

Ա.Խ. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ, Ն.Հ. ՉՈՒԽԱԶՅԱՆ

**«ՄԱԳԼԵՎ» ԳՆԱՑՔԻ ԿԱՌԱՅԻ ԷԼԵԿՏՐԱՄԱԳՆԻՍԱԿԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ
ՄԱԳՆԻՍԱԿԱՆ ՇՂԹԱՑԻ ՓՈԽԱՐԽՆՄԱՆ ՍԽԵՄԱՆ ԵՎ ՄԱԹԵՄԱՏԻԿԱԿԱՆ
ՄՈԴԵԼԸ**

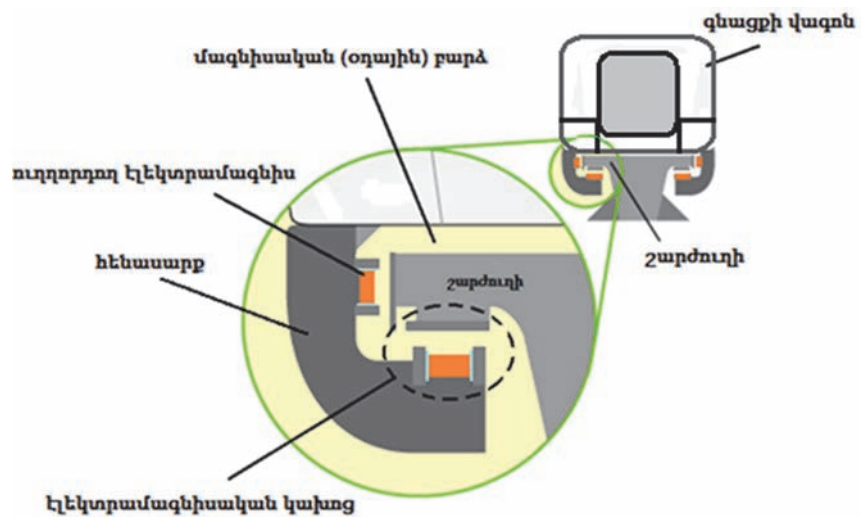
«Մագլև» գնացքի կախոցի էլեկտրամագնիսական համակարգի մաթեմատիկական մոդելը կազմվել է մագնիսական շղթայի փոխարինման սխեմայի հիման վրա: Մխեմայում ցրման մագնիսական հոսքը ներկայացնող զուգահեռ ճյուղերի քանակը որոշվել է ավտոմատացված եղանակով՝ ելնելով խնդրի լուծման ընդունելի ճշգրտությունից: Շղթայի տեղամասերի մագնիսական լարվածությունների արժեքները որոշվել են մագնիսական ինդուկցիայի հայտնի արժեքների միջոցով, նյութի աղյուսակի տեսքով հանձնարարված մագնիսացման կորից՝ այն Լագրանժի 4-րդ կարգի բազմանդամով մոտարկելու ճանապարհով:

Առանցքային բառեր. «մագլև» գնացք, էլեկտրամագնիսական կախոց, մաթեմատիկական մոդել, մագնիսական շղթայի փոխարինման սխեմա, ցրման մագնիսական հոսքի զուգահեռ ճյուղերի քանակ, Լագրանժի բազմանդամ:

«Մագլև» գնացքները շարժուղու նկատմամբ վեր են բարձրացվում էլեկտրամագնիսական կախոցներով և դրա շնորհիվ «ճախրում» են օդային շերտի վրայով: Շարժուղու և գնացքի միջև առաջացած այդ շերտը պայմանականորեն անվանում են «օդային բարձ» կամ «մագնիսական բարձ»: Այս գնացքներն իրենց անվանումը ստացել են “magnetic levitation” բառակապակցությունից, որը թարգմանաբար նշանակում է մագնիսական ճախրանք [1-4]: Նկ. 1-ում պատկերված է «մագլև» գնացքի վազոնը, որին շարժուղուց բաժանում է «մագնիսական բարձը»: Ինչպես տեսնում ենք, էլեկտրամագնիսական կախոցի մագնիսալարը կառավարման փաթույթի հետ միասին տեղադրված է գնացքի հենասարքի վրա, իսկ խարիսխն ամրացված է շարժուղուն (կախոցի կառուցվածքային սխեման և հիմնական չափերը տրված են նկ. 2-ում): Հենասարքին ամրացված է նաև ուղղորդող էլեկտրամագնիսի մագնիսալարը՝ կառավարման փաթույթի հետ միասին, որը նախատեսված է շարժուղու նկատմամբ գնացքի դեպի աջ կամ ձախ շարժումները սահմանափակելու համար:

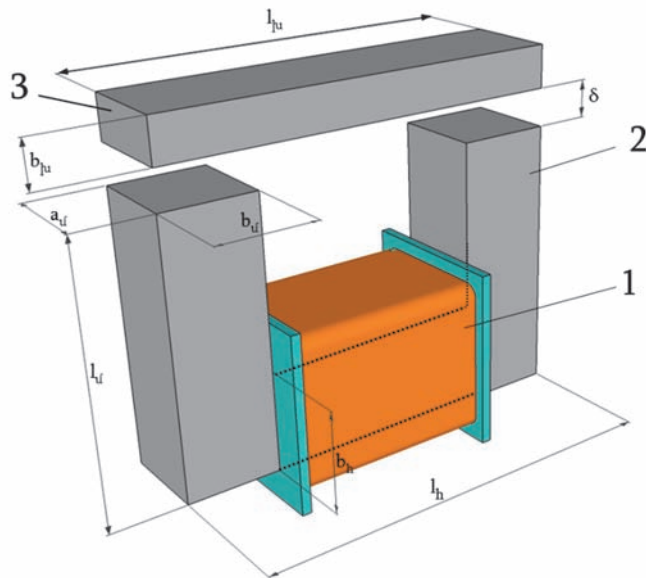
Ինչպես ցանկացած էլեկտրամագնիսական համակարգի, այնպես էլ «մագլև» գնացքների էլեկտրամագնիսական կախոցների ուսումնասիրության, հաշվարկի և նախագծման, այդ թվում՝ ավտոմատացված նախագծման եղանակների մշակման տեսանկյունից կարևոր նշանակություն ունի դիտարկվող համակարգի մաթեմատիկական մոդելը: [4] աշխատությունում կախոցի մաթեմատիկական մոդելը

ստանալու համար կառուցվել է էլեկտրամագնիսական համակարգի մագնիսական շղթայի փոխարինման սխեման, որտեղ զուգահեռ տեղադրված միջուկների միջև հոսող և դրանց երկարությամբ բաշխված ցրման մագնիսական հոսքը ներկայացված է երեք զուգահեռ ճյուղերով ու համապատասխան հոսքերով: Իրականում այդ ճյուղերի քանակը կարող է լինել՝ սկսած 0-ից, երբ ցրման հոսքերը անտեսվում են մինչև մեծ քանակությամբ ճյուղեր, երբ մագնիսական շղթայի փոխարինման սխեման հնարավորինս «մոտեցվում» է իրական՝ բաշխված ցրման մագնիսական հոսքով համակարգին՝ էլնելով փոխարինման սխեման կազմող հետազոտողի մասնագիտական փորձից և խնդրի լուծման առանձնահատկություններին [5]:



Նկ.1. «Մագլև» զնացքի վագոնը շարժուղու վրա

Ակնհայտ է, որ բոլոր դեպքերում անհրաժեշտ է առաջնորդվել խնդրի լուծման պահանջվող (բավարար) ճշգրտությունն ապահովելու պայմանով: Այս հողվածում առաջարկվում է զնացքի կախոցի էլեկտրամագնիսական համակարգի մագնիսական շղթայի փոխարինման սխեմայում ցրման հոսքերի զուգահեռ ճյուղերի մի ինչ-որ ո քանակի ավտոմատացված որոշման եղանակ՝ ցրման հոսքի հաշվառման հայտարարված (ընդունելի) ճշգրտության պահպանումով:

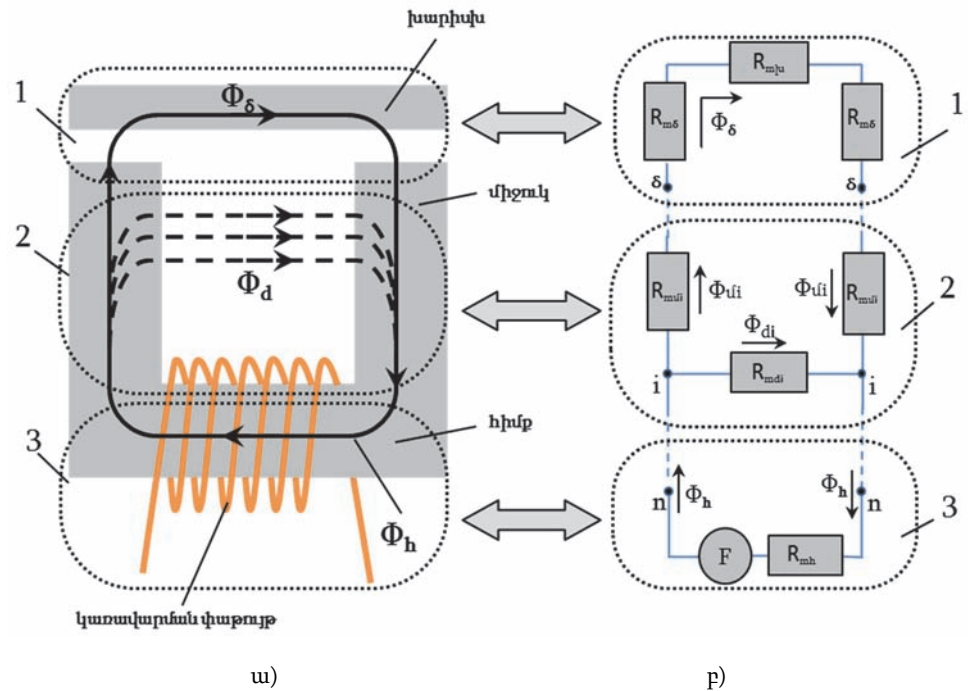


Նկ.2. Էլեկտրամագնիսական կախոցի կառուցվածքային սխեման.

1-կառավարման փաթույթ (տեղադրված է մագնիսալարի հիմքի վրա), 2- միջուկ, 3- խարիսխ,
 l_{hu} – խարսխի երկարությունը, b_{hu} – խարսխի հաստությունը, a_d – միջուկի հաստությունը,
 b_d – միջուկի լայնությունը, l_d – միջուկի երկարությունը, l_h – հիմքի երկարությունը,
 b_h – հիմքի հաստությունը, δ – աշխատանքային օդային բացակների չափերը
 (երկարությունները)

Նկ. 3-ում պատկերված են էլեկտրամագնիսական կախոցի մագնիսական շղթան (α) և դրա փոխարինման սխեման (ρ): Ընդ որում, փոխարինման սխեման պայմանականորեն ներկայացված է երեք (1, 2 և 3) բնութագրական տեղամասերով: Վերին (1-ին) հատվածն ընդգրկում է օդային աշխատանքային բացակներն ու խարիսխը՝ Φ_δ մագնիսական հոսքով և խարսխի $R_{m\chi}$ ու օդային բացակների $R_{m\delta}$ մագնիսական դիմադրություններով: Սխեմայի միջին (2-րդ) տեղամասում մագնիսալարի միջուկների միջև հոսում է ցրման հոսքը, որը, ինչպես նշել ենք, սխեմայում կարող է ներկայացվել 0-ից մինչև մի ինչ-որ n քանակությամբ զուգահեռ ճյուղերով: Նկ. 3բ-ի սխեմայի դիտարկվող հատվածում ներկայացվել են ցրման հոսքի ընթացիկ i -րդ զուգահեռ ճյուղը և միջուկների՝ դրան համապատասխանող հատվածները: Այստեղ Φ_{di} -ն միջուկների տվյալ հատվածներով անցնող մագնիսալարի հոսքն է, Φ_{di} -ն՝ ցրման հոսքի i -րդ զուգահեռ ճյուղի հոսքը, R_{mfi} -ն՝ միջուկների համապատասխան հատվածների մագնիսական դիմադրությունը, R_{mdi} -ն՝ ցրման հոսքի i -րդ զուգահեռ ճյուղի մագնիսական դիմադրությունը: Փոխարինման սխեմայի երրորդ՝ ստորին հատվածում, հիմքի մագնիսալարի R_{mh} մագնիսական

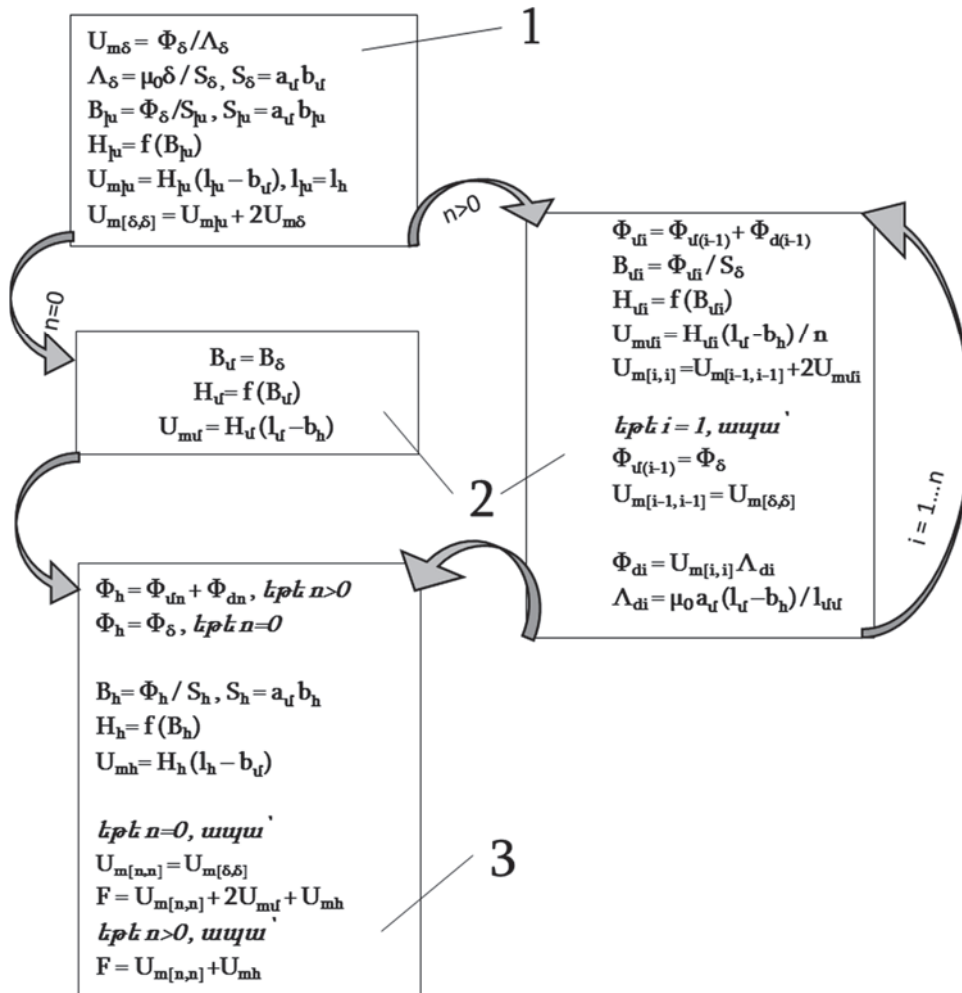
դիմադրությունն է, որով հոսում է հիմքի Φ_h մագնիսական հոսքը, իսկ կառավարման փաթույթի մագնիսաշարժ ուժն ($U\tau\Omega F$) այստեղ նշված է F -ով (նկ. 3 բ):



Նկ.3. Մագնիսական շղթան (ա) և դրա փոխարինման սխեման (բ)

Նկ. 4-ում ներկայացված են մագնիսական շղթան նկարագրող բանաձևերը, որոնք կազմվել են հայտնի մաթեմատիկական արտահայտությունների [4-7] հիման վրա՝ մագնիսական շղթայի ուղիղ խնդրի լուծման հաջորդականությամբ [4-7]: Այս բանաձևերի համախուսմբը կարող է դիտարկվել որպես կախոցի էլեկտրամագնիսական համակարգի վերջնականորեն ձևավորված մաթեմատիկական մոդել, եթե որոշվել է ցրման մագնիսական հոսքի զուգահեռ ճյուղերի $n=i$ քանակը:

Նկ.4 -ի բանաձևերը խմբավորված և առանձնացված են 1-3 ուղղանկյուն շրջանակներում, որոնք համապատասխանում են մագնիսական շղթայի 1-3 տեղամասերին:



Նկ. 4. Մագնիսական շղթան նկարագրող մաթեմատիկական արտահայտությունների համախումբը

Այսպես, 1-ին շրջանակում Φ_{δ} -ն մագնիսական հոսքն է օդային բացակում, որի արժեքը հայտնի է դիտարկվող խնդրի լուծման պարագայում. այն կարող է որոշվել բացակում B_{δ} մագնիսական ինդուկցիայի հայտնի (ընտրված) արժեքի միջոցով՝ $\Phi_{\delta} = B_{\delta} S_{\delta}$, S_{δ} -ն օդային բացակի (միջուկի) լայնական հատույթի մակերեսն է, μ_0 -ն՝ վակուումի մագնիսական թափանցելիությունը, Λ_{δ} -ն՝ բացակի մագնիսական հաղորդականությունը, S_{δ} -ն՝ խաբսիխի լայնական հատույթի մակերեսը, B_{δ} -ն՝ մագնիսական ինդուկցիան խաբսիխում, $U_{m\delta}$ -ն՝ մագնիսական պոտենցիալների տարբերությունը խաբսիխում, $U_{m[\delta,\delta]}$ -ն՝ մագնիսական պոտենցիալների տարբերությունը շղթայի δ - δ կետերի միջև (նկ. 3 բ): Նշենք, որ այստեղ, ինչպես և ստորև

դիտարկվող դեպքերում, մագնիսական լարվածությունը (տվյալ դեպքում՝ $H_{\parallel}$) որոշվում է էլեկտրամագնիսի մագնիսալարի դիտարկվող տեղամասի նյութի մագնիսացման $B(H)$ կորից [5]՝ ինդուկցիայի հայտնի արժեքով (տվյալ դեպքում՝ $B_{\parallel}$)։ Ի տարբերություն [7] աշխատության, որտեղ նշված խնդրի ավտոմատացված լուծման համար կիրառվում է կտոր-գծային մոտարկման մեթոդը, այստեղ առաջարկվում է լարվածության արժեքը որոշել $B(H)$ -ի Լագրանժի 4-րդ կարգի բազմանդամով մոտարկված $B_4(H)$ տեսքով [8].

$$B_4(H) = \sum_{i=0}^4 \frac{\prod_{j=0}^n (H-H_j)}{\prod_{j=0}^n (H_i-H_j)} B_i, \quad (1)$$

որտեղ H_i -ն մագնիսական լարվածության արժեքն է ինդուկցիայի հայտնի B_i արժեքի դեպքում։ $H_i, B_i, i=1..4$ արժեքները տվյալ նյութի համար տրվում են աղյուսակի տեսքով։

Նկ. 4-ում մագնիսական շղթայի 2-րդ տեղամասը ներկայացված է երկու տարբեր շրջանակներում ամփոփված արտահայտություններով, երբ $n=0$ և $n>0$ ։ Առաջին դեպքում $B_{\parallel}$ և $H_{\parallel}$ -ն համապատասխանաբար ինդուկցիան և լարվածությունն են միջուկներում, $U_{m\parallel}$ -ն՝ մագնիսական պոտենցիալների տարբերությունը միջուկների վրա։ Երկրորդ դեպքում $\Phi_{\parallel i}$ -ն և $\Phi_{\parallel(i-1)}$ -ը համապատասխանաբար միջուկների i -րդ և $(i-1)$ -րդ հատվածների մագնիսական հոսքերն են, $B_{\parallel i}$ -ն և $H_{\parallel i}$ -ն՝ համապատասխանաբար ինդուկցիան և լարվածությունը միջուկների i -րդ հատվածներում, $\Phi_{\parallel i}$ -ն և $\Phi_{\parallel(i-1)}$ -ը՝ ցրման հոսքերը միջուկների համապատասխանաբար i -րդ և $(i-1)$ -րդ հատվածներում, $\Lambda_{\parallel i}$ -ն՝ միջուկների i -րդ հատվածի ցրման հոսքի մագնիսական հաղորդականությունը, $U_{m\parallel i}$ -ն, $U_{m[i,i]}$ -ն և $U_{m[i-1,i-1]}$ -ը՝ մագնիսական պոտենցիալների տարբերությունները համապատասխանաբար միջուկների i -րդ հատվածների վրա և մագնիսական շղթայի $i-i$ կետերի և $(i-1)-(i-1)$ կետերի միջև։

Մագնիսական շղթայի 3 -րդ տեղամասին հապատասխանող շրջանակում (նկ. 4) $\Phi_{\parallel}$ -ն, $B_{\parallel}$ -ն, $H_{\parallel}$ -ն , $U_{m\parallel}$ -ն համապատասխանաբար մագնիսալարի հոսքը, ինդուկցիան, լարվածությունը և մագնիսական պոտենցիալների տարբերությունն են հիմքում, $U_{m[n,n]}$ -ը՝ մագնիսական պոտենցիալների տարբերությունը մագնիսական շղթայի $n-n$ կետերի միջև (երբ $i=n$), F -ը՝ կառավարման փաթույթի ՄՇՈՒ-ն։

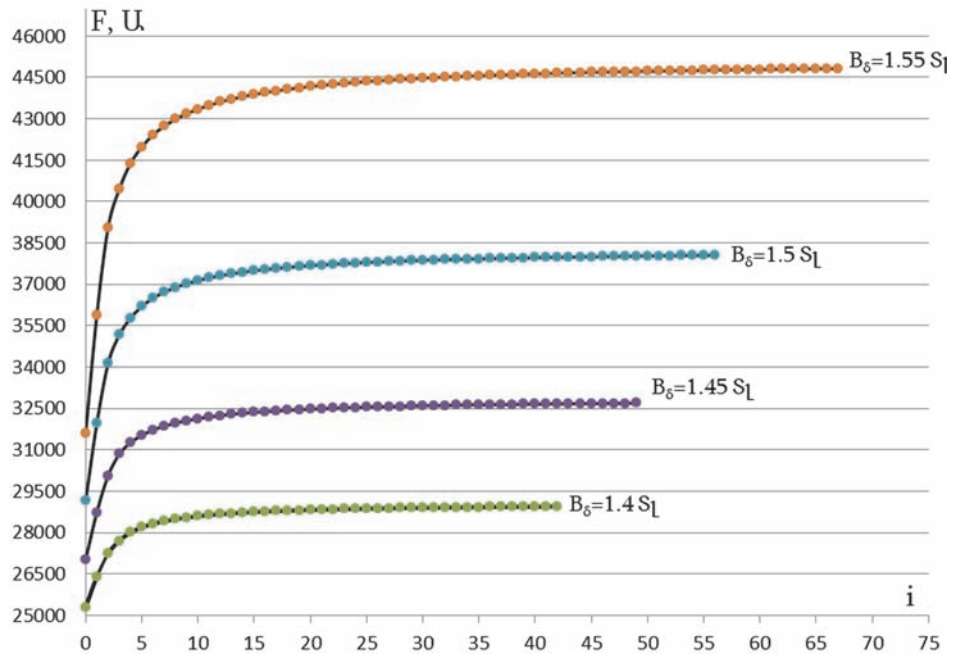
Մագնիսական շղթայի փոխարինման սխեմայում միջուկների միջև ցրման հոսքերի զուգահեռ ճյուղերի ընդունելի քանակը պարզելու և դրանով իսկ դիտարկվող մագնիսական շղթայի ուղիղ խնդիրը լուծելու՝ F ՄՇՈՒ-ի փնտրվող արժեքը որոշելու նպատակով, խնդրի ավտոմատացված լուծման յուրաքանչյուր հերթական քայլում՝ i -ի ընթացիկ արժեքի համար, ստուգվում է հետևյալ պայմանը.

$$\frac{F_i - F_{i-1}}{F_{i-1}} \leq \varepsilon, \quad (2)$$

որտեղ F_i -ն և $F_{(i-1)}$ -ը ՄՇՈԻ-ի հաշվարկված արժեքներն են ցրման հոսքի զուգահեռ ճյուղերի i և $(i-1)$ քանակների համար ($F_i > F_{(i-1)}$), իսկ ε -ը՝ մի ինչ-որ ընտրված թիվ, որն ընդունելի է խնդրի լուծման ճշգրտության տեսանկյունից:

Խնդիրը համարվում է լուծված, երբ հերթական i -ի համար բավարարվում է (2) պայմանը, հայտնի է դառնում ցրման մագնիսական հոսքերի զուգահեռ ճյուղերի քանակը, և վերջնականորեն ձևավորվում է համակարգի մաթեմատիկական մոդելը, F_i -ն ընդունվում է որպես F ՄՇՈԻ-ի հաշվարկային արժեք, իսկ շղթայի մյուս բնութագրական մեծությունների ընթացիկ արժեքները՝ որպես խնդրի լուծման արդյունքներ: Ակնհայտ է, որ որքան փոքր լինի ε -ը, այնքան ավելի ճշգրիտ հաշվառված կլինի շղթայի ցրման հոսքը, և, համապատասխանաբար, այնքան ավելի ճշգրիտ կլինի խնդրի լուծումը: Սակայն նկատի ունենալով, որ դիտարկվող խնդրի լուծման յուրաքանչյուր ընթացիկ քայլում i -ի հերթական արժեքի համար ավելի ու ավելի է փոքրանում $F_i - F_{(i-1)}$ տարբերությունը, տրամաբանական է ընտրել ε -ի մի ինչ-որ ընդունելի արժեք և դրանով իսկ սահմանափակել զուգահեռ ճյուղերի n քանակը:

Նկ. 5-ում, որպես օրինակ, պատկերված են F ՄՇՈԻ-ի արժեքի հաշվարկային կախվածությունները ցրման հոսքի զուգահեռ ճյուղերի քանակից՝ $\delta=0,01$ Մ, $l_{\text{մ}}=0,48$ Մ, $b_{\text{մ}}=0,12$ Մ, $a_{\text{մ}}=0,14$ Մ, $b_{\text{մ}}=0,14$ Մ, $l_{\text{մ}}=0,56$ Մ, $l_{\text{ն}}=0,48$ Մ, $b_{\text{ն}}=0,16$ Մ, $\varepsilon=0,01$ արժեքների, մագնիսալարի «պողպատ 10» նյութի և աշխատանքային օդային բացակում B_0 մագնիսական ինդուկցիայի 1,4 ՏՂ, 1,45 ՏՂ, 1,5 ՏՂ, 1,55 ՏՂ արժեքների համար: Ինչպես երևում է գրաֆիկից, ε -ի հանձնարարված արժեքի դեպքում խնդրի լուծումը դադարացվել է ցրման հոսքի զուգահեռ ճյուղերի համապատասխանաբար $n=42, 49, 56, 67$ քանակների դեպքում: Հատկանշական է, որ ճյուղերի քանակի 0-ից մինչև n աճի պարագայում F -ի արժեքը ճշգրտվել և աճել է համապատասխանաբար 14, 20, 30,4 և 41,8 %-ով: Բնականաբար, ճշգրտվել են նաև մագնիսական շղթայի մյուս բնութագրական մեծությունների արժեքները:



Նկ. 5. *F* ՄՇՈՒ-ի հաշվարկային արժեքի կախվածությունները *g*րման հոսքի զուգահեռ ճյուղերի քանակից

Այսպիսով, կախողի էլեկտրամագնիսական համակարգի մագնիսական շղթայի փոխարինման սխեմայում, որի հիման վրա ձևավորվում է համակարգի մաթեմատիկական մոդելը, *g*րման մագնիսական հոսքի զուգահեռ ճյուղերի քանակը որոշվում է ավտոմատացված եղանակով՝ ելնելով խնդրի լուծման համար ընդունելի (հանձնարարված) ճշգրտությունից:

Աշխատանքը կատարվել է Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարանի «Էլեկտրամագնիսական համակարգեր» բաժանի գիտահետազոտական լաբորատորիայում:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Գրիգորյան Ա.Խ., Ապետյան Ն.Ց.** Մագնիսական բարձով արագընթաց գնացքներ // Գիտության աշխարհում. - 2017. - 1.- էջ 58-62:
2. **Hyung-Woo Lee, Ki-Chan Kim, Ju Lee.** Review of Maglev Train Technologies Korea// IEEE Transactions on Magnetics.- 2006. - Vol. 42, N 7.-P. 1917-1925.
3. **Min Kim, Jae-Hoon Jeong, Jaewon Lim, Chang-Hyun Kim, Mooncheol Won** Design and Control of Levitation and Guidance Systems for a Semi-High-Speed Maglev Train // Journal of Electrical Engineering and Technology.- 2017. - N 12(1). – P. 117-125.

4. **Գրիգորյան Ա.Խ., Ավետիսյան Ա.Գ, Շահբազյան Ա.Ա, Ապետյան Ն.Ց.** Էլեկտրամագնիսական կախոցի ավտոմատացված նախագծման համակարգ //ՀՀ ԳԱԱ և ՀԱՊՀ Տեղեկագիր. Տեխնիկական գիտությունների սերիա. – 2016. - Հ. LXIX, N 3. - էջ 315-325:
5. Электрические и электронные аппараты: Учебник для вузов /Под ред. **Ю.К. Розанова**. - 2-е изд., испр. и доп. –М.: Информэлектро, 2001. -420с.
6. **Буль Б.К., Буль О.Б., Азанов В.А., Шофра В.Н.** Электромеханические аппараты автоматики. –М.: Высшая школа, 1988. -304с
7. **Գրիգորյան Ա.Խ., Աղջոյան Գ.Ա., Մելքոնյան Տ. Ռ., Չուխաջյան Ն.Հ.** Մագնիսական ավարվող կախոցի էլեկտրամագնիսական համակարգի մաթեմատիկական մոդելավորումը և բնութագրերի որոշումը //ՀՀ ԳԱԱ և ՀԱՊՀ Տեղեկագիր, Տեխնիկական գիտությունների սերիա. -2017. - Հ. LXX, N 4. - էջ 439-449:
8. **Միմոնյան Ս.Հ.** Հաշվողական մեթոդների կիրառական տեսություն. – Երևան: Ճարտարագետ, 2009. -204 էջ:

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 05.02.2019:

А.Х. ГРИГОРЯН, Н.Г. ЧУХАДЖЯН

СХЕМА ЗАМЕЩЕНИЯ МАГНИТНОЙ ЦЕПИ И МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ ПОДВЕСА ПОЕЗДА “МАГЛЕВ”

На основе схемы замещения магнитной цепи составлена математическая модель электромагнитной системы подвеса поезда “маглев”. В схеме число параллельных ветвей, представляющих магнитный поток рассеяния, определяется автоматизированным способом, исходя из приемлемой точности решения задачи. По известным значениям магнитной индукции определяются значения магнитной напряженности на отдельных участках цепи путем аппроксимации кривой намагничивания материала, заданной в виде таблицы, многочленом Лагранжа 4-й степени.

Ключевые слова: поезд “маглев”, электромагнитный подвес, математическая модель, схема замещения магнитной цепи, количество параллельных ветвей магнитного потока рассеяния, многочлен Лагранжа.

A.Kh. GRIGORYAN, N.H. CHUKHAJYAN

**THE EQUIVALENT SCHEME OF A MAGNETIC CIRCUIT AND A
MATHEMATICAL MODEL OF THE ELECTROMAGNETIC SYSTEM OF THE
MAGLEV TRAIN SUSPENSION**

The mathematical model of the electromagnetic system of the maglev train suspension is developed on the basis of the magnetic circuit equivalent scheme. The number of parallel branches in the scheme, representing the scattering magnetic flux between the system's cores is determined automatically based on the acceptable accuracy of the solution of the problem. The values of magnetic intensity in certain parts of the circuit are determined by approximating the material magnetization curve. The approximation is carried out by the Lagrange polynomial of the 4th degree by using the known values of magnetic induction which are given in the form of a table.

Keywords: maglev train, electromagnetic suspension, mathematical model, magnetic circuit equivalent scheme, the number of parallel branches of the magnetic flux of dispersion, Lagrange polynomial.