

ԷՆԵՐԳԵՏԻԿԱ, ԷԼԵԿՏՐԱՏԵԽՆԻԿԱ

ԷԼԵԿՏՐԱՏԵԽՆԻԿԱ, ԷԼԵԿՏՐԱԷՆԵՐԳԵՏԻԿԱ

ՀՏԴ 621.313

Մ.Ա. ՍԱՂԱԹԵԼՅԱՆ

**ՍԻՆՔՐՈՆ ՀԻԴՐՈԱԳՐԵԳԱՏԻ ԱՐՏԱՔԻՆ ԴԵՄՊՖԵՐԱՅԻՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ
ՆԱԽԱԳԾՄԱՆ ԸՆԴՀԱՆՐԱՑՎԱԾ ՄՈՏԵՑՈՒՄ**

Ներկայացված է փոքր հիդրոէլեկտրակայաններում օգտագործվող հիդրոագրեգատ: Բերված են կոմպակտ հիդրոագրեգատի բաղկացուցիչ մասերի կիրառման հիմնավորումները: Ուսումնասիրված են կոմպակտ հիդրոագրեգատում թափանցիկ կիրառման անհրաժեշտությունն ու հնարավորությունը: Ներկայացված է թափանցիկ որպես հիդրոագրեգատի արտաքին դեմպֆերային համակարգ կիրառելու հնարավորությունը: Բերված է արտաքին դեմպֆերային համակարգի նախագծման մոտեցումը:

Առանցքային բառեր. փոքր հզորության հիդրոագրեգատ, թափանցիկ, սինքրոն գեներատոր, դեմպֆերային փաթույթ, արտաքին դեմպֆերային համակարգ, զանգվածային ռոտոր, ասինքրոն մեքենա, կոմպլեքս մագնիսական դիմադրություն, հաշվարկային մեթոդիկա:

Ներածություն. Փոքր հիդրոէլեկտրակայանները (ՓՀԷԿ), որոնք ունեն մինչև 10 ՄՎտ հզորություն, լայնորեն կիրառվում են ամբողջ աշխարհում: Փոքր հիդրոէներգետիկայի զարգացմանը զուգընթաց՝ առաջ է գալիս համալիրի արդյունավետությունը բարձրացնելու համար նոր լուծումներ գտնելու անհրաժեշտություն: Լեռնային տեղանքներում տեղադրվող փոքր հիդրոագրեգատներին համապատասխանող ցածր ճնշումների և արագությունների դեպքում կիրառվում են համապատասխան՝ ցածր արագությամբ, հիմնականում սինքրոն գեներատորներ, որոնք այդ արագությունների դեպքում ունենում են համեմատաբար մեծ գաբարիտային չափեր: ՓՀԷԿ-երում, ելնելով էլեկտրաէներգետիկական և շինմոնտաժային նկատառումներից, նպատակահարմար է օգտագործել բարձր արագությամբ և փոքր գաբարիտային չափերով ու զանգվածով հզոր գեներատորներ, որոնք նաև ունեն ցածր ինքնարժեք: Սակայն պտտման բարձր հաճախությունները բնութագրական են միայն բարձր ճնշմամբ և փոքր հզորությամբ հիդրոտուրբիններին: Ցածր ճնշման տուրբիններն ունեն 125...300 պտ/ր պտտման արագություններ: Նման դեպքում հիդրոտուրբինի և գեներատորի միջև տեղադրվում է մուլտիպլիկատոր, որի միջոցով գեներատորին փոխանցվող պտտման արագությունը մեծացվում է: Ելնելով նշվածից, կիրառվում է պտտման ավելի

մեծ արագությամբ գեներատոր: Մուլտիպլիկատորի կիրառությունը հնարավորություն է տալիս օգտագործել փոքր գաբարիտային չափեր և ցածր արժեք ունեցող գեներատոր, բացի այդ, նաև ընտրել հիդրոտուրբինի պտտման օպտիմալ արագություն՝ արդյունավետ փոխանցման հարաբերություն ընտրելու ճանապարհով [1,2]: Գեներատորի գլխավոր չափերը, խարսխի D տրամագիծն ու l երկարությունը, որոշում են մեքենայի մնացած բոլոր չափերը: Դրանցից կախված են մեքենայի զանգվածը, արժեքը և տեխնիկատնտեսական բնութագրերը [3]: Մեքենայի գլխավոր չափերը կախված են հզորությունից, պտտման արագությունից և էլեկտրամագնիսական բեռնվածքներից: Հիդրոգեներատորների համար դրանց ընտրությունը կատարվում է տրված GD^2 թափքի մոմենտ ապահովելու անհրաժեշտությամբ:

Փոքր զանգվածագաբարիտային պարամետրերով սինքրոն գեներատորի կիրառման պարագայում հիդրոագրեգատի թափքի մոմենտը, ինչպես նաև կայունությունը կարելի է մեծացնել թափանձի տեղադրմամբ: Թափանձի վրա հնարավորություն է տալիս մեծացնել հիդրոագրեգատի կանգառի ժամանակը, թափառքի արագությանը հասնելու ժամանակը, ինչպես նաև ապահովում է հիդրոագրեգատի անհրաժեշտ թափքի մոմենտը: Թափանձով կարելի է ղեկավարել հիդրոագրեգատի արագացումը, ինչպես նաև հիդրոհամակարգում անցումային պրոցեսները: Հիդրոագրեգատում թափանձի առկայության պարագայում թափքի մոմենտը հավասար է գեներատորի և թափանձի թափքի մոմենտների գումարին: Թափանձի վրա հանդիսանում է նաև հիդրոագրեգատի տատանումները հանգստացնող մեխանիկական դեմպֆեր [1,4]: Բացի մեխանիկական դեմպֆերից, թափանձի վրա կարող է օգտագործվել նաև որպես արտաքին էլեկտրամագնիսական դեմպֆերային համակարգ [5]:

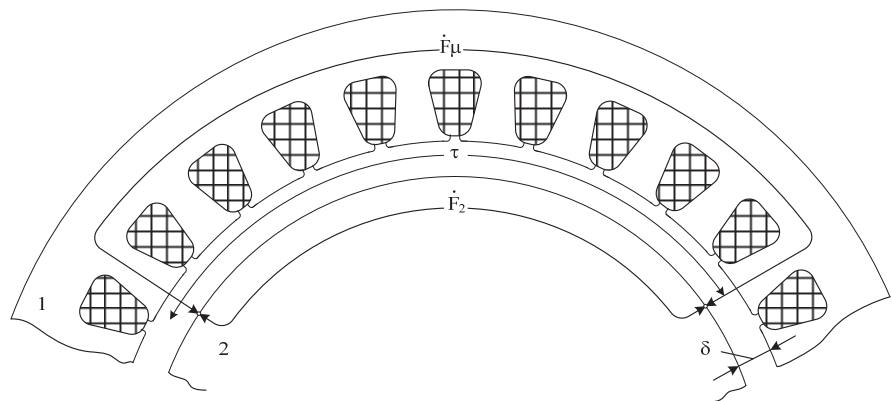
Այսպիսով, կարելի է ասել, որ փոքր գաբարիտային չափեր ունեցող կոմպակտ հիդրոագրեգատը, որն ունի համեմատաբար պտտման բարձր արագություն, բաղկացած է հիդրոտուրբինից, մուլտիպլիկատորից, թափանձից և սինքրոն գեներատորից, ապահովում է հիդրոագրեգատի և ամբողջ համակարգի նվազագույն չափերն ու ինքնարժեքը, ինչն էլ ավելի արժեքավոր է լեռնային և դժվարհասանելի տարածաշրջաններում ՓՀԵԿ-ի կառուցման և տեղակայման համար [2]:

Աշխատանքի նպատակն է կոմպակտ հիդրոագրեգատում տեղադրվող թափանձի՝ որպես հիդրոագրեգատի արտաքին դեմպֆերային համակարգի կիրառման նախագծման մեթոդի ներկայացումը:

Փոքր հիդրոագրեգատի համակարգում թափանձի վրա տեղադրվում է հիդրոգեներատորի լիսեռի ազատ ծայրին մուլտիպլիկատորի և գեներատորի միջև:

Դա նշանակում է, որ թափանցի երկարությունը հայտնի է և մոտավորապես հավասար է գեներատորի ազատ ծայրի մեծությանը: Անհրաժեշտ թափքի մոմենտ ապահովելու համար անհրաժեշտ է ընտրել թափանցի տրամագիծը՝ իր երկարությանը համապատասխան:

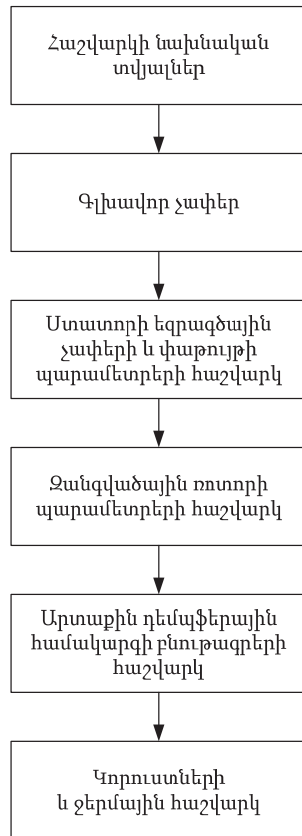
Թափանցիլը՝ որպես արտաքին էլեկտրամագնիսական համակարգ, կարելի է ներկայացնել՝ նրա վրա տեղադրելով ասինքրոն մեքենայի ստատոր, ինչի հետևանքով թափանցիլը կներկայացնի զանգվածային ռոտորով ասինքրոն մեքենա, որտեղ թափանցիլը կհանդիսանա զանգվածային ռոտոր (նկ. 1): Հիդրոագրեգատի արտաքին դեմպֆերային համակարգն աշխատում է «զուգահեռ» սինքրոն գեներատորի դեմպֆերային փաթույթի հետ և ունի նույն ֆիզիկական էությունը: Սինքրոն գեներատորի տատանումների ժամանակ արտաքին դեմպֆերային համակարգը ստեղծում է ասինքրոն մոմենտ, որը տատանողական պրոցեսի ժամանակ ունի ռոտորի շարժման հակառակ ուղղություն: Ներքին դեմպֆերային փաթույթի հետ միասին արտաքին դեմպֆերային համակարգը ձգտում է կայունացնել պտտման սինքրոն արագությունը և նվազեցնել տատանումների ամպլիտուդը [2,5]:



Նկ. 1. Չանգվածային ռոտորով ասինքրոն մեքենայի մագնիսական շղթան.
 1 – ռոտոր, 2 – ստատոր, δ – մեքենայի օղային բացակ, F_{μ} – ստատորի և օղային բացակի մագնիսաշարժ ուժ, F_2 – ռոտորի մագնիսաշարժ ուժ

Արտաքին դեմպֆերային համակարգի ճիշտ նախագծման և պարամետրերի որոշման համար կազմված է դրա՝ զանգվածային ռոտորով ասինքրոն մեքենայի հաշվարկային մեթոդիկան:

Նկ. 2-ում ներկայացված են արտաքին դեմպֆերային համակարգի նախագծման հիմնական բլոկները:



Նկ. 2. Արտաքին դեմպֆերային համակարգի հաշվարկային մեթոդիկայի բլոկ - սխեման

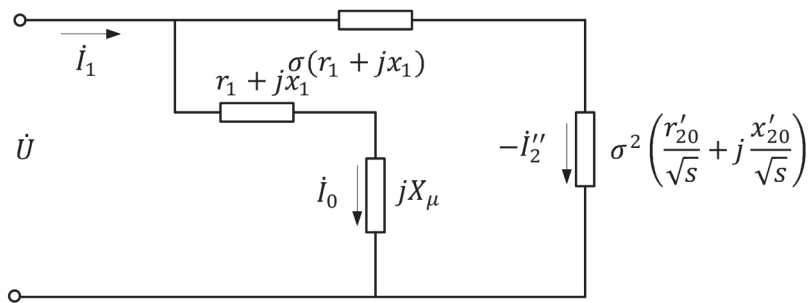
Որպես հաշվարկի նախնական տվյալներ կարող են ընդունվել. U_n – լարումը, m – ֆազերի թիվը, f_1 հաճախությունը, p բևեռների թիվը, D_2 ռոտորի արտաքին տրամագիծը, l_2 ռոտորի երկարությունը: Կախված խնդրի պայմաններից, նախնական հաշվարկային տվյալները կարող են փոփոխվել:

Քանի որ կոմպակտ հիդրոագրեգատում, ինչպես արդեն նշվել է, հայտնի են թափանցի չափերը, հետևապես, հայտնի են նաև զանգվածային ռոտորով ասինքրոն մեքենայի գլխավոր չափերը: Մեքենայի ստատորը հաշվարկվում է նորմալ ասինքրոն մեքենայի ստատորի հաշվարկի համաձայն՝ ըստ գոյություն ունեցող հայտնի հաշվարկային մեթոդիկաների: Այս պարագայում մեքենայի հաշվարկն անհրաժեշտ է սկսել ստատորի ներքին տրամագիծը որոշելուց: Ընտրվում են էլեկտրամագնիսական բեռնվածքները, որոնք պայմանավորված են մեքենայի գլխավոր չափերով:

Արտաքին դեմպֆերային համակարգի ստատորի հաշվարկը սկսվում է վերջինիս եզրագծային չափերի հաշվարկից: Որոշվում են ատամների և փո-

րակների չափերը, ընտրվում է հաղորդալար: r_1 և x_1 դիմադրությունները որոշելու համար որոշվում են ստատորի ճակատային մասերի երկարությունն ու բարձրությունը [3,6]:

Չանգվածային ռոտորի պարամետրերի հաշվարկը, տարբեր աշխատանքային ռեժիմների դեպքում, կարող է իրականացվել զանգվածային մագնիսալարի կոմպլեքս մագնիսական դիմադրություն հասկացության կիրառմամբ՝ փոխարինման սխեմաների հիման վրա (նկ. 3): Մշակված հաշվարկային մեթոդիկայում, համաձայն [7,8]-ի, կիրառվում է լրիվ կոմպլեքս մագնիսական դիմադրության հասկացությունը:



Նկ. 3. Չանգվածային ռոտորով ասինքրոն մեքենայի ճշգրտված Դաճև փոխարինման սխեման.

U – լարում, I_1 – ստատորի հոսանք, I_0 – մագնիսացնող ճյուղի հոսանք, $-I_2''$ – գլխավոր ճյուղի հոսանք, r_1 – ստատորի ակտիվ դիմադրություն, x_1 – ստատորի ռեակտիվ դիմադրություն, r'_{20} – ռոտորի բերված ակտիվ դիմադրություն, երբ $s=1$, x'_{20} – ռոտորի բերված ռեակտիվ դիմադրություն, երբ $s=1$, σ – ճշգրտման գործակից

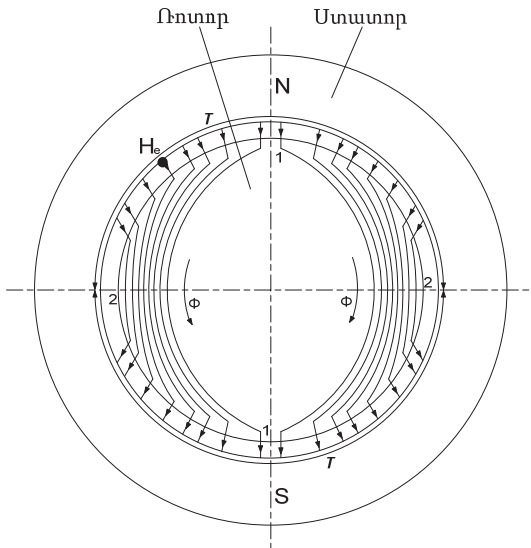
Մագնիսալարի Z կոմպլեքս մագնիսական դիմադրությունը ներկայացնում է մագնիսաշարժ ուժի ամպլիտուդի F կոմպլեքս արժեքի, որն ազդում է տվյալ մագնիսալարի վրա, և այդ մագնիսալարով անցնող Φ մագնիսական հոսքի ամպլիտուդի անվանական արժեքի հարաբերությունը՝

$$Z = \frac{F}{\Phi} = R + jX, \quad (1)$$

որտեղ R բնութագրում է մրկային հոսանքներով պայմանավորված կորուստների ռեակտիվ հզորությունը, իսկ X -ը՝ ակտիվ հզորությունը:

Նկ. 4-ում բերված է մագնիսական հոսքի ճանապարհը զանգվածային ռոտորում, որն ավելի պարզ է դարձնում (1) արտահայտության ֆիզիկական իմաստը: Չանգվածային ռոտորի կոմպլեքս մագնիսական դիմադրության կիրառությունը բարդանում է այն հանգամանքով, որ փոփոխական մագնիսական հոսքի մեծությունը չի մնում հաստատուն բոլոր երկայնական հատույթներով: Հոսքը հավասար

է 0-ի 1-1 կտրվածքում և հասնում է իր առավելագույն արժեքին 2-2 կտրվածքում (նկ. 4):



Նկ. 4. Չանգվածային ռոտորում մագնիսական հոսքի անցման ճանապարհի պարզեցված սխեման

Կոմպլեքս մագնիսական դիմադրության արտահայտությունը հատկանաշական է նրանով, որ այն հաշվի է առնում մագնիսական թափանցելիության ոչ հաստատուն լինելը, մրրկային հոսանքներով և հիստերեզիսով պայմանավորված կորուստները և կիրառելի է գործնականորեն օգտագործվող բոլոր ֆերոմագնիսական նյութերի դեպքում: Համաձայն [8]-ի՝ բերված արտահայտությունն ապահովում է բավականաչափ բարձր ճշտություն, եթե մագնիսական դաշտի H_e լարվածությունը մագնիսալարի մակերեսին մեծ է H մագնիսական լարվածության այն արժեքեից, որի դեպքում μ մագնիսական թափանցելիությունն առավելագույնն է:

Գործնական հաշվարկների համար ներածված է միավոր կոմպլեքս մագնիսական դիմադրություն հասկացությունը: Այն ներկայացնում է մագնիսալարի դիմադրությունը, երբ $\frac{l}{u} = 1, f = 1$:

$$Z_{(1)} = \dot{A} \sqrt{\frac{\gamma}{\mu_e}}, \quad (2)$$

որտեղ $\dot{A} = 1,13 + j1,85$, l -ը մագնիսական ինդուկցիայի վեկտորի ուղղությամբ մագնիսական շղթայի երկարությունն է, u -ն՝ դրա լայնական հատույթի կտրվածքը, f -ը՝ վերամագնիսացման հաճախությունը, γ -ը՝ մագնիսալարի նյութի հարաբեր-

րական էլեկտրական հաղորդականությունը, μ_e -ն՝ մագնիսալարի մագնիսական թափանցելիության արժեքը, որը համապատասխանում է մագնիսալարի մակերեսին մագնիսական դաշտի H_e լարվածությանը:

Պարամետրերի հետազոտությունների և հաշվարկների ժամանակ մի շարք դեպքերում նպատակահարմար է կիրառել նաև զանգվածային հաղորդիչների էլեկտրական դիմադրությունները՝ հաշվի առնելով մակերևութային էֆեկտը: Համաձայն [8]-ի, ֆերոմագնիսական նյութից ուղղագիծ հոսանքատար զանգվածային մասերի համար կարելի է գրել միավոր էլեկտրական դիմադրությունը մակերևութային էֆեկտի կտրուկ առաջացման ժամանակ՝

$$Z_{(1)} = \hat{G} \sqrt{\frac{\mu_e}{\gamma}}, \quad (3)$$

որտեղ $\hat{G} \cong 2,50 + j1,50$:

Զանգվածային ռոտորի պարամետրերի հաշվարկից հետո որոշվում են զանգվածային ռոտորով ասինքրոն մեքենայի բնութագրերը, մասնավորապես՝ մեքենայի M մոմնտի կախվածությունը s սահքից:

Զանգվածային ռոտորով ասինքրոն մեքենայի հաշվարկի հայտնի մեթոդները հնարավորություն են տալիս հաշվարկել մեքենայի բնութագրերն ըստ կետերի, սակայն դրանք հնարավորություն չեն տալիս կատարել զանգվածային ռոտորով ասինքրոն մեքենայի հատկությունների վերաբերյալ ընդհանրացված եզրակացություններ հզորությունների ու պտտման արագությունների լայն տիրույթում, լուծել դրանց պրակտիկ կիրառության հետ կապված մի շարք հարցեր: Հետազոտություններն ու հաշվարկները բավականաչափ պարզ են դառնում մեքենայի հարաբերական միավորներով արտահայտված բնութագրերի առկայության դեպքում: Հարաբերական միավորների համակարգում որպես բազային ընդունվում են էլեկտրական մեքենան բնութագրող մեծությունների և պարամետրերի անվանական կամ, տվյալ դեպքում, կրիտիկական արժեքները:

Համաձայն նկ. 2-ի՝ մեքենայի նախագծումն ավարտվում է զանգվածային ռոտորով ասինքրոն մեքենայի կորուստների և ջերմային հաշվարկով:

Հաշվարկային բյուկ-սխեմայի մեջ ընդգրկված են գոյություն ունեցող փորձնական որոշ պարամետրերի տվյալներ՝ ֆունկցիաների տեսքով, հաշվի են առնվում ռոտորի մագնիսական համակարգի հազեցվածության աստիճանի փոփոխությունը և եզրային էֆեկտի ազդեցությունը [9], ինչը հնարավորություն է տվել օգտագործել հետադարձ կապեր և կատարել մասնակի լավարկումներ: Ներկայացված հաշվարկային մեթոդիկան հնարավորություն է տալիս նաև օգտագործել արտաքին դեմպֆերային համակարգը որպես թողարկման և

արգելակման համակարգ, որը սկզբունքային կարևորություն ունի թողարկման և սինքրոնացման պրոցեսի և վթարային ռեժիմներում անցանկալի հետևանքների կանխարգելման դեպքերում:

Մշակված հաշվակային մեթոդիկան հնարավորություն է տալիս նախագծել սինքրոն հիդրոագրեգատի արտաքին դեմպֆերային համակարգ, որը լավագույնս կկոմպենսացնի սինքրոն գեներատորի տատանումը, կբարելավի դրա աշխատանքային ռեժիմները՝ հնարավորություն տալով նվազեցնել ՓՀԷԿ կառուցման տնտեսական ծախսերը և ետզնման ժամկետները:

Եզրակացություն.

1. Մշակված արտաքին դեմպֆերային համակարգը, որն աշխատում է զուգահեռ սինքրոն գեներատորի դեմպֆերային փաթույթի հետ, նվազեցնում է հիդրոագրեգատի տատանումների ամպլիտուդը:

2. Արտաքին դեմպֆերային համակարգը բարելավում է սինքրոն գեներատորի աշխատանքի ռեժիմը, երկարատև աշխատանքի ժամանակ նվազեցնում է գեներատորի ներքին դեմպֆերային փափույթի բեռը, հնարավորություն է տալիս գեներատորին՝ աշխատելու գերբեռնումների ժամանակ:

3. Մշակված հաշվարկային մեթոդիկան հնարավորություն է տալիս նախագծել արտաքին դեմպֆերային համակարգը՝ որպես նախնական տվյալներ ունենալով մեքենայի գլխավոր չափերը՝ թափանիվի տրամագիծն ու երկարությունը:

4. Փոփոխելով զանգվածային ռոտորի նյութը և, մասնավորապես, կիրառելով Fe-Cu համաձուլվածքը, կարելի է բարելավել ռոտորի հարաբերական էլեկտրական հաղորդականությունը և մագնիսական թափանցելիությունը, այդպիսով բարելավելով նաև արտաքին դեմպֆերային համակարգի պարամետրերը:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Михайлов Л.П., Фельдман Б.Н., Марканова Т.К.** Малая гидроэнергетика / Под ред. Л.П. Михайлова.-М.: Энергоатомиздат, 1989.-184с.
2. **Տագաթեյան Մ.Ա.** Предпосылки разработки компактного гидроагрегата для малых гидроэлектростанций // Вестник Инж. академии Армении.-Ереван, 2018.-Т.15.- № 2.- С. 240-244.
3. **Сергеев П.С., Виноградов Н.В., Горяинов Ф.А.** Проектирование электрических машин.-Изд. 3-е, переработ. и доп.-М.: Энергия, 1969.-632 с.
4. **Helena Ramos, A. Betâmio de Almeida, M. Manuela Portela, H. Pires de Almeida.** Guidelines for Design of Small Hydropower Plants.-2000.-190 p.
5. Արտոնագիր № 3068 А Հիդրոագրեգատ / **Մ. Մաղաթեյան, Ա. Մալիյան.**-2016:

6. **Копылов И.П.** Проектирование электрических машин: Учеб. пособие для вузов.-М.: Энергия, 1980.-496 с.
7. **Куцевалов В.М.** Вопросы теории и расчета асинхронных машин с массивным ротором. - М.-Л.: Энергия, 1966.-304 с.
8. **Нейман Л.Р.** Поверхностный эффект в ферромагнитных телах. -М.: Госэнергоиздат, 1949.
9. **Арешян Г.Л.** К теории асинхронного двигателя с монолитным ротором: Автореферат дис. ...к.т.н / МЭИ.-М., 1952.

М.А. САГАТЕЛЯН

ОБОБЩЕННЫЙ ПОДХОД К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ВНЕШНЕЙ ДЕМПФЕРНОЙ СИСТЕМЫ СИНХРОННОГО ГИДРОАГРЕГАТА

Представлен гидроагрегат, применяемый в малых гидроэлектростанциях. Приведены обоснования по использованию отдельных составляющих узлов компактного гидроагрегата. Рассмотрены необходимость и возможность применения маховика в компактном гидроагрегате. Представлена возможность применения маховика в качестве внешней демпферной системы гидроагрегата. Приведен подход к проектированию внешней демпферной системы.

Ключевые слова: гидроагрегат малой мощности, маховик, синхронный генератор, демпферная обмотка, внешняя демпферная система, массивный ротор, асинхронная машина, комплексное магнитное сопротивление, методика расчета.

M.A. SAGHATELYAN

A GENERAL APPROACH TO DESIGNING THE EXTERNAL DAMPING SYSTEM OF A SYNCHRONOUS HYDRO-AGGREGATE

A hydro-aggregate used in small hydro power plants is presented. Justifications of applying compact hydro-aggregate units are given. The necessity and possibility of applying a flywheel in the hydro-aggregate system are investigated. The possibility of flywheel application as an external damping system of the hydro-aggregate is shown. The approach to designing an external damping system is introduced.

Keywords: small power hydro - aggregate, flywheel, synchronous generator, damping winding, external damping system, massive rotor, asynchronous machine, complex magnetic permeability, method of calculation.