

FTAMP 44.29.01

Ж.С. Туленбаев¹ – негізгі автор, | ©
А.А. Омарова², Н.Ж. Каражанов³



¹Техн. ғылым. д-ры, профессор, ²Аға оқытушы, ³Магистрант

ORCID

¹<https://orcid.org/0000-0003-0931-2740>; ²<https://orcid.org/0000-0001-5663-4414>



М.Х. Дулати атындағы Тараз өңірлік университеті



Тараз қ., Қазақстан Республикасы



¹tulenbaev@mail.ru, ²ardak_omarova@mail.ru, ³nurken.karazhanov@mail.ru

<https://doi.org/10.55956/LAYR6775>

ФАЗАЛЫҚ РОТОРЛЫ АСИНХРОНДЫ ҚОЗҒАЛТҚЫШТЫ ІСКЕ ҚОСУ ЖҮЙЕСІ

Аңдатпа. Мақалада фазалық роторлы асинхронды қозғалтқыштағы ротор тоғын түзеткіш инвентор блогымен реттеу ұсынылған. Электр жетегі жүйесінде фазалық роторлы асинхронды қозғалтқыштың кедергісіз іске қосылуын қамтамасыз етіп, қажетті жылдамдықты және іске қосу моментінің тұрақтылығын реттеу мүмкіндігі қарастырылған. Қажетті жылдамдықты қамтамасыз ететін тұрақты қосылу моменті мен реттеу мүмкіндігі бар фазалық роторлы асинхронды қозғалтқыштың электр жетегі жүйесінде жеңіл іске қосылу жүйесі қарастырылған. Индуктивті кедергінің жиіліктік сипаттамаларының зерттеулері көрсетілген. Электр жетегі жүйесінің математикалық моделі MATLAB Simulink бағдарламалық кешенін пайдаланып динамикалық процестерді компьютерлік модельдеу арқылы жүргізілген. Жіберу моментін тұрақтандырып асинхронды қозғалтқышты басқару процесінің ұсынылған әдістері қарастырылған.

Тірек сөздер: фазалық роторлы асинхронды қозғалтқыш, жіберу моменті, түзеткіш, инвентор, фильтр, индуктивтілік кедергі.



Туленбаев, Ж.С. Фазалық роторлы асинхронды қозғалтқышты іске қосу жүйесі [Мәтін] / Ж.С. Туленбаев, А.А. Омарова, Н.Ж. Каражанов // Механика және технологиялар / Ғылыми журнал. – 2022. – №1(75). – Б.27-34. <https://doi.org/10.55956/LAYR6775>

Кіріспе. Фазалық роторлы асинхронды қозғалтқыш электр жетегі жүйесінде жылдамдықты реттеуді қажет етпейтін механизмдерде және де металлургия өндірісі конвейерінде кеңінен қолданылады. Фазалық роторлы асинхронды қозғалтқыштың импульсты резисторы және параметрлік резисторлы жүйелері жіберу тоғын шектеп, берілген қондырғының тиімділігін төмендетеді [1-3].

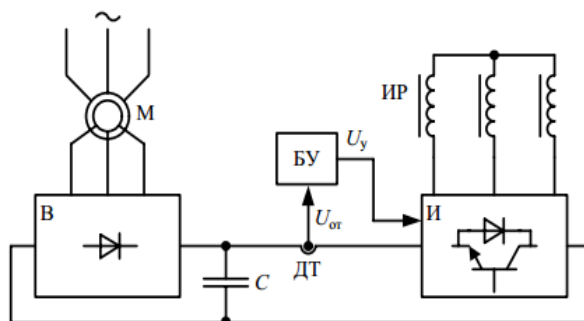
Фазалық роторлы асинхронды қозғалтқышта тоқты шектеудің ең үнемді әдісі трансформатор арқылы энергияны үш фазалы желіге беретін түзеткіш-инвертор қондырғысы бар асинхронды вентильді каскад жүйесі. Алайда, фазалық роторлы асинхронды қозғалтқышты басқарудың мұндай әдісі электр жетегінің технико-экономикалық көрсеткіштерін тек 20-25% диапазондағы жылдамдық өзгерістерін ғана қамтамасыз ете алады. Тізбектелген асинхронды вентильді каскад жүйесі конвейерлі типтегі

механизмге қажетті жоғары жүктемелі қабілеттілікті қамтамасыз ете алмайды [4,5].

Вентильді каскадты электр жетегі ең үнемді ауыспалы жетек жүйесі болып табылады, өйткені асинхронды қозғалтқыштың ПӘК тұрақты ток машиналарының ПӘК-нен жоғары және қозғалтқыштың сырғанауына пропорционал энергияның бір бөлігі ғана түрленеді.

Өзірленген электр жетек жүйесінде ротор тогын тұрақты токта конденсатор сүзгісі, кері диодтары бар IGBT транзисторларына негізделген толық басқарылатын инвертордың көмегімен, шығысына индуктивті кедергі қосылған түзеткіш арқылы шектеу ұсынылған.

Зерттеу шарттары мен әдістері. Электр жетегінің күштік бөлімінде (1-сурет) фазалық роторлы асинхронды қозғалтқыштан (М), желіге қосылған статор орамдарынан, ротор орам шығыстары үшфазалы реттелмейтін көпірлі түзеткішке қосылған (В). Реттелмейтін түзеткіш шығысына конденсатор жалғанған (С), реттелетін түзеткіш инвертор кірісіне қосылған (И). Тұрақты ток датчик тоғымен біріккен (ДТ). Инвертор шығысына индуктивті резистор жалғанған (ИР). Датчик тоғы басқару блогымен қосылған (БУ).



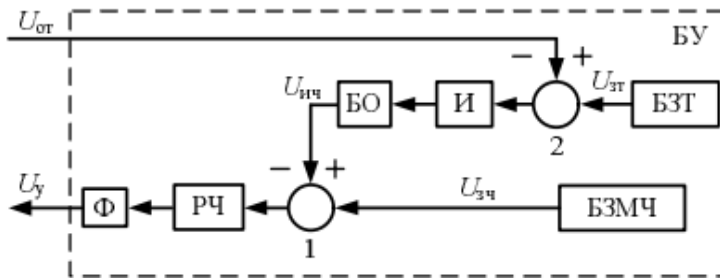
1-сурет. Электр жетегінің күштік бөлігі

2-суретте көрсетілген басқару блогы: шығыс каналдарының санынан тұратын сигналдар (Ф), инвертор элементтерінің санына сәйкес келетін шығыс сигналдары, айнымалы токқа сәйкес келетін жиілік реттеу шығысы сигнал кірісімен жалғанған (РЧ), оң кірісі максималды жиілікті тапсырма блогымен жалғанған (БЗМЧ), ал 1 бірінші түйіннің теріс кірісі шектеу блогының шығысымен жалғанған (БО), интегралды басқару тоғын реттеу шығысымен қосылған (И), кірісі 2 екінші салыстырмалы түйін шығысымен жалғанған түзеткіш блогының тапсырма блогымен біріккен (БЗТ), ал екінші түйіннің теріс кірісі датчик тоғының шығысымен жалғанған [6].

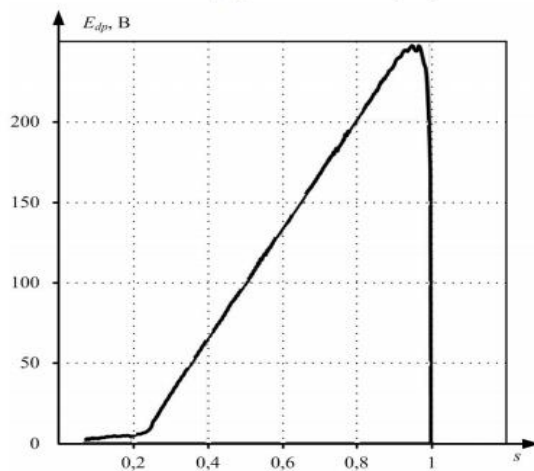
Фазалық роторлы асинхронды қозғалтқышты басқару жүйесін зерттеу MatLab Simulін компьютерлік модельдеу бағдарламалық пакетінде жүргізілген. Электр жетегі келесі тәртіпте жұмыс істейді: статор орамына кернеуді бергенде ротор орамында ЭҚК пайда болады, түзетілген ротор кернеуі инвертор кірісіне келеді және келесі өрнекпен анықталады:

$$Edp = \frac{3}{\pi} \sqrt{6E_{2k}} S - \frac{3}{\pi} Z_r I_d \quad (1)$$

мұндағы: E_{2k} – фазалық роторлы асинхронды қозғалтқыштың ротор орамындағы ЭҚК; S - сырғанау; I_d - тұрақты тоқтан өтетін ток; Z_r - ротор орамындағы толық кедергі.



2-сурет. Инвертор блогын басқару



3-сурет. Фазалық роторлы асинхронды қозғалтқыштың сырғанаудан ротор орамынан түзетілген кернеуге тәуелділігі

Инвертормен басқару жүйесі максималды жиілік сигналын өңдейтін, интегралды блоктан келетін сигналмен салыстырылады (тоқ реттегіш).

Шығыс тоғының жиілігі тоқтың максималды жиілігін қамтамасыз етеді және резистордың индуктивті кедергісі максималды болады. Демек,

$$Z_M = Z_1 \frac{uw^2}{l_\Sigma} e^{j\varphi} \quad (2)$$

Z_1 - электрлік кедергінің толық модулі; u - стержень периметрі; w - орам саны; l_Σ - фазалық магнитөткізгіштіктің эквивалентті ұзындығы.

$$Z_1 = \sqrt{\frac{\mu_e \omega}{\gamma}} \quad (3)$$

мұндағы: μ_e - магнит өткізгіш бетіндегі магниттік өтімділік; ω - дөңгелек жиілік өрісі; γ - электрлік өткізгіш.

Активті және индуктивті құраушылары келесі өрнекпен анықталады:

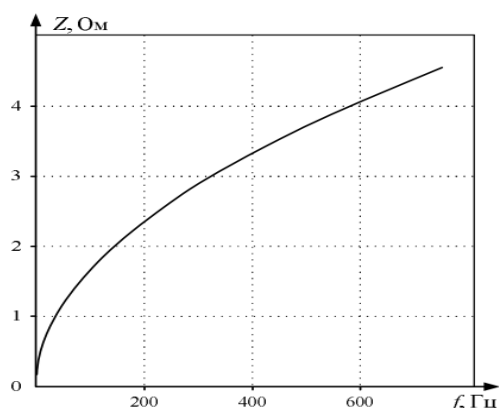
$$r_M = 0.86Z_M \quad (4)$$

$$x_M = 0.53Z_M \quad (5)$$

Инверторды ашқаннан кейін ротор орамынан, реттелмейтін түзеткіштен, ток датчигінен, реттелетін инвертордан және индукциялық резистордан тұратын тізбек арқылы ток өте бастайды.

Бір мезгілде сүзгі конденсаторы тұрақты ток желісінде зарядталады.

4-суретте кедергінің өзгеруінің түрлендіргіштің шығыс тоғының жиілігіне тәуелділігі көрсетілген.



4-сурет. Интегралдық реттегіш кедергісінің инвертордың шығыс тоғының жиілігіне тәуелділігі

Түзетілген желі тоғын келесі өрнекпен есептеуге болады:

$$I_d = \frac{E_{dp} - E_{du} \Delta U_{B\Sigma}}{R_{\text{экв}}} \quad (6)$$

E_{du} - түзетілген тізбек инверторының ЭҚК; $R_{\text{экв}}$ - тұрақты токтағы қосынды кедергі; $\Delta U_{B\Sigma}$ - Вентиль жүйесі кернеуінің төмендеуінің қосындысы;

$$R_{\text{экв}} = r_2^* + x_p^* + x_{uc0}^* + x_\mu^* + r_\mu^* \quad (7)$$

$$r_2^* = 2r_p \quad (8)$$

$$x_p^* = \frac{3x_p S}{\pi} \quad (9)$$

$$x_{uc0}^* = \frac{3x_{uc0}(f/f_0)}{\pi} \quad (10)$$

$$x_\mu^* = \frac{3x_\mu(f/f_0)}{\pi} \quad (11)$$

$$r_\mu^* = 2r_u \sqrt{(f/f_0)} \quad (12)$$

R_2^* - ротордың активті кедергісі; X_p^* - ротордың реактивті кедергісі; X_{uc0}^* - индукционды реостат орамдарының индуктивті кедергісі; x_μ^* - индукционды реостаттың магнит өткізгіштігінің активті кедергісі; f -

инвертор шығысындағы жиілік; $f_{\bar{o}}$ - инвертор шығысындағы максималды жиілік.

Инвертордың ЭҚК бірінші жуық мәндегі саны индукциялық кедергідегі кернеудің төмендеуіне тең.

$$E_{du} = Z_{uc} \cdot K_{cx} \cdot I_d \quad (13)$$

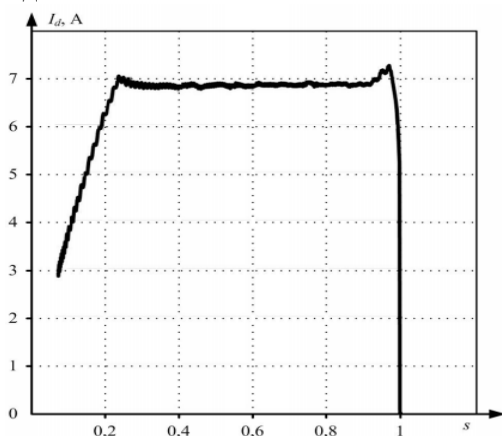
Z_{uc} - интегралды реттегіштің толық кешенді кедергісі; K_{cx} - тұрақты ток тізбегіндегі көпірлік схема кернеуінің кедергісі.

Іске қосу кезінде асинхронды қозғалтқыштың айналу жиілігі өзгерген кезде 1-ші салыстыру түйінінде максималды жиілікті орнату сигналы мен қажетті жиілікті өзгерту сигналы салыстырылады, ауытқу анықталады.

$$\Delta U_{\bar{u}} = U_{zm} - U_{om}$$

$U_{\bar{u}}$ шектеу блогы контроллер блогының кірісіндегі $U_{\bar{u}}$ сигналы әрқашан оң болатындай реттеледі.

5-суретте түзетілген тізбектегі токтың фазалық роторлы асинхронды қозғалтқыштың ротор сырғанауына тәуелділігі көрсетілген, одан инверторлық басқару жүйесі оның берілген деңгейде сақталуын қамтамасыз ететінін көруге болады.



5-сурет. Түзеткіш тізбегіндегі токтың сырғанаудан тәуелділігі

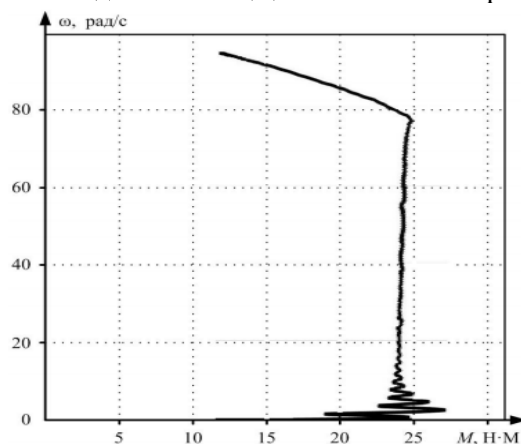
Асинхронды қозғалтқыш жылдамдағанда, ротордың ЭҚК төмендейді, сондықтан ротор тоғының тұрақтылығы үшін инвертордың ЭҚК-ін азайту қажет.

Бұл түрлендіргіштің шығысындағы ток жиілігін азайту арқылы қол жеткізіледі, нәтижесінде индукциялық резистордың магниттік жүйесінің кедергісі төмендейді, бұл ротор тізбегінде пайда болатын токқа әсер етеді.

Қозғалтқыш табиғи механикалық сипаттамасының жылдамдығына жақын жылдамдыққа жеткеннен кейін инвертордың шығысындағы ток жиілігі минимумға немесе нөлге тең болады, бұл үшін тек екі негізгі элемент-бірі анодта, ал екіншісі катодта инверторлық топтары және индукциялық реостаттың екі фазалы орамдары бойымен тұрақты ток өтеді [7].

Бұл жағдайда асинхронды қозғалтқыштың ротор тізбегіне енгізілген қосымша кедергі минималды болады. Іске қосу процесі кезінде түрлендіргіштің шығысындағы жиілікті төмендетудің қажетті жылдамдығы интегралды бірлік уақыт тұрақтысын тиісті түрде орнату арқылы электр жетегінің қажетті үдеу жылдамдығына негізделген. Асинхронды

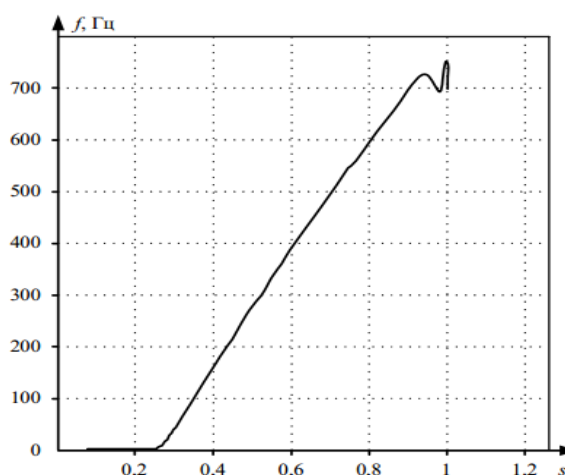
қозғалтқыштың төмендетілген айналу жылдамдығын алу үшін түрлендіргіштің шығысындағы токтың қажетті жиілігін орнату қажет.



6-сурет. Инвертордың шығыс тоғы жиілігінің сырғанауға тәуелділігі

6-суретте асинхронды қозғалтқыштың роторының сырғуына байланысты инвертордың шығыс жиілігінің өзгеруі көрсетілген.

Электр қозғалтқышының жылдамдығының білік моментіне тәуелділігін көрсететін (7-сурет) динамикалық механикалық сипаттамасы көрсетілді.

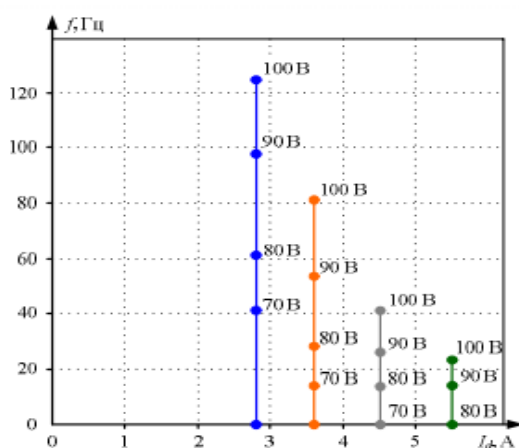


7-сурет. Динамикалық механикалық сипаттамасы

Қозғалтқыш жүктеме кезінде іске қосылады. Электр қозғалтқышының үдеуі іске қосу моментінің тұрақты мәнінде болатынын көруге болады.

Зерттеу нәтижелері. Индукциялық резистордың жалпы комплекстік кедергісінің өзгеруін растау үшін тәжірибе жүргізілді. Тәжірибелік қондырғының схемасы 1-суретте көрсетілген электр жетегінің схемасына сәйкес келеді, онда амперметр тұрақты ток көзіне қосылған, инвертор шығысындағы жиілік, жиілік түрлендіргіш көмегімен өлшенді.

Тәжірибе барысында фазалық роторлы асинхронды қозғалтқыш роторының түзетілген ЭҚК әртүрлі мәндері үшін инверторлық басқару жүйесін пайдалана отырып, шығыс ток жиілігінің мәні түзетілген тізбекте ток сақталатындай етіп берілді және өзгертілмейді. Индукциялық резистордың алынған жиілік сипаттамалары 8-суретте көрсетілген.



8-сурет. Индукциялық резистордың тәжірибелік жиілікке тәуелділігі

Қорытынды. Қорыта келе, фазалық роторлы асинхронды қозғалтқышты басқарудың ұсынылған әдісінің артықшылығы іске асырудың қарапайымдылығында, өйткені тек бір айнымалы ғана реттеледі – ол түрлендіргіштің шығысындағы ток жиілігі болып табылады.

Түзетілген тізбекте ток реттеуінің тұйық контурын құру кезінде асинхронды қозғалтқышты іске қосу кезінде ротор тогы мен айналу моментінің тұрақтылығы қамтамасыз етіледі. Біркелкі іске қосу қозғалтқышты қорғау үшін қолданылады.

Электр жетегінде қозғалтқыш жылдамдығын басқарудың сыртқы контуры үшін екі тізбекті басқару жүйесін құруға болады, бұл жақсы динамикалық сипаттамаларды алуға мүмкіндік береді.

Әдебиеттер тізімі

1. Браславский, И.Я. Энергосберегающий асинхронный электропривод [Текст]: учебник / И.Я. Браславский, З.Ш. Ишматов, В.Н. Поляков. – М.: Академия, 2014. - 256 с.
2. Бергштейн, С.Г. Импульсное управление скоростью вращения электродвигателей [Текст]: учебник / С.Г. Бергштейн. - М.: Медиа, 2005. - 593 с.
3. Борисевич, А.В. Энергосберегающее векторное управление асинхронными электродвигателями. Обзор состояния и новые результаты [Текст]: учебник / А.В. Борисевич. - М.: ИНФРА-М, 2015. - 104 с.
4. Исмаилов, Ш.Ю. Автоматические системы и приборы с шаговыми двигателями [Текст]: учебник / Ш.Ю. Исмаилов. - М.: Энергия, 2007. - 136 с.
5. Вайсман, Х.Г. Электрическая аппаратура управления судовыми электродвигателями [Текст]: учебник / Х.Г. Вайсман. - М.: Морской транспорт, 2015. - 384 с.
6. Косулин, В.Д. Вентильные электродвигатели малой мощности для промышленных роботов [Текст]: учебник / В.Д. Косулин. - М.: Энергоатомиздат, 2015. - 184 с.
7. Виноградов, Н.В. Как самому рассчитать и сделать электродвигатель [Текст]: учебник / Н.В. Виноградов. - М.: Госэнергоиздат, 2017. - 160 с.

Материал редакцияға 08.02.22 түсті.

Ж.С. Түленбаев, А.А. Омарова, Н.Ж. Каражанов

Таразский региональный университет им. М.Х. Дулати, г. Тараз, Казахстан

СИСТЕМА ПЛАВНОГО ПУСКА АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ФАЗНЫМ РОТОРОМ

Аннотация. В статье предлагается регулировать ток ротора асинхронного двигателя с фазным ротором с выпрямительным инвентарным блоком. Система электропривода обеспечивает возможность регулировки необходимой скорости и пускового момента, обеспечивая плавный пуск асинхронного двигателя с фазным ротором. В системе электропривода асинхронного двигателя с фазным ротором предусмотрена система легкого пуска с постоянным пусковым моментом и регулируемой скоростью, обеспечивающая требуемую скорость. Математическая модель системы электропривода выполнена методом компьютерного моделирования динамических процессов с использованием пакета программ MATLAB Simulink. Рассмотрены предлагаемые способы управления асинхронным двигателем со стабилизацией пускового момента.

Ключевые слова: асинхронный двигатель с фазным ротором, пусковой момент, выпрямитель, инвентарь, фильтр, индуктивность.

Zh.S. Tulenbayev, A.A. Omarova, N.Zh. Karazhanov

M.Kh. Dulaty Taraz Regional University, Taraz, Kazakhstan

PHASE ROTOR ASYNCHRONIC MOTOR CONNECTION SYSTEM

Abstract. The article proposes to regulate the rotor current in a phase rotor asynchronous motor with a rectifier inventory block. The electric drive system provides the ability to adjust the required speed and starting torque, ensuring uninterrupted start of the phase rotor asynchronous motor. There is a light start system in the electric drive system of a phase rotor induction motor with a constant starting torque and adjustable speed. The study of the frequency characteristics of inductive resistance is shown. The proposed methods of controlling the asynchronous motor by stabilizing the starting torque are considered.

Keywords: phase rotor motor, starting torque, rectifier, inventory, filter, inductance.

References

1. Braslavsky I.Ya., Ishmatov Z.Sh., Polyakov V.N. Energoberegayushchiy asinkhronnyy elektroprivod [Energy-saving asynchronous electric drive]: Textbook. - Moscow: Academy, 2014. - 256 p. [in Russian].
2. Bergstein S.G. Impul'snoye upravleniye skorost'yu vrashcheniya elektrodvigatelay [Pulse control of the speed of rotation of electric motors]: Textbook. - Moscow: Media, 2005. - 593 p. [in Russian].
3. Borisevich A.V. Energoberegayushcheye vektornoye upravleniye asinkhronnymi elektrodvigatelayami. Obzor sostoyaniya i novyye rezul'taty [Energy-saving vector control of asynchronous electric motors. Review of the state and new results]: Textbook. - Moscow: INFRA-M, 2015. - 104 p. [in Russian].
4. Ismailov Sh.Yu. Avtomaticheskkiye sistemy i pribory s shagovymi dvigatelayami [Automatic systems and devices with stepper motors]: Textbook. - Moscow: Energy, 2007. - 136 p. [in Russian].
5. Weissman H.G. Elektricheskaya apparatura upravleniya sudovymi elektrodvigatelayami [Electrical equipment for control of marine electric motors]: Textbook. - Moscow: Sea transport, 2015. [in Russian].
6. Kosulin V.D. Ventil'nyye elektrodvigateli maloy moshchnosti dlya promyshlennykh robotov [Valve electric motors of low power for industrial robots]: Textbook. - Moscow: Energoatomizdat, 2015. - 184 p. [in Russian].
7. Vinogradov N.V. Kak samomu rasschitat' i sdelat' elektrodvigatel' [How to calculate and make an electric motor yourself]: Textbook. - Moscow: Gosenergoizdat, 2017. - 160 p. [in Russian].