к тетраэдрам Делоне осуществляется следующим образом. Два узла P_i и P_j назовем соседними, если соответствующие многогранники Вороного V_i и V_j имеют общую границу. Соединяя соседние узлы, получим тетраэдрическую сетку Делоне.

Однако, в отличие от мозаики Вороного, для некоторых конфигураций узлов $\{P_i\}_{i=1}^n$ тетраэдризация Делоне не единственна. Единственность может нарушаться для вырожденных конфигураций узлов, когда четыре узла оказываются в одной плоскости.

Для данной конфигурации узлов $\{P_i\}_{i=1}^n$ вначале строится (единственная) мозаика многогранников Вороного. При соединении соседних узлов в вырожденных участках могут появиться:

- а) четверки соседних узлов, образующих вырожденный тетраэдр нулевого объема;
- б) две четверки соседних узлов, образующих два тетраэдра с пересекающимися внутренностями.

Объясним, как избежать эти нежелательные ситуации на примере куба, который насыщен четверками узлов, лежащих в одной плоскости.

В мозаике Вороного все узлы куба (рис. 1) являются соседними друг для друга (т.е. для узла 1 соседями являются 2,3,4,5,6,7,8). Следовательно, при таком

расположении узлов единственность нарушается и получается несколько тетраэдризаций Делоне. Надо из них выбрать такую тетраэдризацию, у которой отсутствуют пересекающиеся тетраэдры и вырожденные тетраэдры нулевого объема.

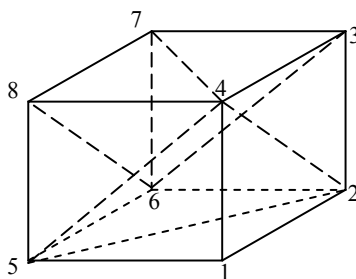


Рис. 1

Построим тетраэдры для узла 1.

Шаг 1. Для узла 1 выделим тетраэдры, объемы которых равны нулю:

1. 1234
2. 1458
3. 1265

При обнаружении таких тетраэдров необходимо удалить некоторые узлы из массива соседей для узла 1. В массиве соседей для узла 1 узлы 2,4,5 записываются раньше, чем узлы 3,8,6, так как расстояние от узла 1 до узлов 2,4,5 меньше, чем расстояние до узлов 3,8,6. По этой причине из массива соседей узла 1 удаляются узлы 3,8,6.

Шаг 2. После удаления узлов 3,8,6 можно построить первый тетраэдр -1,2,5,4.

После построения первого тетраэдра узел 7 все еще является соседом для узла 1. Слепое соединение соседних узлов может дать тетраэдр 1,5,2,7, который пересекает уже построенный тетраэдр 1,2,4,5. Для обнаружения таких ситуаций после построения тетраэдра необходимо пересечь грани тетраэдра с отрезками соседних узлов. И если отрезок пересекается с внутренностью уже построенного тетраэдра, то из массива соседей удаляется соответствующий узел. Например, грань 2 4 5 пересекается с отрезком 1 7. Следовательно, из массива соседей для узла 1 удаляется узел 7.

Аналогично строятся тетраэдры для остальных узлов куба. В результате получаются следующие тетраэдры (рис. 2).

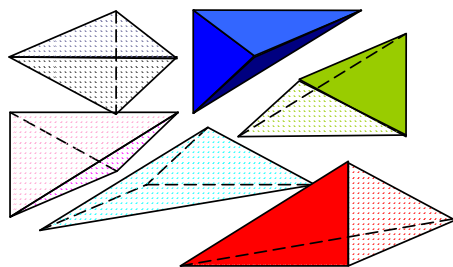


Рис. 2

Заметим, что при таком подходе тетраэдризация Делоне зависит от нумерации узлов. Например, если первым рассматривать узел 2, а не 1, то получится, что точка 2 не является соседом для узла 5, а точка 1 является соседом узла 6. По этой причине при распараллеливании сеточной задачи путем разбиения исходной исследуемой области на параллельные блоки (подобласти), во избежание лишнего межпроцессорного обмена, надо следить, чтобы на границе раздела подобластей узлы в каждом процессоре нумеровались одинаково.

Численный эксперимент. Разработанный подход реализован в виде компьютерной программы для параллельного построения тетраэдрической расчетной сетки с использованием многопроцессорных вычислительных систем кластерной архитектуры. Эксперименты проводились на модели реле типа REN34, REK 25 на 48-ядерном кластере Государственного инженерного университета Армении.

На рис. 3 изображены исследуемая область и тетраэдрическая сетка, полученная с использованием реализованной программы.

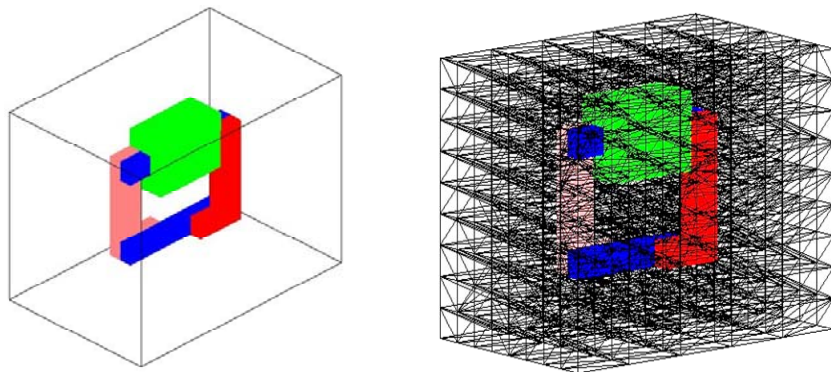


Рис. 3

На рис. 4 представлены зависимости общего времени T построения расчетной сетки (верхняя кривая), а также времени, затраченного на межпроцессорный обмен (нижняя кривая), от количества процессоров N_p . Графики показывают,

что по мере увеличения числа процессоров, несмотря на увеличение времени межпроцессорного обмена, общее время построения сетки уменьшается, что свидетельствует о несомненной эффективности параллелизации задач данного типа.

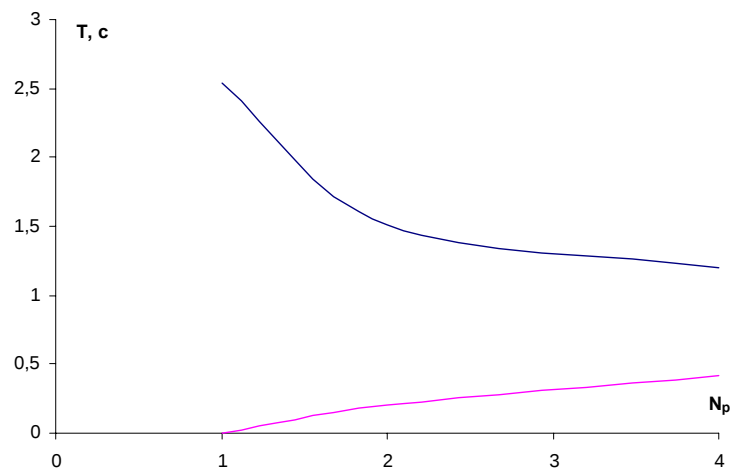


Рис. 4

Заключение. Развита и реализована параллельная алгоритм построения тетраэдрической расчетной сетки при конечно-элементном моделировании трехмерных краевых задач. Показана эффективность предложенного алгоритма.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Терзян А.А., Сукиасян Г.С., Акопян А.Э. К построению тетраэдрической сетки на многопроцессорных системах для решения задач трехмерного электромагнитного поля методом конечных элементов // Известия НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. - 2012. - Т. 65, № 1. - С. 83-93.
2. Галанин М.П., Щеглов И.А. Разработка и реализация алгоритмов трехмерной триангуляции сложных пространственных областей: итерационные методы.- Препринт ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, 2006.
3. Терзян А.А., Сукиасян Г.С., Акопян А.Э. Об оптимизации тетраэдральной сетки для расчета трехмерных магнитных полей методом конечных элементов // Известия НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. - 2008. - Т. 61, № 2. – С. 305-317.
4. Скворцов А. В. Триангуляция Делоне и ее применение. – Томск: Изд-во ТУ, 2002.- 128 с.

ГИУА (ПОЛИТЕХНИК). Материал поступил в редакцию 20.10.2011.

Հ.Ա. ԹԵՐԶՅԱՆ, Ա.Է. ՀԱԿՈԲՅԱՆ, Հ.Ս. ՍՈՒՔԻԱՍՅԱՆ, Լ.Տ. ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ

**ՎԵՐՋԱՎՈՐ ՏԱՐԲԵՐԻ ՄԵԹՈՂՈՎ ԵՌԱԶԱՓ ԷԼԵԿՏՐԱՄԱԳՆԻՄԱԿԱՆ ԴԱՇՏԵՐԻ
ՄՈՂԵԼԱՎՈՐՄԱՆ ՀԱՄԱՐ ՔԱՌԱՆԻՍՏԱՑԻՆ ՑԱՆՑԻ ԶՈՒԳԱՀԵՌ
ԿԱՌՈՒՑՈՒՄԸ**

Դիտարկված են վերջավոր տարրերի մեթոդով եռաչափ էլեկտրամագնիսական դաշտերի ոչ գծային խնդիրներ: Առաջարկված է այդ խնդիրների թվային լուծման համար քառանիստային ցանցի կառուցման զուգահեռ ալգորիթիմ կլաստերային ճարտարապետության բազմապրոցետորային համակարգում: Աշխատանքը ներկայացնում է [1]-ի զարգացումը և ուղղված է ալգորիթմի գործնական իրականացման ընթացքում առաջացող դժվարությունների հաղթահարմանը, որոնք պայմանավորված են հատվող քառանիստերի և զրոյական ծավալով այլասերված քառանիստերի հնարավոր առաջացմամբ: Մոդելային խնդրի համար առաջարկված մոտեցումն իրականացված է էլեկտրամագնիսական ռելեի դաշտի հաշվարկման համար: Ցույց է տրված դիտարկվող ալգորիթմի արդյունավետությունը:

Առանցքային բառեր. էլեկտրամագնիսական դաշտ, ցանցային խնդիրներ, զուգահեռ ալգորիթմներ, քառանիստային ցանց:

H.A. TERZIAN, A.E. HAKOBYAN, H.S. SUKIASYAN, L.T. HOVHANNISYAN

**PARALLEL TETRAHEDRAL MESH CONSTRUCTION IN FINITE-ELEMENT
SIMULATION OF THREE-DIMENSIONAL ELECTROMAGNETIC FIELDS**

The parallel algorithm of automated tetrahedral mesh construction on multi-processor system of cluster architecture for numerical nonlinear problem solution of three-dimensional electromagnetic fields by the finite-element method is proposed in [1]. The present paper is the development of [1] and it deals with overcoming the difficulties initiated during practical realization of the algorithm and connected with possible emergence of crossing tetrahedrons and regenerated zero volume tetrahedrons. The developed approach is realized on the model problem of electromagnetic relay field calculation. The efficiency of the algorithm is shown.

Keywords: electromagnetic field, mesh problems, parallel algorithms, tetrahedral mesh.

Պ.Ռ. ԽԱԼԱԹՅԱՆ, Ռ.Պ. ԽԱԼԱԹՅԱՆ, Է.Պ. ԽԱԼԱԹՅԱՆ

ԱՐԱԳՐՆԹԱՑ ԱՎՏՈՄԱՅՐՈՒՂԻՆԵՐՈՒՄ ԷԼԵԿՏՐԱԷՆԵՐԳԻԱՑԻ ՍՏԱՑՄԱՆ ՍԱՐՔ

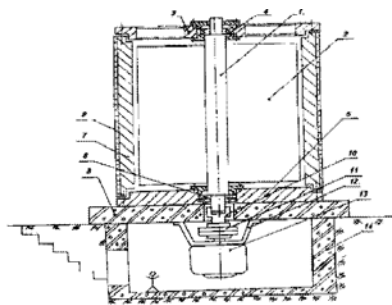
Առաջարկվում է սարք, որը ինտենսիվ երթևեկության արագընթաց ավտոմայրուղիների բաժանիչ գոտում տեղադրվելով՝ ավտոմոբիլների շարժումից առաջացող օդային զանգվածների շարժման կինետիկ էներգիայի մի մասը վերածում է էլեկտրաէներգիայի:

Առանցքային բառեր. արագընթաց ավտոմայրուղի, ուղղաձիգ լիսեռով հողմաշարժիչ, ավտոմայրուղիների կենտրոնական բաժանիչ գոտի, հիմնասալ:

Ակնհայտ է, որ շարժվող տրանսպորտային միջոցները հաղթահարում են նաև օդի դիմադրությունը՝ առաջացնելով օդային զանգվածների շարժ, որոնց ազդեցությունը բացահայտորեն զգացվում է կողքից շարժվող տրանսպորտային մյուս միջոցների վրա և կախված է դրանց զանգվածներից, արագությունների մեծություններից, երկրաչափական ձևերից, օդի խտությունից, բնակլիմայական պայմաններից և այլն [1]: Օդային զանգվածների այս ազդեցությունը առավել զգալի է դառնում հատկապես արագընթաց մայրուղիներով ավտոմոբիլների մեծ արագությամբ և ինտենսիվ երթևեկության ժամանակ:

Առաջարկվում է սարք, որը ինտենսիվ երթևեկության արագընթաց ավտոմայրուղիների հակադարձ ուղղություններով շարժման շերտերի բաժանիչ գոտում տեղադրվելով՝ ավտոմոբիլների շարժումից առաջացող օդային զանգվածների կինետիկ էներգիայի մի մասը կվերածի էլեկտրական էներգիայի (արտոնագիր՝ N2104A2.2007):

Սարքի կառուցվածքը բերված է նկ. 1-ում:

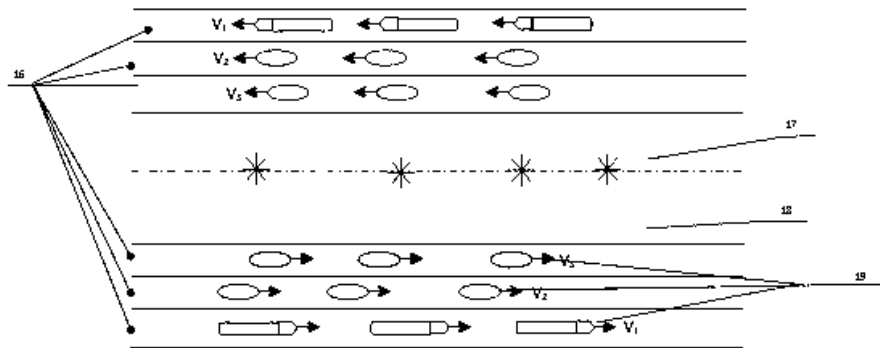


Նկ. 1. Սարքի ուղղաձիգ կտրվածքը

Սարքն ունի ուղղաձիգ լիսեռ (1), դրան 45° անկյան տակ ամրակցված թվով ութ կոր ուղղանկյուն թիակներ (2), որոնց գոգավորությունն ուղղված է դեպի շարժվող

օդը, իսկ թիակների բարձրությունն ընտրված է առավելագույնը 2,5 մ, քանի որ ներկայիս արագընթաց ավտոմեքենաների բարձրությունը չի անցնում 2.5 մ-ից: Տանող լիսեռի (1) վերին վզիկը տեղակայված է սարքի վերին հիմնատակի (3) կենտրոնի բնիկում նստեցված գլորման շառավղային գնդառանցքակալի (4) վրա, իսկ ստորինը՝ ստորին հիմնատակի (5) կենտրոնի բնիկում տեղակայված գնդիկավոր հենակային առանցքակալի (6) վրա: Ստորին (5) և վերին (3) հիմնատակերը միմյանց ամրակցված են կանգնակով (7): Կանգնակ (7) - ն ունի կողմնային մակերևույթով սնամեջ գլանի տեսք, որի հանդիպակաց ճակատներին արված են սևեռող փականքներ՝ ստորին (5) և վերին (3) հիմնատակերի համառանցք միացում ապահովելու համար: Կենտրոնական գլանաձև անցքով ստորին հիմնատակը (5) ունի հոծ տեսք և ամրակցված է երկաթբետոնյա հիմնասալին (8): Հիմնասալի լայնությունն ընտրված է 1,5...3 մ սահմաններում, քանի որ այն սահմանափակված է արագընթաց մայրուղու բաժանիչ գոտու լայնությամբ: Վերին հիմնատակը (3) հոծ չէ, ունի բաց տեղամասեր՝ թիակներից դեպի վեր օդի ազատ դուրս գալու համար: Ստորին (5) և վերին (3) հիմնատակերի եզրերին նույնպես նախատեսված են սևեռող փականքներ: Կանգնակ (7)-ը պատված է ցանցով (9): Լիսեռից (1) պտտող մոմենտը հիմնասալի (8) տակ ամրացված գեներատորին (13) հաղորդելու համար սարքն ունի երկարացվող լիսեռ (10) և կցորդիչ (11): Գեներատորը հիմնասալին ամրակցված է կցաշուրթով (12): Սարքը, ամրացված հիմնասալի հետ միասին, տեղակայված է արագընթաց ավտոմայրուղու բաժանիչ գոտում՝ գետնի մեջ փորված հորի (14) վրա:

Սարքի աշխատանքն իրականանում է հետևյալ կերպ (նկ.2):



Նկ. 2. Ավտոմայրուղիներում սարքի տեղակայման գծապատկերը

Արագընթաց ավտոմայրուղիների (16) կենտրոնական բաժանիչ գոտում (17) տեղակայված է հողմաշարժիչի (18) լիսեռը (1) իր թիակներով (2) (նկ.1), որոնք պտտական շարժման մեջ են մտնում շարժվող ավտոմեքենաներից (19) առաջացող օդի զանգվածների շարժման ազդեցության շնորհիվ, որն առաջանում է բարձր կարգի ավտոմայրուղիներով ավտոմեքենաների ինտեսիվ երթևեկության ժամանակ:

Շարժիչի լիսեռից (1) պտտող մոմենտը երկարացվող լիսեռով (10) և կցորդիչով (11) հաղորդվում է հիմնասալի (8) տակ կցորդով (13) ամրակցված, հորում (14) գտնվող գեներատորի (13) լիսեռին: Գեներատորից էլեկտրական էներգիան փոխանցվում է էլեկտրական արդյունաբերական ցանցին: Գետնին՝ հորի վրա տեղադրված բետոնե հիմնասալի (8) (նկ. 1) տակից գեներատորի ամրացումը հարմար է՝ բարձրացնելու սարքի կայունությունը, ավելի լավ ընդգրկելու սարքի թիակների բարձրությամբ ավտոմեքենայի շարժումից առաջացող օդի ազդեցությունը, որը կբարձրացնի էներգիայի ստացման արդյունավետությունը, կապահովի գեներատորի և մյուս սարքավորումների սպասարկման և նորոգման աշխատանքների անվտանգությունը, կնվազեցնի գեներատորի և մյուս սարքավորումների աշխատանքի ժամանակ առաջացող աղմուկի մակարդակը:

Շարժիչի տեղադրումը արագընթաց ավտոմայրուղիների կենտրոնական բաժանիչ գոտում բացատրվում է հետևյալով. կենտրոնական բաժանիչ գոտուն կից երկու շերտերը նախատեսված են ավտոմեքենաների շարժման մեծ արագություններ զարգացնելու համար, և, բնականաբար, հատկապես այդ գոտում էլ օդային զանգվածները կունենան շարժման համեմատաբար մեծ արագություններ ու ազդեցություններ: Այդ գոտում տեղակայված սարքի թիակների վրա օդի ազդեցությունը կլինի միաժամանակ երկու հակառակ ուղղությամբ՝ տարբեր ուղղությամբ շերտերով ավտոմեքենաների շարժման պատճառով: Ուստի կկրկնապատկվի լիսեռին (1) հաղորդվող պտտվող մոմենտի մեծությունը՝ բարձրացնելով էլեկտրաէներգիայի ստացման արդյունավետությունը:

Այդ հատվածը (բաժանիչ գոտին) հարմար է սարքեր տեղակայելու, դրանց անվտանգ և անվնաս շահագործման, սպասարկման, նորոգման աշխատանքներ կատարելու համար:

Բնականաբար, արագընթաց ավտոմայրուղիներում էլեկտրական էներգիայի արտադրության նման եղանակը դիմադրություն է օդի հոսքին, որը հաղթահարելու համար կպահանջվի վառելիքի լրացուցիչ ծախս: Ուստի կպահանջվի համապատասխան տեխնիկա-տնտեսական հիմնավորում:

Առաջարկվող սարքի աշխատանքի արդյունավետությունը գնահատելու համար հարկավոր է հաշվի առնել ավտոմայրուղիների բաժանիչ գոտում օդային զանգվածների շարժի նկարագիրը, որն առաջանում է տարբեր շերտերով տարբեր արագություններով և ուղղություններով շարժվող տարբեր ձևի ավտոմեքենաների ու օդերևութաբանական պայմանների ազդեցություններից հեռու գտնվող վայրերում:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Բաբաջանյան Գ.Հ.** Հեղուկների և գազերի մեխանիկա.- Երևան: ԵՊՀ հրատարակչություն, 2000. – 453 էջ:
2. **Седов Л. И.** Механика сплошной среды. – М.: Наука, 1976. - Том 1. – 536 с.
3. **Седов Л. И.** Механика сплошной среды. – М.: Наука, 1976. - Том 2. – 576 с.

ՀՊՀՀ (ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿ): Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 06. 06. 2011:

Ս.Ր. ХАЛАТЯН, **Р.П. ХАЛАТЯН**, **Э.П. ХАЛАТЯН**

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ НА СКОРОСТНЫХ АВТОМАГИСТРАЛЯХ

Исследуются вопросы получения электроэнергии с помощью транспортных средств. Предлагается устройство, при расположении которого на разделительной полосе интенсивной скоростной автомагистрали часть кинетической энергии воздушного потока от движения автомобилей превращается в электрическую энергию.

Ключевые слова: скоростная автомагистраль, ветряной двигатель с вертикальным валом, центральная разделительная полоса автомагистрали, фундаментная плита.

P.R. KHALATYAN, **R.P. KHALATYAN**, **E.P. KHALATYAN**

APPARATUS FOR OBTAINING ELECTRIC ENERGY IN SPEED HIGHWAYS

The problems of obtaining electricity by means of moving motor-transport are examined. An apparatus installed in the distributive zone of intensive traffic speed highways is proposed. Part of air mass movement of kinetic energy is transformed from the movement of automobiles into electricity.

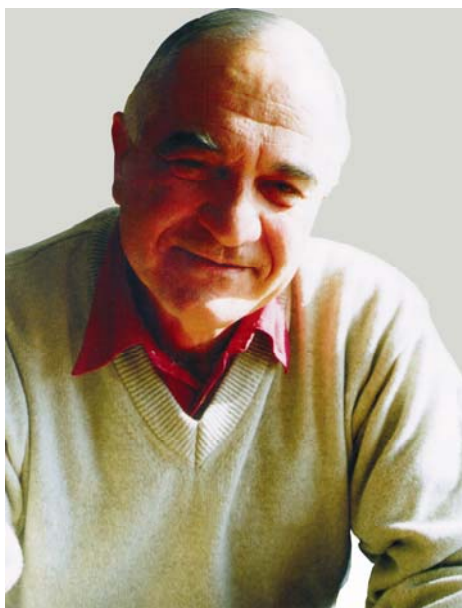
Keywords: speed highway, wind powered device with vertical shaft, central distributive zone highways, base slab.

АРУТЮН АРТАШЕСОВИЧ ТЕРЗЯН

К 80 – ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ

Исполнилось 80 лет выдающемуся ученому в области электромеханики, моделирования и автоматизированных систем, академику Национальной академии наук Армении, профессору Государственного инженерного университета Армении

Арутюну Арташесовичу Терзяну.



Свой путь в науке Арутюн Терзян начал в аудиториях Ереванского политехнического института. Окончив в 1955г. Электротехнический факультет ЕрПИ, он был направлен на работу в специальное конструкторское бюро Армэлектростроительного завода. В 1957г., когда в Армении намечался резкий скачок в развитии электромашиностроительной и приборостроительной отраслей, он был переведен из Армэлектростроительного завода во вновь организованный Всесоюзный научно-исследовательский институт комплексного электрооборудования, где прошел долгий трудовой путь от старшего инженера до начальника расчетно-теоретического отдела – Главного конструктора систем автоматизированного проектирования подотрасли Министерства электротехнической промышленности СССР.

С 1989 по 1993 г. А.А. Терзян возглавлял кафедру электрических аппаратов и средств автоматизации Государственного инженерного университета Армении. Будучи заведующим кафедрой, он проявил незаурядные способности педагога, ученого и организатора научных исследований. Его усилиями на кафедре была открыта новая перспективная специализация “Электронные и микропроцессорные аппараты” и организована соответствующая лаборатория.

Кандидатскую диссертацию он защитил в 1964 г. во Всесоюзном НИИ Электромеханики (Москва), докторскую – в 1980 г. в Московском энергетическом институте. В 1986 г. избран членом-корреспондентом Академии наук Армении по специальности “Вычислительная техника и системы управления”. В 1987 г. ему

присвоено звание профессора. В 1996 г. избран академиком Национальной академии наук Армении.

А.А. Терзян продолжил и развил научную традицию академиков А.Г. Иосифьяна – В.В. Алексеевского, которая вышла за пределы Армении и нашла широкое признание на постсоветском пространстве.

С 1993 по 2006 г. А.А. Терзян являлся проректором Государственного инженерного университета Армении по научной работе, аспирантуре и магистратуре.

Сфера научных интересов ученого достаточно широка и разнообразна. Он один из основоположников перспективного направления по моделированию магнитных полей и процессов электромагнитных систем на основе полного структурного соответствия явлений оригинала и модели. На базе предложенного структурного подхода им и его учениками созданы уникальные аналоговые моделирующие устройства (специализированные аналоговые вычислительные машины), которые являются эффективным средством принятия оптимальных решений. Перу Арутюна Терзяна принадлежит теория индукторных машин с пульсирующим потоком. На базе этой теории во ВНИИКЭ была создана серия электромашинных высокочастотных преобразователей, которые выпускались предприятием “Армэлектромаш” и нашли широкое применение в различных отраслях промышленности.

Большую известность получили работы академика А.А. Терзяна в области автоматизированных систем. Он внес большой вклад в развитие теории автоматизации проектно-конструкторских работ. Им предложен ряд эффективных методов поисковой оптимизации. Разработанные им основные положения и научные основы оптимального проектирования и автоматизированного конструирования электромеханических систем автономной энергетики позволили на заре создания систем автоматизированного проектирования перейти от автоматизации решения отдельных инженерных задач к комплексной автоматизации проектно-конструкторских работ.

Под руководством профессора Терзяна развиты и реализованы параллельные алгоритмы принятия решений для их работы в многопроцессорной системе кластерной архитектуры, а разработанные им GRID-инфраструктуры представляют собой мощные вычислительные ресурсы для инженеров.

Арутюн Терзян создал крупную научную школу в области автоматизированных систем проектирования и научных исследований. Во Всесоюзном научно-исследовательском институте комплексного электрооборудования руководимый им коллектив за короткое время стал признанным лидером по автоматизирован-

ным системам проектирования в электромашиностроении и был определен Министерством электротехнической промышленности СССР головной организацией Союза в области автоматизации проектирования средств автономной энергетики, а сам он назначен главным конструктором по этой проблематике в подотрасли. На этом посту ученый в рамках государственных целевых программ сумел развернуть на различных предприятиях страны крупномасштабную работу по проведению научных исследований в области создания и внедрения автоматизированных систем проектирования электромагнитных комплексов, технологических процессов и технологических средств их производства.

Неоценим вклад А.А. Терзяна в развитие науки в Государственном инженерном университете Армении. Будучи в течение 14 лет проректором Государственного инженерного университета Армении по научной работе, аспирантуре и магистратуре, он успешно осуществлял руководство этим научно-образовательным комплексом. Достаточно отметить, что за 10 лет, в период с 1996 по 2006 г., количество финансируемых научных проектов в университете увеличилось более чем в два раза, а количество научных сотрудников, участвующих в этих проектах, - более чем в пять раз.

Арутюн Арташесович Терзян уделяет большое внимание подготовке молодых высококвалифицированных кадров. Под его руководством подготовили и защитили кандидатские диссертации около двух десятков аспирантов. Он является председателем Специализированного совета по защитах докторских и кандидатских диссертаций по управлению, автоматизированным системам, электронике, математическому моделированию, численным методам и комплексам программ.

Немаловажное значение имеет его научно-общественная деятельность.

В период с 1975 по 1990 г. он плодотворно работал в различных научно-общественных организациях. В частности, был членом секции космической энергетики большой мощности Совета космической электрорадиотехники и электроники Академии наук СССР, заместителем председателя секции статистического поиска Совета по комплексной программе “Кибернетика” Академии наук СССР, заместителем председателя Армянского территориального управления Национального комитета СССР по автоматическому управлению (ИФАК).

Долгие годы Арутюн Терзян является заместителем главного редактора “Известий НАН Армении и Государственного инженерного университета Армении. Серия Технические науки”, а также заместителем главного редактора “Вестника Государственного инженерного университета Армении”. Он член международной редакционной коллегии журнала “Applied Electromagnetism”.

А.А. Терзян - член бюро Отделения математики, механики и информатики НАН РА. Он является автором более 125 научных публикаций, в том числе 4-х монографий и 5-и авторских свидетельств и патентов на изобретение.

Научная и общественная деятельность академика А.А. Терзяна получила высокую и государственную оценку. Он награжден медалью “Анания Ширакаци”. Ему вручена премия президента Армении за 2010г. в области технических наук и информационных технологий за монографию “Моделирование электромагнитных систем. Цифровые методы и решения” (на англ. яз.).

В настоящее время его наставническая деятельность продолжается в должности профессора кафедры “Электрических машин и аппаратов” Государственного инженерного университета Армении и научного руководителя базовой научно-технической лаборатории моделирования и систем автоматизации.

Редакционная коллегия журнала, многочисленные друзья, коллеги и ученики поздравляют выдающегося ученого, прекрасного и интеллигентного человека с юбилеем, желают ему крепкого здоровья, благополучия и больших успехов в его плодотворной научной деятельности.

ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

ԱՐՁՈՒՄԱՆՑԱՆ Ա.Ս., ՄԻՆԱՍՅԱՆ Զ.Ա., ՀԱԿՈԲՅԱՆ Ս.Հ. ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ ԴԱՇՏԻ ԱՋԴԵՑՈՒԹՅԱՄԲ ԿՈՐՈՒՆԴԵ ԿՏՐՈՂ ԹԻԹԵՂԻԿԻ ՄԻԿՐՈԿԱՐԾՐՈՒԹՅԱՆ ԳՆԱՀԱՏՄԱՆ ՄԱԹԵՄԱՏԻԿԱԿԱՆ ՄՈՂԵԼ.....	127
ՄԻՄՈՆՑԱՆ Մ.Մ. ԸՆԴՀԱՏ ԿՏՐՄԱՆ ԺԱՄԱՆԱԿ ԿԱՐԾՐ ՀԱՄԱԶՈՒԼՎԱԾՔԵ ԿՏՐՈՂ ՄԵՊԻ ՎՐԱ ԱՋԴՈՂ ԼԱՐՈՒՄՆԵՐԻ ՀԱՇՎԱՐԿԸ ԿՏՐՄԱՆ ԳՈՏՈՒՄ ԴԻՆԱՄԻԿ ԲԵՌՆՄԱՆ ՀԱՇՎԱՌՈՒՄՈՎ.....	134
ԱՂԲԱԼՅԱՆ Ս.Գ., ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ Հ.Ս., ՂՈՒԿԱՍՅԱՆ Վ.Ս. ԵՐԿԱԹԻ ՀԻՄՔՈՎ ԲԱՐՁՐ ՋԵՐՄԱՀԱՂՈՐԴԱԿԱՆՈՒԹՅԱՄԲ ՀԱԿԱՇՓԱԿԱՆ ՓՈՇԵԿՈՄՊՈԶԻՑԻՈՆ ՆՅՈՒԹԵՐԻ ՍՏԱՑՄԱՆ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱՅԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ.....	143
ՀՈՎՄԵՓՅԱՆ Գ.Ս., ՀՈՎՄԵՓՅԱՆ Ն.Գ., ԱՂԲԱԼՅԱՆ Կ.Ս., ՎԱՐԴԱՆՅԱՆ Ս.Ո., ԿԱՐԱՊԵՏՅԱՆ Կ.Գ. ՄԵՏԱՂՆԵՐԻ ՋԵՐՄԱՔԻՄԻԱԿԱՆ ՄՇԱԿՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՑՈՒՄ ԴԻՖՈՒԶԻԱՅԻ ՀՆԱՐԱՎՈՐ ՏԱՐԲԵՐԱԿՆԵՐԸ	153
ՍՏԵՓԱՆՅԱՆ Ռ.Լ. ԱՄՐԱՅՄԱՆ ԱՋԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ ԼԱՐՈՒՄՆԵՐԻ ԲԱՇԽՄԱՆ ՎՐԱ ԳԼԱՆԱՋԵՎ ԲԱԺԱԿԻ ԽՈՐ ԱՐՏԱԶԳՄԱՆ ԴԵՊՔՈՒՄ	159
ՍԱՖԱՐՅԱՆ Վ.Ս., ԳԵՎՈՐԳՅԱՆ Ս.Գ. ԻՆՔՆԱՎԱՐ ԱՍԻՆՔՐՈՆ ԳԵՆԵՐԱՏՈՐԻ ՍՏԱՑԻՈՆԱՐ ՌԵԺԻՄԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ	168
ԿԱՐԱՆԱՆՅԱՆ Լ.Հ., ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ Ա.Ս., ՍԱՀԱԿՅԱՆ Ն.Ս. ՀՈՍԱՆՔԻ ՏՐԱՆՍՖՈՐՄԱՏՈՐՆԵՐԻ ՀՈՍԱՆԱՑԻՆ ԵՎ ԱՆԿՑՈՒՆԱՑԻՆ ՄԽԱԼԱՆՔՆԵՐԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ.....	176
ԱՌԱՔԵԼՅԱՆ Վ.Պ., ՀԱԿՈԲՅԱՆ Լ.Ա. ԷԼԵԿՏՐԱԷԼԵԳԵՏԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ Y-ՄԱՏՐԻՑԻ ՈՐՈՇՄԱՆ ՆՈՐ ՄՈՏԵՑՈՒՄ.....	184
ՇԱՂԳԱՍՅԱՆ Ա.Ս., ՇԱՂԳԱՍՅԱՆ Ն.Ա. ՋԵՐՄԱՍՏԻՃԱՆՆԵՐԻ ՏԱՐԲԵՐՈՒԹՅԱՆ ՉՍՓՈՒՄՆ ՈւՂՂԱԿԻ ՄԵԹՈՂՈՎ ԵՎ ՄԽԱԼԱՆՔՆԵՐԻ ՀԱՇՎԱՐԿԸ	190
ՏՐԱՎԱՋՅԱՆ Լ.Ս. ՖԵՐՈԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ ՀԻՇՈՂՈՒԹՅԱՆ ՀԱՄԱՐ ԸՆԹԵՐՑՄԱՆ ՈՒԺԵՂԱՐԱՐԻ ԲՆՈՒԹԱԳՐԵՐԻ ՄՈՂԵԼԱՎՈՐՈՒՄ.....	199
ԲԵԳՈՑԱՆ Վ.Կ. <i>BaTiO₃</i> ԵՎ <i>SrTiO₃</i> ԿԵՐԱՄԻԿԱԿԱՆ ՆՄՈՒՇՆԵՐԻ ԿՈՐՍՏԱՅԻՆ ՀՈՍԱՆՔՆԵՐԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ ԹՈՒՅԼ ԼԱՐՎԱԾՈՒԹՅԱՄԲ ԴԱՇՏԵՐՈՒՄ.....	205
ԹԵՐՁՅԱՆ Հ.Ա., ՀԱԿՈԲՅԱՆ Ա.Է., ՍՈՒՔԻԱՍՅԱՆ Հ.Ս., ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ Լ.Տ. ՎԵՐՋԱՎՈՐ ՏԱՐԲԵՐԻ ՄԵԹՈՂՈՎ ԵՌԱԶՍՓ ԷԼԵԿՏՐԱՄԱԳՆԻՍԱԿԱՆ ԴԱՇՏԵՐԻ ՄՈՂԵԼԱՎՈՐՄԱՆ ՀԱՄԱՐ ՔԱՌԱՆԻՍՏԱՅԻՆ ՑԱՆՑԻ ՋՈՒԳԱՀԵՌ ԿԱՌՈՒՑՈՒՄԸ.....	213
ԽԱԼԱԹՅԱՆ Պ.Ռ., ԽԱԼԱԹՅԱՆ Ռ.Պ., ԽԱԼԱԹՅԱՆ Է.Պ. ԱՐԱԳԸՆԹԱՑ ԱՎՏՈՄԱՅՐՈՒՂԻՆԵՐՈՒՄ ԷԼԵԿՏՐԱԷԼԵԳԻԱՅԻ ՍՏԱՑՄԱՆ ՍԱՐՔ ...	219
ԹԵՐՁՅԱՆ ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆ ԱՐՏԱՇԵՄԻ ԾՆԱԴՅԱՆ 80-ԱՄՅԱԿԻ ԿԱՊԱԿՑՈՒԹՅԱՄԲ.....	223

СОДЕРЖАНИЕ

АРЗУМАНЯН А.М., МИНАСЯН З.А., АКОПЯН С.А. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ МИКРОТВЕРДОСТИ КОРУНДОВОЙ РЕЖУЩЕЙ ПЛАСТИНКИ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ	127
СИМОНЯН М.М. РАСЧЕТ ДЕЙСТВУЮЩИХ НАПРЯЖЕНИЙ В КОНТАКТНОЙ ЗОНЕ РЕЖУЩЕГО ТВЕРДОСПЛАВНОГО КЛИНА С УЧЕТОМ ДИНАМИКИ НАГРУЖЕНИЯ ПРИ ПРЕРЫВИСТОМ РЕЗАНИИ	134
АГБАЛЯН С.Г., ПЕТРОСЯН А.С., ГУКАСЯН В.С. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ПОРОШКОВЫХ АНТИФРИКЦИОННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА С ВЫСОКОЙ ТЕПЛОПРОВОДИМОСТЬЮ	143
ОВСЕПЯН Г.С., ОВСЕПЯН Н.Г., АГБАЛЯН К.С., ВАРДАНЯН С.В., КАРАПЕТЯН К.Г. ВОЗМОЖНЫЕ МЕХАНИЗМЫ ДИФфуЗИИ В ПРОЦЕССЕ ХИМИКО- ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ	153
СТЕПАНЯН Р.Л. ВЛИЯНИЕ УПРОЧНЕНИЯ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ГЛУБОКОЙ ВЫТЯЖКЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО СТАКАНА	159
САФАРЯН В.С., ГЕВОРГЯН С.Г. ИССЛЕДОВАНИЕ СТАЦИОНАРНОГО РЕЖИМА АВТОНОМНОГО АСИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА	168
КАРАХАНИЯН Л.О., АРУТЮНЯН А.С., СААКЯН Н.М. ИССЛЕДОВАНИЕ ТОКОВОЙ И УГЛОВОЙ ПОГРЕШНОСТЕЙ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА	176
АРАКЕЛЯН В.П., АКОПЯН Л.А. НОВЫЙ ПОДХОД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ Y-МАТРИЦЫ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ	184
ШАХКАМЯН А.С., ШАХКАМЯН Н.А. ИЗМЕРЕНИЕ РАЗНОСТИ ТЕМПЕРАТУР ПРЯМЫМ МЕТОДОМ И РАСЧЕТ ПОГРЕШНОСТЕЙ	190
ТРАВАДЖЯН Л.М. МОДЕЛИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК УСИЛИТЕЛЯ СЧИТЫВАНИЯ ДЛЯ ФЕРРОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПАМЯТИ	199
БЕГОЯН В.К. ИССЛЕДОВАНИЕ УТЕЧКИ ТОКА КЕРАМИЧЕСКИХ ОБРАЗЦОВ $BaTiO_3$ И $SrTiO_3$ ПРИ СЛАБЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЯХ	205
ТЕРЗЯН А.А., АКОПЯН А.Э., СУКИАСЯН Г.С., ОГАННИСЯН Л.Т. ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ ПОСТРОЕНИЕ ТЕТРАЭДРИЧЕСКОЙ СЕТКИ ПРИ КОНЕЧНО- ЭЛЕМЕНТНОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ТРЕХМЕРНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ	213
ХАЛАТЯН П.Р., ХАЛАТЯН Р.П., ХАЛАТЯН Э.П. УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ НА СКОРОСТНЫХ АВТОМАГИСТРАЛЯХ	219
ТЕРЗЯН АРУТЮН АРТАШЕСОВИЧ К 80 – ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ	223

CONTENTS

ARZUMANYAN A.M., MINASYAN Z.A., HAKOBYAN S.H. MATHEMATICAL MODEL FOR EVALUATING MICROHARDNESS INSERT CORUNDUM UNDER THE ELECTRIC FIELD	127
SIMONYAN M.M. CALCULATION OF ACTIVE TENSION IN CONTACT AREA OF THE HARDMETAL CUTTING WEDGE IN CONSIDERATION OF THE LOAD DYNAMICS IN THE PROCESS OF INTERRUPTED CUTTING	134
AGHBALYAN S.G., PETROSYAN H.S., GHUKASYAN V.S. DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY FOR ANTIFRICTIONAL POWDER COMPOSITES BASED ON IRON WITH HIGH THERMAL CONDUCTIVITY	143
HOVSEPYAN G.S., HOVSEPYAN N.G., AGBALYAN K.S., VARDANYAN S.V., KARAPETYAN K.G. DIFFUSION MECHANISMS FOR CHEMICAL-THERMAL METAL PROCESSING.....	153
STEPANYAN R.L. THE EFFECT OF WORK HARDENING ON THE STRESS DISTRIBUTION IN DEEP DRAWING OF CYLINDRICAL CUP	159
SAFARYAN V.S., GEVORGYAN S.G. STATIONARY REGIME INVESTIGATION OF AN AUTONOMOUS ASYNCHRONOUS GENERATOR	168
KARAKHANYAN L.H., HARUTYUNYAN A. S., SAHAKYAN N.M. INVESTIGATION OF CURRENT ANGLE INACCURACY IN MEASURING CURRENT TRANSFORMERS	176
ARAKELIAN V.P., HAKOBYAN L.A. A NEW APPROACH TO DEFINING ELECTRICAL POWER SYSTEM OF Y-MATRIX....	184
SHAGHGAMYAN A.S., SHAGHGAMYAN N.A. TEMPERATURE DIFFERENCE DIRECT MEASUREMENT AND ERROR CALCULATION	190
TRAVAJYAN L.M. MODELING OF SENSE AMPLIFIER CHARACTERISTICS FOR FERROELECTRIC MEMORY	199
BEGOYAN V.K. CURRENT LEAKAGE OF $BaTiO_3$ AND $SrTiO_3$ CERAMIC SAMPLES INVESTIGATION UNDER APPLIED WEAK FIELDS	205
TERZIAN H.A., HAKOBYAN A.E., SUKIASYAN H.S., HOVHANNISYAN L.T. PARALLEL TETRAHEDRAL MESH CONSTRUCTON IN FINITE-ELEMENT SIMULATION OF THREE-DIMENSIONAL ELECTROMAGNETIC FIELDS	213
KHALATYAN P.R., KHALATYAN R.P., KHALATYAN E.P. APPARATUS FOR OBTAINING ELECTRIC ENERGY IN SPEED HIGHWAYS	219
TERZIAN HARUTYUN ARTASHES TO THE 80-TH ANNIVERSARY OF THE BIRTH	223