

## УДК 621.313

**А.Д. Умурзакова**, техника ғылымдарының кандидаты  
Инновациялық Еуразия университеті (Павлодар к., Қазақстан Республикасы)  
E-mail: granat\_72@mail.ru

**Н.А. Воронина**, техника ғылымдарының кандидаты  
Томск политехникалық университеті (Томск к., Ресей Федерациясы)

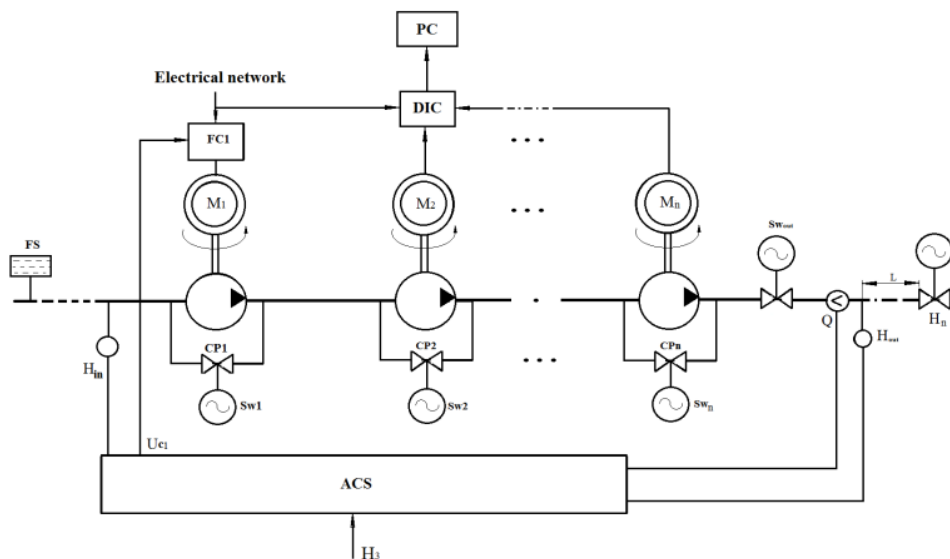
**А.А. Каменов**, техника ғылымдарының магистрі  
Инновациялық Еуразия университеті (Павлодар к., Қазақстан Республикасы)

### Шығу айнымалысының жанама басқарудағы асинхронды электр жетегі

**Аңдатпа.** Мақалада электр жетегіндегі асинхронды қозғалтқыштың жанама бақылауы мен асинхронды қозғалтқыштың бұрыштық жылдамдығын басқаруға арналған құрылғы бар индукциялық қозғалтқыштың математикалық сипаттамасы келтірілген, бұл оның негізінде асинхронды электр қозғалтқышының шығу айнымалысын басқару әдісін негіздеуге мүмкіндік береді. Сондай-ақ, асинхронды электр қозғалтқышының жанама бақылауы бар құрылғысындағы асинхронды қозғалтқыштың шығу айнымалысының имитациялық моделі мен негізгі нәтижелері келтірілген.

**Түйін сөздер:** асинхронды қозғалтқыш, электр жетегі, жанама бақылау, фазалық кернеу, имитациялық моделі

**Кіріспе.** Заманауи асинхронды электр жетегі (ЭЖ) жалпы өндірістік механизмдердің барлық салаларында жетекші орын алады. Қазіргі заманғы электр жетектерін тасымалдауда, мысалы, сұйықтықты тасымалдау жүйелерінде (СТЖ) сорғы қондырғыларын пайдалану кезінде асинхронды қозғалтқыштың (АҚ) шығыс айнымалы мәндерін үнемі бақылау қажет, бұл сорғы қондырғыларының технологиялық шығу параметрлері туралы ақпарат алуға, қозғалтқыштардың жүктемесін бақылауға және берілген шектерде жылдамдықты сақтауға мүмкіндік береді. Жартылай өткізгіш технологияның дамуымен байланысты СТЖ технологиялық параметрлерін қамтамасыз ету үшін АҚ айналым жиілігін тұрақтандыру мүмкіндігі туды. Статикалық жиілікті түрлендіргіштерді пайдалану СТЖ насосты технологиялық процесінің көрсетілген режимдеріне сәйкес АҚ сорғы станциясының бақылауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, қазіргі мәндерін білу мен асинхронды қозғалтқыштардың параметрлері жай-күйінің сұйытылған газдың технологиялық процесін және жұмыс режимін бақылауға, оның техникалық жағдайын бақылауға, ерте сатысында пайда болатын ақауларды уақытында жойып және анықтай отырып диагностика жүргізуге мүмкіндік береді. Алайда, ЭЖ қолданылатын жабдықтың қымбаттылығына және күрделілігіне байланысты толық қуатпен орындалаған АҚ барлық сорғы қондырғылары үшін жиілікті түрлендіргіштері бар реттелетін электр жетектерін қолдана алмайды. Сондықтан, СТЖ үшін ең қолайлы болып 1-суретте көрсетілген функционалды диаграмманы қолдану болып табылады, онда қалыпты жұмыс кезінде немесе негізгі жиілік түрлендіргіші істен шыққан кезіндегі сорғы агрегаттары қозғалтқыштарының шығу айнымалысы мәндерін басқару үшін жанама бақылау құрылғысы (ЖБК) қолданылады.



1-сурет – Бір жиілікті түрлендіргіші бар сұйықтықты тасымалдау жүйесінің функционалды схемасы

Функционалды схемада СТЖ орталықтан тепкіш қысым қондырғыларымен ( $OK_i$ )  $n$  белгіленген  $K_i$  – қысым,  $i$ -ші сорғы қондырғысының ( $i = 1, 2, \dots, n$ ),  $Q_i$  – сұйықтықтың берілуі немесе шығыны  $i$ -ші сорғы қондырғысының ( $i = 1, 2, \dots, n$ ),  $L$  – қашықтық.

Жылдамдықты өлшейтін және басқаратын ең кең таралған құрылғылар импульстік және тахогенераторлық датчиктер, ал қазіргі кезде [3, 4] тепе-теңдік және трансмиссиондық динамометрлер, торсиялық құрал-жабдықтар және түрлендіргіштер болып табылады. Осы құрылғылардың көмегімен электр жетегіндегі электр қозғалтқышының шығу айнымалысы мәндерін басқаруға болады, бірақ олар күрделі құрылымға ие және оларды электр жетегінің айналмалы бөліктерімен жұптастыру кезінде мүқият орнатуды қажет етеді, бұл сенімділіктің төмендеуіне әкеледі және электр жетегінің жұмыс сипаттамаларын едәуір нашарлатады. Сонымен қатар, электр жетегінің жұмысы жағдайында оларды пайдалану мүмкін болмауы ықтимал. Осы өнеркәсіптік кәсіпорындарға байланысты асинхронды электр жетегінің шығу айнымалысы арқылы жұмыс істейтін қондырғылардың технологиялық параметрлерін басқаруға, жылдамдық датчиктері және моменті болмаған кезде жылдамдықты ұстап тұруға және қажетті ақпаратты жанама әдістермен басқаруға мүмкіндік беретін құрылғылар, схемалық шешімдер мен әдістер кеңінен сұранысқа ие, мысалы, жанама басқару құрылғыларын жатқызуға болады.

Осылайша, АҚ шығу айнымалы элементтерінің ЖБҚ бар асинхронды электр жетегін жасау және зерттеу өзекті болып табылады және көрсетілген технологиялық параметрлерді қамтамасыз ете отырып, шығу айнымалы мәндерін басқаруға мүмкіндік береді.

**Негізгі бөлім.** Математикалық модель. Электромагниттік момент пен бұрыштық жылдамдықты жанама басқарудың математикалық сипаттамасы үшін [5] берілген өрнектерді қолдануға болады.

Электромагниттік момент пен бұрыштық жылдамдықтың асинхронды электр қозғалтқышының шығу шамаларын жанама анықтауға арналған математикалық өрнектерді келесі теңдеулер жүйесімен ұсынуға болады (1)

$$\begin{cases} M(t) = \sqrt{3} \cdot p_n \cdot (i_a(t) \cdot \int [u_b(t) - R_s \cdot i_b(t)] dt - \\ - i_b(t) \cdot \int [u_a(t) - R_s \cdot i_a(t)] dt), \\ \omega(t) = \omega_m(t) \cdot [1 + \Delta\omega_{\text{int}}(t) + \Delta\omega_{\text{dif}}(t)] \end{cases} \quad (1)$$

мұндағы

$$\omega_m(t) = \frac{\sqrt{3} \cdot [u_a(t) - (R_s + R'_r \alpha) \cdot i_a(t)]}{\int [R_s \cdot [i_a(t) + 2 \cdot i_b(t)] - [u_a(t) + 2 \cdot u_b(t)]] dt - L_\beta \cdot [i_a(t) + i_b(t)]} - \text{бұрыштық жылдамдықтың лездік мәнін өлшейді;}$$

$$\Delta\omega_{\text{int}}(t) = \frac{\int [u_a(t) - R_s \cdot i_a(t)] dt}{T'_r \cdot [u_a(t) - (R_s + R'_r \alpha) \cdot i_a(t)]} - \text{бұрыштық жылдамдықтың салыстырмалы шамасының динамикалық интегралдық компоненті;}$$

$$\Delta\omega_{\text{dif}}(t) = \frac{L_\beta (di_a(t) / dt)}{u_a(t) - (R_s + R'_r \alpha) \cdot i_a(t)} - \text{салыстырмалы шаманың динамикалық дифференциалдық компонентінің бұрыштық жылдамдығы;}$$

$R'_r \alpha = R'_r \cdot \alpha - \alpha$  коэффициентін ескере отырып, ротор орамасының белсенді төмендетілген кедергісі;

$R'_r$  – ротордың белсенді төмендетілген кедергісі;

$\alpha = L_S / L'_r$  – статор орамасының жалпы индуктивтілігінің  $L_S$ , ротор орамасының төмендетілген жалпы индуктивтілігіне қатынасына тең коэффициент  $L'_r$ ;

$L_\beta = L_\mu \cdot \beta - L_S - \beta$  индуктивтілік коэффициенті;

$L_\mu$  – статор мен ротор орамаларының өзара индуктивтілігі;

$\beta = L_\mu / L'_r$  – индуктивтілік қатынасына тең коэффициент  $L_\mu$  өзара индуктивтіліктің ротор орамасының төмендетілген жалпы  $L'_r$ ;

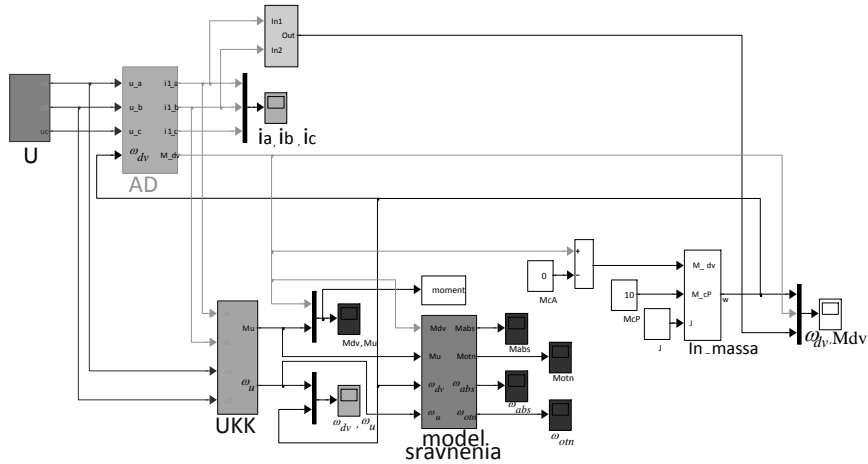
$T'_r = L'_r / R'_r$  – ротордың тұрақты уақыты.

Жоғарыда келтірілген (1) жүйенің теңдеулеріне сәйкес асинхронды электр қозғалтқыштың шығу айнымалысының және олардың ағымдағы мәндерін бақылау үшін кернеуді, статор фазалары токтарын және қозғалтқыш мәліметтерін өлшеу арқылы анықтауға болады.

Математикалық модельдеу. Аталмыш математикалық сипаттаманың негізінде, 2-суретте, MatLab бағдарламалық пакетінде асинхронды қозғалтқыштың шығу айнымалысын басқаруға арналған жанама

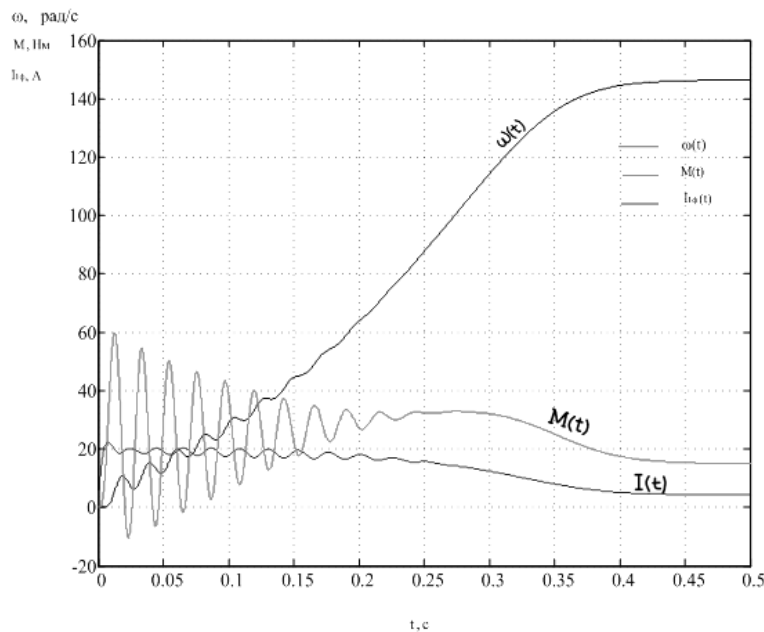
басқару құрылғысы бар асинхронды электр қозғалтқышының модельдеу үлгісі құрастырылған, электр қозғалтқышының КИМ (кең-импульстік модуляция) кернеуін ескерусіз жиілікті скалярлық басқарумен асинхронды электр жетегінде зерттеу жүргізуге мүмкіндік береді.

Имитациялық модельдің құрамына суперблоктар кіреді: асинхронды электр қозғалтқыш моделі асинхронды қозғалтқыштың (АК) математикалық сипаттамасы негізінде орындалған; үшфазалы координаттар жүйесіндегі статикалық орамалардың фазалық кернеулерін қалыптастыру(U); инерциялық масса (In\_massa); асинхронды электр қозғалтқышының электромагниттік моментін жанама басқаруға арналған құрылғы (ЖБК); электромагниттік момент мәндерін салыстырудан алынған асинхронды электр қозғалтқышы және жанама басқару құрылғысымен салыстыруға арналған құрылғы (салыстыру моделі).

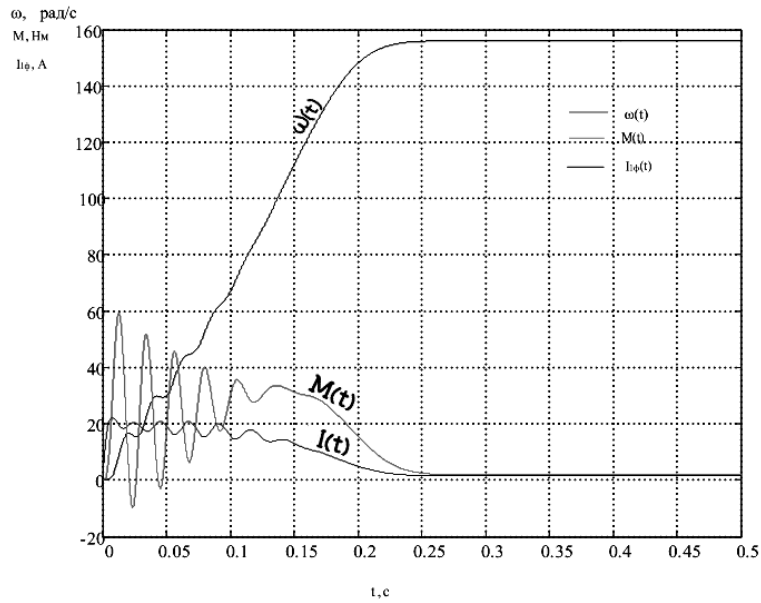


2 сурет – Асинхронды қозғалтқыштың шығу айнымалысын басқаруға арналған жанама басқару құрылғысы бар асинхронды электр қозғалтқышының модельдеу үлгісі

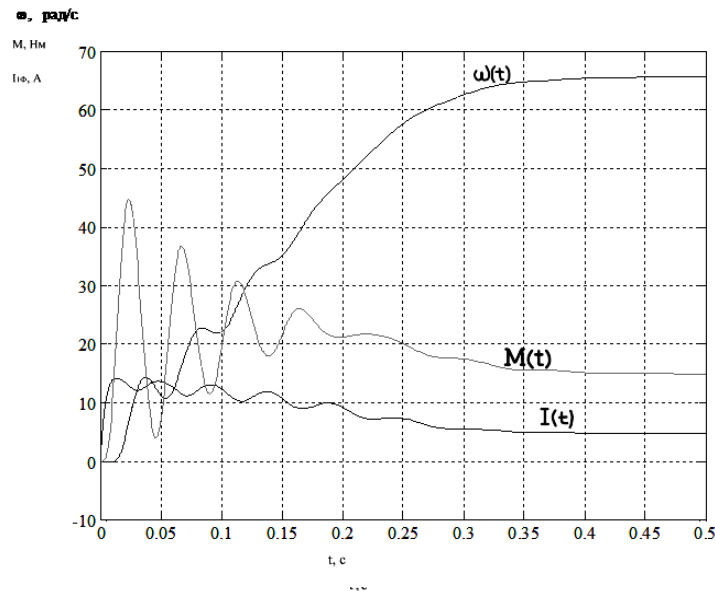
3-5 суреттерде асинхронды қозғалтқыштың (AIR90L4) имитациялық зерттеулердің нәтижелері ұсынылған, әртүрлі жүктеме мәндерінде, асинхрондық қозғалтқыштан және жанама құрылғыдан алынған  $I(t)$ ,  $M(t)$  тәуелділік түрінде, әр түрлі жүктеме мәндеріндегі симуляциялық зерттеулердің, қозғалтқыштың КИМ (кең-импульстік модуляция) кернеуін есепке алмай индукциялық қозғалтқышты жиіліктік скалярлық басқару кезіндегі бақылау нәтижелері көрсетілген.



3 сурет –  $I(t)$ ,  $M(t)$ ,  $\omega(t)$  ( $f=50$  Гц,  $M_c=10$ Нм) тәуелділігі



4 сурет –  $I(t)$ ,  $M(t)$ ,  $\omega(t)$  ( $f=50$  Гц,  $M_c=2$ Нм) тәуелділігі



5 сурет –  $I(t)$ ,  $M(t)$ ,  $\omega(t)$  ( $f=25$  Гц,  $M_c=15$  Нм) тәуелділігі

Жоғарыда келтірілген сипаттамалардан асинхронды қозғалтқыштың және жанама бақылау құрылғысының шығуынан алынған электромагниттік моменттің және бұрыштық жылдамдықтың тәуелділігі инженерлік есептерде ұқсастыққа жол берілуі мүмкін.

IV. Нәтижелер

Бақылау нәтижелерін бағалау үшін имитациялық модельді салыстыру блогында шығу айнымалысы АҚ және ЖБҚ алынған электромагниттік моментті және бұрыштық жылдамдықты бақылаудың абсолюттік және салыстырмалы қателіктері анықталады, ал олардың мәндері 1-кестеге сәйкестендірілген.

1-кесте – Электромагниттік моментті және бұрыштық жылдамдықты бақылаудың абсолюттік және салыстырмалы қателіктері

Абсолюттік қателік		Салыстырмалы қателік, %	
$\Delta M,$ $10^{-4}, \text{M} \cdot \text{H}$	$\Delta \omega, \text{рад/с}$	$\delta_M, 10^{-2}$	$\delta_\omega$
-0.004...0,003	-12...12	-0.1...0.1	-8 ... +8

Кестеден көрініп тұрғандай, электрмагниттік моментті бақылаудың салыстырмалы қателігі 1 %-дан аз, ал бұрыштық жылдамдық 10 %-дан көп емес, жылдамдықты есептеу блогында түзету буынының болуына байланысты.

**Қорытынды.** Жанама бақылау құрылғысы бар асинхронды электр жетегін зерттеу кезінде алынған модельдеу нәтижелері асинхронды қозғалтқыштың шығу айнымалыларын жанама бақылау құрылғысы бар математикалық сипаттамасының дұрыстығын растайды.

Жанама бақылау құрылғысы бар асинхронды электрқозғалтқыштың модельдерінде жүргізілген зерттеулермен асинхронды электржетекте ЖБҚ қолдану электромагниттік моментті және бұрыштық жылдамдықты үздіксіз бақылауды жүзеге асыруға мүмкіндік беретіні анықталды және технологиялық процесті жүзеге асыратын, оның параметрлерін бақылауды талап ететін жалпы өнеркәсіптік механизмдердің электр жетектері үшін жанама бақылау құрылғысын қолданудың жоғары тиімділігін растайды.

## ПАЙДАЛАНҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 Leznov B.S. Energy conservation and a variable drive in pump units. – M., CA: Energoatomizdat, 2006. – 360 p.
- 2 Galeev V.B., Karkachev M.Z. and Kharlamenko V.I. Main oil pipelines. – M., CA: Nedra, 1988. – 295 p.
- 3 Rybalchenko Yu.I. Magnetoelastic torque sensors. – M., CA: Machinostroyeniye, 1981. – 128 p.
- 4 Leitman M.B. Automatic measuring the output parameters of electric motors. – M., CA: Energoatomizdat, 1983. – 152 p.
- 5 Dementyev Yu.N., Umurzakova A.D. Arsenyev and O.V. Measurement of mechanical coordinates in the asynchronous electric motor // Bulletin of Irkutsk State Technical University, 2013. – № 7. – P.127–132.
- 6 Method for measuring the angular velocity of rotation of the three-phase asynchronous motor (2014, journal, № 23). Patent for invention, Russia № 2525604.
- 7 Payuk L.A., Voronina N.A. and Galtseva O.V. (2016) Radiation-Thermal Effects and Processes in Inorganic Materials, Journal of Physics: Conference Series 012044 Available: <http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/671/1/012044>.
- 8 Dementyev Yu.N., Umurzakova A.D. and Khatsevski K.V. The algorithm and method for measuring the angular rotation speed of an asynchronous electric motor // Dynamics of systems, mechanisms and machines, 2014. – № 1. – P. 393–396.

*А.Д. Умурзакова, кандидат технических наук, PhD*

*Инновационный Евразийский университет (г. Павлодар, Республика Казахстан)*

*E-mail: granat\_72@mail.ru*

*Н.А. Воронина, кандидат технических наук*

*Томский политехнический университет (г. Томск, Российская Федерация)*

*А.А. Каменов, магистр технических наук*

*Инновационный Евразийский университет (г. Павлодар, Республика Казахстан)*

### *Асинхронный электропривод с косвенным контролем выходных переменных*

*В статье приведено математическое описание асинхронного двигателя с устройством косвенного контроля электромагнитного момента и угловой скорости асинхронного двигателя в электроприводе, позволяющее обосновать на его основе способ контроля выходных переменных асинхронного электродвигателя. Приведена имитационная модель асинхронного электродвигателя с устройством косвенного контроля выходных переменных асинхронного двигателя и основные результаты исследования.*

**Ключевые слова:** *асинхронный двигатель, электропривод, непрерывный контроль, имитационная модель, косвенный контроль, фазовое напряжение.*

*A.D. Umurzakova, Candidate of Technical Sciences*

*Innovative University of Eurasia (Pavlodar, Kazakhstan Republic)*

*E-mail: granat\_72@mail.ru*

*N.A. Voronina, Candidate of Technical Sciences*

*Tomsk Polytechnic University (Tomsk, Russia)*

*A.A. Kamenov, Master of Technical Sciences*

*Innovative University of Eurasia (Pavlodar, Kazakhstan Republic)*

***Asynchronous electric drive with indirect control of output variables***

*The article provides a mathematical description of an induction motor with a device for indirect control of the electromagnetic moment and angular velocity of an induction motor in an electric drive, which allows substantiating on its basis a method for controlling the output variables of an asynchronous electric motor. A simulation model of an induction motor with an indirect control device for the output variables of an induction motor and the main results of the study are presented.*

***Key words:*** *an asynchronous motor, an electric drive, indirect control, phase voltage, simulation model.*