

IT-технологиялар, энергетика, автоматтандыру және есептеу техникасыDOI: <https://doi.org/10.53002/101>**FREQUENCY CONVERTERS IN PUMPING SYSTEMS: AN ANALYTICAL REVIEW OF ADVANTAGES, TECHNOLOGIES, AND MANUFACTURERS****Serikbolatuly A., Bayasilova Z., Siverskaya T., Kuntush Y., Batyrbek A.**NPJSC “Karaganda Industrial University”, Temirtau, Kazakhstan***Corresponding author e-mail: a.seilkhanov@ttu.kz***Authors information:****Serikbolatuly Askhat**, NPJSC “Karaganda Industrial University”, Temirtau, Kazakhstan,e-mail: a.serikbolatuly@ttu.edu.kz**Bayasilova Zuhra**, NPJSC “Karaganda Industrial University”, Temirtau, Kazakhstan, e-mail: z.bayassilova@ttu.edu.kz**Siverskaya Tatyana**, NPJSC “Karaganda Industrial University”, Temirtau, Kazakhstan,e-mail: t.siverskaya@ttu.edu.kz**Kuntush Elena**, NPJSC “Karaganda Industrial University”, Temirtau, Kazakhstan, e-mail: ye.kuntush@ttu.edu.kz**Batyrbek Alibek**, NPJSC “Karaganda Industrial University”, Temirtau, Kazakhstan, e-mail: a.batyrbek@ttu.edu.kz

Abstract — The article provides an overview of modern technologies for automated pump drives based on the use of frequency converters. The main advantages of such systems include: improved energy efficiency, precise control of pump operating parameters, extended equipment lifespan, and reduced operational costs. Special attention is given to the practical application of frequency converters in industry, including areas such as cooling systems. The work analyzes products from leading frequency converter manufacturers, such as Siemens, ABB, Danfoss, Schneider Electric, and others, highlighting their features and areas of application. Technical and economic aspects of implementing automated drives are also discussed, including energy saving, equipment protection, and integration into modern control systems. The article is intended for specialists in automation, energy, and pump system design, as well as for those interested in modern technologies for improving the efficiency of industrial equipment.

Keywords — frequency converters, pumps, induction motor, energy efficiency, Siemens, ABB, Schneider Electric, Danfoss.

**СОРҒЫ ҚОНДЫРҒЫЛАРДАҒЫ ЖИЛІКТІ ТҮРЛЕНДІРГІШТЕР:
АРТЫҚШЫЛЫҚТАРЫ, ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫ ЖӘНЕ ӨНДІРУШІЛЕРІНЕ
АНАЛИТИКАЛЫҚ ШОЛУ**

Серикболатұлы А., Баясилова З.А., Сиверская Т.И., Кунтуш Е.В., Батырбек Ә.Е.«Қарағанды индустриялық университеті» КеАҚ, Теміртау, Қазақстан***Автор-корреспондент e-mail: a.serikbolatuly@ttu.edu.kz***Авторлар туралы ақпарат:****Серикболатұлы Асхат**, «Қарағанды индустриялық университеті» КеАҚ, Теміртау, Қазақстан,e-mail: a.serikbolatuly@ttu.edu.kz**Баясилова Зухра Ануаровна**, «Қарағанды индустриялық университеті» КеАҚ, Теміртау, Қазақстан,e-mail: z.bayassilova@ttu.edu.kz**Сиверская Татьяна Ивановна**, «Қарағанды индустриялық университеті» КеАҚ, Теміртау, Қазақстан,e-mail: t.siverskaya@ttu.edu.kz**Кунтуш Елена Викторовна**, «Қарағанды индустриялық университеті» КеАҚ, Теміртау, Қазақстан,e-mail: ye.kuntush@ttu.edu.kz**Батырбек Әлібек Есімбекұлы**, «Қарағанды индустриялық университеті» КеАҚ, Теміртау, Қазақстан,e-mail: a.batyrbek@ttu.edu.kz

Аңдатпа — Мақалада жиіліктік түрлендіргіштерін пайдалануға негізделген сорғылардың автоматтандырылған электр жетектерінің заманауи технологияларына шолу жасалған. Мұндай жүйелердің негізгі артықшылықтары: энергия тиімділігін арттыру; сорғылардың жұмыс параметрлерін басқару дәлдігі; жабдықтың қызмет ету мерзімін ұзарту; пайдалану шығындарын азайту қарастырылады. Өнеркәсіпте және салқындату жүйелері сияқты

әртүрлі салаларда жиілік түрлендіргіштерін практикалық қолдануға ерекше назар аударылды. Жұмыста Siemens, ABB, Danfoss, Schneider Electric және т.б., жиілік түрлендіргіштерінің негізгі өндірушілеріне олардың ерекшеліктері мен қолдану салаларын бөліп көрсете отырып талдау жүргізілді. Сондай-ақ, автоматтандырылған электр жетектерін енгізудің техникалық және экономикалық аспектілері, соның ішінде энергия үнемдеу, жабдықты қорғау және заманауи басқару жүйелеріне интеграциялау мәселелері қарастырылды. Мақала автоматтандыру, энергетика және сорғы жүйелерін жобалау саласындағы мамандарға, сондай-ақ өнеркәсіптік жабдықтың тиімділігін арттырудың заманауи технологияларына қызығушылық танытқандарға арналған.

Түйін сөздер — жиіліктік түрлендіргіштер, сорғылар, асинхронды электр қозғалтқышы, энергия тиімділігі, Siemens, ABB, Schneider Electric, Danfoss.

ЧАСТОТНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ В НАСОСНЫХ УСТАНОВКАХ: АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ПРЕИМУЩЕСТВ, ТЕХНОЛОГИЙ И ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ

**Серикболатулы А., Баясилова З.А., Сиверская Т.И., Кунтуш Е.В., Батырбек Ә.Е.*

НАО «Қарағандинский индустриальный университет», Темиртау, Казахстан

**Автор-корреспондент e-mail: a.seilkhanov@ttc.kz*

Информация об авторах:

Серикболатулы Асхат, НАО «Қарағандинский индустриальный университет», Темиртау, Казахстан,
e-mail: a.serikbolatuly@tttu.edu.kz

Баясилова Зухра Ануаровна, НАО «Қарағандинский индустриальный университет», Темиртау, Казахстан,
e-mail: z.bayassilova@tttu.edu.kz

Сиверская Татьяна Ивановна, НАО «Қарағандинский индустриальный университет», Темиртау, Казахстан,
e-mail: t.siverskaya@tttu.edu.kz

Кунтуш Елена Викторовна, НАО «Қарағандинский индустриальный университет», Темиртау, Казахстан,
e-mail: ye.kuntush@tttu.edu.kz

Батырбек Әлібек Есімбекұлы, НАО «Қарағандинский индустриальный университет», Темиртау, Казахстан,
e-mail: a.batyrbek@tttu.edu.kz

Аннотация — В статье представлен обзор современных технологий автоматизированных электроприводов насосов, основанных на использовании частотных преобразователей. Основными преимуществами таких систем являются: повышение энергоэффективности, точность управления рабочими параметрами насосов, продление срока службы оборудования и снижение эксплуатационных расходов. Особое внимание уделено практическому применению частотных преобразователей в промышленности, включая такие области, как системы охлаждения. В работе проведен анализ продукции ведущих производителей частотных преобразователей, таких как Siemens, ABB, Danfoss, Schneider Electric и других, с выделением их особенностей и областей применения. Также рассмотрены технические и экономические аспекты внедрения автоматизированных электроприводов, включая вопросы энергосбережения, защиты оборудования и интеграции в современные системы управления. Статья предназначена для специалистов в области автоматизации, энергетики и проектирования насосных систем, а также для тех, кто интересуется современными технологиями повышения эффективности промышленного оборудования.

Ключевые слова — частотные преобразователи, насосы, асинхронный электродвигатель, энергоэффективность, Siemens, ABB, Schneider Electric, Danfoss.

НЕГІЗГІ ЕРЕЖЕЛЕР

Зерттеу барысында сорғы қондырғыларының электр жетегінде жиіліктік түрлендіргішті қолдану қозғалтқыштың айналу жиілігін технологиялық жүктемеге сәйкес дәл реттеуге мүмкіндік беретіні анықталды. Жүргізілген салыстырмалы талдау нәтижесінде Siemens, ABB, Danfoss, Schneider Electric, Mitsubishi Electric және Omron жиіліктік түрлендіргіштерінің техникалық сипаттамалары мен функционалдық

мүмкіндіктеріндегі айырмашылықтар айқындалды. Талдау нәтижелері сорғы қондырғыларының пайдалану шарттарына байланысты жиіліктік түрлендіргішті тандаудың негізгі техникалық критерийлерін анықтауға мүмкіндік берді.

Алынған нәтижелер өндірістік объектілерде энергия тұтынуды оңтайландыруға, электр жетектерінің сенімділігі мен пайдалану

тиімділігін арттыруға арналған техникалық шешімдерді негіздеу үшін қолданылуы мүмкін.

КІРІСПЕ

Қазіргі уақытта басқарылатын электр жетектерінің басым көпшілігі асинхронды электр қозғалтқыштары мен жиілікті түрлендіргіштері негізінде құрылады, мұнда жиілікті түрлендіргіші сызба бойынша орындалады басқарылмайтын түзеткіш - автономды басқарылатын кернеу инверторы; яғни, алдымен желінің электр энергиясы тұрақты токқа айналады, содан кейін инвертор айнималы жиіліктегі үш фазалы электр тогын жасайды.

Жиілікті түрлендіргіштерін асинхронды электр қозғалтқышында жасалған электр жетегі үшін реттеуші құрылғы ретінде пайдалану кезінде ашылатын мүмкіндіктер шексіз. Қазіргі заманғы электр жетегін дамытудың негізгі тенденцияларының бірі оны энергетикалық ресурстарды үнемдеу мақсатында пайдалану болып табылады. Айта кету керек, жиілік түрлендіргіштерін реттелетін электр жетегі ретінде пайдалану механизмнің жұмыс жағдайына байланысты жүйенің параметрлерін автоматты түрде өзгерту арқылы өзінің артықшылықтарын тудырады және ең үлкен әсерге жұмыс жағдайлары жиі өзгеріп, өзгеру шектері жеткілікті кең болған кезде қол жеткізіледі [1]. Реттелетін электр жетегі жүйесі механизмнің қажетті жұмыс жағдайларына байланысты реттеу параметрлерін орнатуға мүмкіндік беретін жеткілікті сенімді бағдарламалық жасақтамасы бар микроконтроллермен басқарылады. Осыған байланысты реттелетін электр жетегінің қолданылу аясы тек жоғары технологиялық салаларда ғана емес, сонымен қатар осы уақытқа дейін асинхронды қозғалтқышы бар, қысқа тұйықталған роторы бар қарапайым реттелмейтін электр жетегі дәстүрлі түрде қолданылған жерлерде де қолданыс аясы кеңейіп келеді. Бұл ретте технологиялық міндеттерді минималды шығындармен шешуге мүмкіндік беретін қолданыстағы электр жетектерінің энергетикалық тиімділігін арттыру маңызды болып отыр.

Сорғылар электр энергиясының ең көп тұтынушылары болып табылады. Бұл қондырғылар барлық салаларда кең таралған және негізгі технологиялық және қосалқы функцияларды орындайды. Қазіргі уақытта сорғы агрегаттарының жұмыс режимдерін реттеу негізінен реттеуші бекіту арматурасының көмегімен – ысырмалар және т.б. (дроссельдеу) жетек қозғалтқышының тұрақты

жылдамдығымен жүзеге асырылады. Бұл қосымша гидравликалық кедергілерді жеңуге байланысты реттеуші элементтерде қуаттың айтарлықтай жоғалуына әкеледі. Мұндай шығындардың мөлшері шығыс параметрлерін қысым мен беруді реттеу тереңдігіне байланысты және механизм тұтынатын қуаттың 50% жетуі мүмкін. Автоматтандырылған электр жетегінің қазіргі даму деңгейі басқару функцияларын сорғы агрегаттарының электр жетегіне тікелей беруге және көрсетілген шығындарды болдырмауға мүмкіндік береді. Өйткені сорғылар, желдеткіштер, үрлегіштер және т.б. әр түрлі көздер бойынша өнеркәсіпте тұтынылатын электр энергиясының 20-35% құрайды, сорғы механизмдерін реттелетін жетек жүйелеріне ауыстыру өнеркәсіптегі энергия үнемдеу саясатының маңызды бағыты болып табылады.

Сумен жабдықтау жүйесіне жиілік түрлендіргіштерін енгізу, біріншіден, «электр қозғалтқышы-қоректендіргіш сорғы - дроссель клапаны» жүйесімен салыстырғанда, жиілікпен басқарылатын электр жетектерінің жоғары экономикалық тиімділігіне байланысты, мұнда операторлар суды реттеуді қолмен жүргізеді. Екіншіден, бүгінгі күні жаңа реттелетін электр жетектерін енгізу кезінде балама жоқ.

Сорғы қондырғылары үшін жиілік түрлендіргіштерін пайдаланудың бірқатар маңызды артықшылықтары бар:

1) энергия тиімділігі: жиілік түрлендіргіштері сорғы қозғалтқышының айналу жылдамдығын сұйықтықтың ағымдағы қажеттілігіне қарай реттеуге мүмкіндік береді және электр қуатын айтарлықтай үнемдейді, әсіресе жұмыс циклі кезінде жүктемелер өзгеретін жүйелерде;

2) жабдықтың қызмет ету мерзімін ұзарту: жиілік түрлендіргіштерімен қамтамасыз етілген реттелетін іске қосу және тоқтату сорғы мен оның құрамдас бөліктеріндегі механикалық жүктемелерді азайтады, тозуды азайтады және жабдықтың қызмет ету мерзімін ұзартады;

3) басқару дәлдігі: жиілік түрлендіргіштері қысым мен беру сияқты сорғы параметрлерін дәлірек реттеуге мүмкіндік береді;

4) шу мен дірілді азайту: қозғалтқыштың жылдамдығын біркелкі реттеу діріл мен шуды азайтады, бұл жұмыс жағдайын жақсартады және ғимарат құрылымына немесе басқа инфрақұрылымға жүктемені азайтады;

5) жабдықты қорғау: көптеген жиілік түрлендіргіштері жабдықты қорғау функциясымен жабдықталған, соның ішінде шамадан тыс жүктемеден, қызып кетуден және

басқа төтенше жағдайлардан қорғау, зақымданудың алдын алуға және істен шығу қаупін азайтуға көмектеседі;

6) икемділік және бейімделу: жұмыс параметрлерін оңай реттеу мүмкіндігі сорғы жүйесіне физикалық араласуды немесе компоненттерді ауыстыруды қажет етпестен өзгертін жұмыс жағдайлары мен нақты талаптарға бейімделуге мүмкіндік береді;

7) пайдалану шығындарының төмендеуі: электр энергиясын тұтынудың төмендеуіне және жабдықтың ұзақ мерзімділігінің артуына байланысты инженерлік жүйелердің жалпы пайдалану шығындары айтарлықтай төмендейді [2].

Жиіліктік түрлендіргіштерін өндірушілердің өнімдері ең танымал компаниялар Siemens (Micromaster түрлендіргіштері), ABB, Control Techniques, Schneider Electric (Altivar түрлендіргіштері), Danfoss және Lenze. Еуропалық түрлендіргіштердің танымал өндірушілеріне VACON, elettronica Santerno, Emotron жатады. Американдық танымал өндірушілерге General Electric кіреді. Азиялық компаниялардың ішінде Жапондық Mitsubishi Electric, Omron, Hitachi, Toshiba, Fuji Electric, Корея және Тайвань елдерінің LG Hyundai Electronics, Long Shenq Electronic, Delta electronics сияқты өндірушілердің өнімдері танымал. Жиілік түрлендіргіштерін Қытай елі де шығарады, сонымен қатар қытайлық жиілік түрлендіргіштері корей жиілік түрлендіргіштерінен айырмашылығы жоғары сапалы емес. Сондай-ақ, жиілікті түрлендіргіштерін ресейлік өндірушілері бар: «Комбарко», «Веспер», «Эрасиб», «Вектор» және т.б.

Зерттеудің маңыздылығы. Өнеркәсіптік кәсіпорындарда сорғы қондырғылары электр энергиясын ең көп тұтынатын жабдықтардың бірі болып табылады. Сондықтан олардың энергия тиімділігін арттыру және пайдалану шығындарын төмендету қазіргі заманғы өндірістің өзекті міндеттерінің бірі саналады. Жиіліктік түрлендіргіштерді қолдану сорғылардың жұмыс параметрлерін дәл реттеуге, электр энергиясын үнемдеуге, жабдықтың сенімділігін арттыруға және қызмет ету мерзімін ұзартуға мүмкіндік береді. Осыған байланысты жиіліктік түрлендіргіштердің техникалық мүмкіндіктерін, өндірушілерін және қолдану ерекшеліктерін талдау инженерлік тәжірибе үшін маңызды ғылыми және практикалық мәнге ие.

Зерттеудің жаңалығы. Зерттеудің жаңалығы сорғы қондырғыларына арналған жиіліктік түрлендіргіштердің жетекші әлемдік өндірушілерінің (Siemens, ABB, Danfoss,

Schneider Electric, Mitsubishi, Omron, Hitachi, Lenze, Grundfos, Vacon және т.б.) өнімдеріне кешенді салыстырмалы талдау жүргізуінде жатыр. Сонымен қатар, олардың техникалық сипаттамалары, функционалдық мүмкіндіктері, энергия үнемдеу тиімділігі, пайдалану ерекшеліктері және өнеркәсіптің әртүрлі салаларында қолдану бағыттары жүйеленіп, оларды таңдау бойынша практикалық ұсынымдар берілді.

ӘДІСТЕР МЕН МАТЕРИАЛДАР

Аналитикалық шолу келесі кезеңдерді қамтиды: бірінші кезеңде осы бағыт бойынша дереккөздерге әдеби шолу жүргізілді; екінші кезеңде жиілікті түрлендіргіштерін автоматтандыру саласындағы үрдістер мен трендтер талданды; үшінші кезеңде жиілікті түрлендіргіштерін автоматтандырудағы ең оңтайлы үрдістер анықталды.

Omron жиілік түрлендіргіштері электр қозғалтқыштарын сапалы басқаруға арналған олар нөлдік жылдамдыққа дейін тегіс реттеуді және жылдам цикл режимдерінде дәл жұмыс істеуді және ашық және тұйық тізбегі бар кез келген режимдерде айналу моментін басқару мүмкіндігін қамтамасыз етеді. OMRON жиілік жетектері жылдамдық пен момент бойынша қатаң талаптары бар арзан жүйелерді құруға арналған ыңғайлы көп функциялы құрылғылар. Varispeed сериялы түрлендіргіштер 0,1-ден 300 кВт-қа дейінгі қуат диапазонына ие. Сондай-ақ, арнайы бағдарламалық жасақтама және кеңейту тақталарының кең ассортименті (Devicenet, Profibus және т.б.) жеткізіледі [3]. Omron жиілік түрлендіргіштері 1-ші суретте көрсетілген. Hitachi 1979 жылдан бастап жиілік түрлендіргіштерін шығарады және осы саланың әлемдік көшбасшыларының бірі болып табылады. Hitachi жиілік түрлендіргіштері электр желілерінің мүмкіндіктерін халықаралық стандарттарды ескере отырып жасайды. Түрлендіргіштер инновациялық компоненттерді пайдаланады ISPM модулі, жетілдірілген сенсорсыз векторлық басқару және өнеркәсіптік желілерге интеграциялаудың керемет мүмкіндіктері Hitachi жиілік түрлендіргіштерін кез-келген электр қозғалтқыштары мен жүйелері үшін оңтайлы таңдау жасайды. Жабдықтың ең жоғары ақауларға төзімділігі, электр қозғалтқышын қорғаудың сенімді деңгейі өз өндірісінің жоғары сапалы компоненттерімен қамтамасыз етіледі [4]. Hitachi жиілік түрлендіргіштері 2-ші суретте көрсетілген.



Сурет 1 – Omron жиілік түрлендіргіштері

Mitsubishi компаниясының жапондық FR жиілік түрлендіргіші, ең алдымен, энергияны үнемдеудің жоғарылауымен және жабдық өнімділігінің жоғарылауымен ерекшеленеді [5]. Mitsubishi жиілік түрлендіргіштері 3-ші суретте көрсетілген.

Mitsubishi жиілік түрлендіргіштерінің диапазоны 0,2-ден 630 кВт-қа дейінгі қуат диапазонын қамтиды және әртүрлі электр қозғалтқыштарын басқару функциялары бар түрлендіргіштердің бірнеше сериясын қамтиды: FR-S 500 (FR-S 520, FR-S 540), FR-E 500 ((FR-E 520, FR-E 540), FR-F 700 (FR-F 740, FR-F 746), FR-a 700 (FR-A720, FR-A 740, FR-A760). Mitsubishi жиілік түрлендіргіштерінің көпшілігі 200% шамадан тыс жүктеуге арналған.



Сурет 3 – Hitachi жиілік түрлендіргіштері

Siemens жиілік түрлендіргіштерінде желдеткіш түріндегі (центрифугалық сорғылар, желдеткіштер және т.б.) немесе тұрақты (конвейерлер, автоматты есік жетектері және т.б.) жүктемесі бар айнымалы ток қозғалтқыштарының айналуын басқару үшін қолданылатын модельдердің кең ауқымы бар. Айналу жылдамдығы өзгеретін жетек қажет болған кезде сумен жабдықтау, жылыту, желдету және кондиционерлеу қондырғыларында модельдер бар. Кейбір модельдер желдеткіш түріндегі жүктемесі бар төмен вольтты айнымалы ток қозғалтқыштарының айналу жылдамдығын өзгерту және реттеу үшін қолданылады, мұнда бастапқы момент пен шамадан тыс жүктемеден



Сурет 2 – Omron жиілік түрлендіргіштері

Schneider Electric жиілік түрлендіргіштері ең жаңа технологиялардың, көп функционалдылықтың және арзан бағаның арқасында электр қозғалтқыштарын басқару саласындағы кез-келген міндеттерге сәйкес келеді және конвейер жабдықтарында, көтеру механизмдері мен тасымалдау желілерінде, орау машиналарының жетектерінде, сорғы станцияларында, желдету және компрессорлық жүйелерде және т.б. түрлендіргіштер конфигурациялау және бағдарламалау бойынша кең мүмкіндіктерге ие, бұл сонымен қатар қосымша модульдерді орнату мүмкіндігі жабдықты қолдану аясын барынша кеңейтуге мүмкіндік береді [6]. ATV Altivar жиілік түрлендіргіштері 4-ші суретте көрсетілген.



Сурет 4 – ATV Altivar жиілік түрлендіргіштері

қорғау ерекше маңызды [7]. Siemens жиілік түрлендіргіштері 5-ші суретте көрсетілген.

LENZE жиілік түрлендіргіштері SMD және SMV типтерінің сериясымен ұсынылған. SMD сериялы түрлендіргіштер (скалярлық басқару) – 0,25-тен 22 кВт-қа дейінгі қуат диапазонындағы стандартты есептер үшін үнемді шешім. Lenze жиілік түрлендіргіші тек негізгі функциялармен жабдықталған, сондықтан оның құны төмен. SMV сериялы жиілік түрлендіргіштері (векторлық басқару) – ыңғайлы пернетақтаның және бірнеше секундты алатын ыңғайлы бағдарламалаудың арқасында басқару оңай [8]. LENZE жиілік түрлендіргіштері 6-суретте көрсетілген.



Сурет 5 – Siemens жиілік түрлендіргіштері



Сурет 6 – LENZE жиілік түрлендіргіштері

Электр энергиясын өндіруге, беруге және таратуға арналған электр жабдықтарын өндіруге мамандандырылған Халықаралық электротехникалық концерн. Компания екі сериялы төмен вольтты АВВ жиілік түрлендіргіштерін шығарады. CompAC (компоненттік жетектер) – өнеркәсіптің барлық салаларында және коммуналдық салада жаппай қолдануға арналған жетектер. ACS жиілік түрлендіргіштері (ACS550, ACS350, ACS150 және т.б.) реттеу сапасының жоғары көрсеткіштерін талап ететін қосымшаларда қолдануға арналған өнеркәсіптік және жүйелік жетектер [9]. АВВ жиілік түрлендіргіштері 7-ші суретте көрсетілген.

Danfoss компаниясының өндірістік бағдарламасында жиілік түрлендіргіштерінің бірнеше сериясы бар: әмбебап, жалпы

өнеркәсіптік және мамандандырылған, жылыту, желдету және ауаны баптау жүйелерінде, су секторында қолдануға арналған. Жиілік түрлендіргіштерінің барлық серияларының функционалдығы қуат тұтынуды оңтайландырады, электр қозғалтқышын толық қорғайды және бүкіл жүйені бақылауға мүмкіндік береді. Danfoss VLT Aqua жиілік түрлендіргіштері (FC 202 және т.б.) сумен жабдықтау және су бұру жүйелерінде, Danfoss VLT HVAC – жылыту, желдету және ауаны баптау жүйелерінде пайдалануға арналған. Барлық Danfoss жиілік түрлендіргіштерінде аралық тізбектің тогын тегістейтін DC тізбегінде кіріктірілген гармоникалық сүзгі бар. Осының арқасында Danfoss жиілік түрлендіргіштері желідегі жүктемені шектей алады [10]. Danfoss жиілік түрлендіргіштері 8-ші суретте көрсетілген.



Сурет 7 – АВВ жиілік түрлендіргіштері



Сурет 8 – Danfoss жиілік түрлендіргіштері

CUE Grundfos – Grundfos сорғыларының кең ауқымының айналу жиілігін реттеуге арналған жиілік түрлендіргіштерінің сериясы. Жиілік түрлендіргіштері орнатылған электр қозғалтқыштары бар сорғылар Grundfos компаниясында «Е-сорғылар» деп аталады. Grundfos CUE жиілік түрлендіргіші өнеркәсіп, коммуналдық шаруашылық, қалалық және тұрмыстық сумен жабдықтау, кәріз және суару сияқты көптеген салаларда жұмыс істейтін сорғы жабдықтары үшін арнайы жасалған. Жиілік түрлендіргіштерінің бұл сериясы ұқсас функцияларға ие және электр қозғалтқышына ендірілген жиілік түрлендіргіштерімен жеткізетін Grundfos E сорғыларымен арнайы пайдаланушы

интерфейсіне ие [11]. CUE Grundfos жиілік түрлендіргіштері 9-шы суретте көрсетілген.

1993 жылы құрылған финдік Vacon компаниясы асинхронды қозғалтқыштарды басқару үшін жиілік түрлендіргіштерін әзірлеуге, өндіруге және енгізуге маманданған. Vacon жиілік түрлендіргіштерін кең қуат диапазонына (300 Вт-тан 3 МВт-қа дейін) және кернеулерге (220В-тан 690В-қа дейін) ұсынады. Бастапқыда компания SH сериялы түрлендіргіштерді шығарды, 2000 жылы жаңа буын – NX (NXL, NXS, NXP және т.б.) Vacon жиілік түрлендіргіштері пайда болды [12]. Vacon жиілік түрлендіргіштері 10-шы суретте көрсетілген.



Сурет 9 – CUE Grundfos жиілік түрлендіргіштері

Оңтүстік Кореяның LG Industrial Systems компаниясы (LG компаниялар тобы) – Кореядағы өнеркәсіптік автоматтандыру құралдары нарығының көшбасшысы [13]. LG Industrial Systems жиілік түрлендіргіштері 11-ші суретте көрсетілген.

LG жиілік түрлендіргіштері функционалдылықты, тиімділікті, орнату және пайдалану ыңғайлылығын ажыратады. LG Industrial Systems жиілік түрлендіргіштері келесі сериялармен ұсынылған: IC-5, IG-5A, is-5, IS-7, IP-5A, IE-5 және т.б. [13].

Асинхронды айнымалы ток қозғалтқыштарына арналған IGBT



Сурет 11 – LG Industrial Systems жиілік түрлендіргіштері

НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ТАЛҚЫЛАУ

Сорғы қондырғыларындағы жиілікті түрлендіргіштерге аналитикалық шолу негізінде келесі нәтижелер жасауға болады:

Энергия тиімділігі және экономикалық пайда. Сорғы қондырғыларында жиілік түрлендіргіштерін пайдалану энергия тиімділігі тұрғысынан айтарлықтай артықшылықтарды көрсетеді. Сорғы қозғалтқышының айналу жылдамдығын сұйықтықтың ағымдағы қажеттілігіне қарай реттеу электр энергиясын тұтынуды айтарлықтай азайтуға мүмкіндік береді. Бұл әсіресе жұмыс циклі кезінде жүктемелер өзгертін жүйелерде байқалады. Дәстүрлі реттеу әдістерінің орнына жиілік түрлендіргіштерін енгізу (мысалы, дроссельдеу)



Сурет 10 – Vacon жиілік түрлендіргіштері

транзисторларындағы Веспер жиілік түрлендіргіші сенімділікті, функционалдылықты, жоғары жүктеме сыйымдылығын және төмен бағаны біріктіреді. Веспер жиілік түрлендіргіштері он модельден тұрады: EI-7011 сериялы жалпы өнеркәсіптік мақсаттағы Веспер жиілік түрлендіргіштері, EI - P7002 сериялы Веспер сорғы түрлендіргіші, E3-8100 және EI-9011 векторлық типті жиілік түрлендіргіштері және т.б. Сонымен қатар, Веспер компаниясы EI-8300 және EI-8001 шағын жиілік түрлендіргіштерін, EI-MINI корпуссыз жиілік түрлендіргіштерін шығарады [14]. Веспер жиілік түрлендіргіштері 12-ші суретте көрсетілген.



Сурет 12 – Веспер жиілік түрлендіргіштері

қосымша гидравликалық кедергілерді жеңуге байланысты қуат шығынын болдырмайды. Мұндай шығындар қуат тұтынудың 50% - на жетуі мүмкін, бұл реттелетін жетек жүйелеріне ауысуды энергияны үнемдеудің маңызды қадамына айналдырады.

Жабдықтың қызмет ету мерзімін ұзарту. Жиілік түрлендіргіштері қозғалтқыштардың тегіс іске қосылуын және тоқтауын қамтамасыз етеді, бұл сорғылар мен олардың құрамдас бөліктеріндегі механикалық кернеулерді азайтады. Бұл жабдықтың тозуын азайтуға және оның қызмет ету мерзімін ұзартуға әкеледі. Сонымен қатар, діріл мен шуды азайту жұмыс жағдайларын жақсартады және инфрақұрылымдық жүктемені азайтады.

Басқару дәлдігі және бейімделу. Жиілік түрлендіргіштері сорғылардың қысым мен сұйықтық беру сияқты параметрлерін дәл реттеуге мүмкіндік береді. Бұл әсіресе сумен жабдықтау жүйелері немесе технологиялық процестер сияқты белгілі бір жағдайларды сақтауды қажет ететін жүйелерде өте маңызды. Жұмыс параметрлерін оңай реттеу мүмкіндігі сорғы жүйелерін физикалық араласуды немесе компоненттерді ауыстыруды қажет етпестен өзгеретін жұмыс жағдайларына бейімдеуге мүмкіндік береді.

Жабдықты қорғау. Көптеген жиілік түрлендіргіштері шамадан тыс жүктемеден, қызып кетуден және басқа төтенше жағдайлардан қорғау сияқты жабдықты қорғау мүмкіндіктерімен жабдықталған. Бұл зақымданудың алдын алуға және жабдықтың істен шығу қаупін азайтуға көмектеседі, бұл оның беріктігіне де оң әсер етеді.

Өндірушілер мен модельдердің кең таңдауы. Нарықта Siemens, ABB, Schneider Electric, Danfoss, Mitsubishi, Omron және басқалары сияқты жиілік түрлендіргіштерінің көптеген өндірушілері бар. Олардың әрқайсысы әртүрлі функциялары мен сипаттамалары бар модельдердің кең спектрін ұсынады, бұл нақты тапсырмалар үшін оңтайлы шешімді таңдауға мүмкіндік береді. Мысалы, Mitsubishi түрлендіргіштері энергияны үнемдеудің жоғарылауымен ерекшеленеді, ал Schneider Electric өнімдері көп функциялы және қол жетімді бағамен танымал, Omron түрлендіргіштері жылдамдықты біркелкі реттеуге және циклдік режимдерде дәл жұмыс істеуге мүмкіндік береді, ал Hitachi жоғары ақауларға төзімділік пен өнеркәсіптік желілерге интеграцияны ұсынады. Сонымен қатар «Комбарко», «Веспер», «Эрасиб» және «Вектор» сияқты ресейлік компаниялар да жиілік түрлендіргіштерінің өндірісін белсенді дамытуда. Олардың өнімдері әлемдік стандарттардан кем түспейді және әртүрлі салалар үшін бәсекеге қабілетті шешімдерді ұсынады.

Әр түрлі салаларда қолдану. Жиілік түрлендіргіштері сумен жабдықтау, жылыту, желдету, ауаны баптау, өнеркәсіптік конвейерлер, көтеру механизмдері және басқаларын қоса алғанда, көптеген салаларда қолданылады. Бұл олардың әмбебаптығын және әртүрлі жұмыс жағдайларына жоғары бейімделуін көрсетеді.

Жиілік түрлендіргіштерін электр жетектерін басқару жүйелеріне енгізу энергия тиімділігін арттырудағы және пайдалану шығындарын азайтудағы маңызды қадам болып табылады. Алайда, айқын артықшылықтарға қарамастан, кейбір шектеулер бар.

Сонымен қатар, түрлендіргіштердің сапасы, әсіресе Қытайда шығарылатындар, әр түрлі болуы мүмкін, бұл жеткізушілер мен модельдерді мұқият таңдауды қажет етеді. «Комбарко» сияқты Ресейлік өндірушілер бәсекеге қабілетті шешімдерді ұсынады, бірақ олардың нарықтағы үлесі әлі де аз.

Жалпы, сорғы қондырғыларында және электр жетектерін басқарудың басқа жүйелерінде жиілік түрлендіргіштерін пайдалану энергия тиімділігін арттыруға, пайдалану шығындарын азайтуға және жабдықтың қызмет ету мерзімін ұзартуға ықпал ететін перспективалы бағыт болып табылады.

ҚОРЫТЫНДЫ

Жиілік түрлендіргіштеріне негізделген сорғылардың автоматтандырылған электр жетектері сорғы жүйелерін басқарудың энергия тиімділігін, сенімділігін және дәлдігін арттырудың ең тиімді шешімдерінің бірі болып табылады. Мұндай технологияларды енгізу энергия тұтынуды едәуір төмендетіп қана қоймай, жабдықтың қызмет ету мерзімін ұзарту және төтенше жағдайлардың алдын алу арқылы пайдалану шығындарын азайтуға мүмкіндік береді.

Заманауи технологиялар мен шешімдерге шолу Siemens, ABB, Danfoss және Schneider Electric сияқты жетекші өндірушілердің жиілік түрлендіргіштері сорғы жүйелерінің өзгермелі жұмыс жағдайларына жоғары икемділігі мен бейімделуін қамтамасыз ететінін көрсетті. Бұл әсіресе сумен жабдықтау, өнеркәсіп және салқындату жүйелері сияқты салаларда өте маңызды, мұнда жабдықтың параметрлерін дәл реттеу қажет.

Дегенмен, автоматтандырылған электр жетектерін енгізу жабдықтың жоғары бастапқы құнын, білікті персоналдың қажеттілігін және киберқауіпсіздікті қамтамасыз етуді қоса алғанда, бірқатар техникалық және экономикалық қиындықтарды қамтиды.

Бұл саланың даму перспективалары IoT, жасанды интеллект және болжамды аналитика сияқты цифрлық технологияларды одан әрі біріктірумен байланысты, бұл сорғы қондырғыларын басқарудың толық автономды және өзін-өзі оқытатын жүйелерін құруға мүмкіндік береді.

АВТОРЛЫҚ ҮЛЕС

(CRediT таксономиясы)

Серикболатұлы А. – зерттеу тұжырымдамасы (Conceptualization), әдебиеттерді талдау (Investigation), мақаланың бастапқы нұсқасын дайындау (Writing – original draft).

Баясилова З.А. – материалдарды жинақ-тау және талдау (Data curation, Formal analysis), мақаланы редакциялау (Writing – review & editing).

Сиверская Т.И. – ғылыми кеңес беру (Supervision), әдістемелік қамтамасыз ету (Methodology).

Кунтуш Е.В. – техникалық ақпаратты жүйелеу және визуализация (Visualization, Validation).

Батырбек Ә.Е. – жұмысты үйлестіру, қорытынды редакциялау және нәтижелерді тексеру (Project administration, Validation, Writing – review & editing).

МҮДДЕЛЕР ҚАҚТЫҒЫСЫ

Автор осы зерттеуді орындау және мақаланы жариялау барысында мүдделер қайшылығы жоқ екенін мәлімдейді.

ҚАРЖЫЛАНДЫРУ

Авторлар осы зерттеуді орындау кезінде сыртқы қаржыландырудың жоқтығын мәлімдейді.

АЛҒЫС

Авторлар мақаланы жетілдіруге бағытталған құнды ұсыныстары мен ескертулері үшін журналдың редакциялық алқасы мен рецензенттеріне шынайы алғыстарын білдіреді.

Авторлық құқық © 2025 автор(лар)ға тиесілі. Бұл мақала Creative Commons Attribution–ShareAlike 4.0 International (CC BY-SA 4.0) лицензиясы бойынша ашық қолжетімді болып табылады. Лицензия түпнұсқа еңбекке тиісті түрде сілтеме жасалған жағдайда, кез келген ортада пайдалануға, таратуға және қайта жариялауға рұқсат береді. Туынды материалдар осы лицензияның дәл осындай шарттарымен таратылуы тиіс.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- [1] М. А. Мустафин, Н. К. Алмуратова и С. С. Табултаев, Энергосберегающий электропривод центробежных насосов: учебное пособие (для магистрантов специальности «Электроэнергетика»). Алматы, Казахстан: АУЭС, 2016.
- [2] Г. И. Колесников, Автоматизация и управление в электроэнергетике. Санкт-Петербург, Россия: Энергоатомиздат, 2017.
- [3] Omron частотные преобразователи. [Электронный ресурс]. Доступно: <https://driveka.ru/catalog/418.html>. Дата обращения: 25 февраля 2025 г.
- [4] Hitachi частотные преобразователи. [Электронный ресурс]. Доступно: https://privod-in.ru/catalog/preobrazovateli_chastoty/hitachi/. Дата обращения: 25 февраля 2025 г.
- [5] Mitsubishi Electric частотные преобразователи. [Электронный ресурс]. Доступно: <https://atp.kz/mitsubishi-electric.html>. Дата обращения: 25 февраля 2025 г.
- [6] Schneider Electric Altivar (ATV) частотные преобразователи. [Электронный ресурс]. Доступно: <https://gekoms.org/catalog-schneider-electric-atv610/>. Дата обращения: 25 февраля 2025 г.
- [7] Siemens SINAMICS V20 частотные преобразователи. [Электронный ресурс]. Доступно: https://pe-ko.com.ua/uk/preobraz_sinamics_v20_2404. Дата обращения: 25 февраля 2025 г.
- [8] LENZE частотные преобразователи. [Электронный ресурс]. Доступно: https://pe-ko.com.ua/uk/preobraz_sinamics_v20_2404. Дата обращения: 25 февраля 2025 г.
- [9] ABB частотные преобразователи. [Электронный ресурс]. Доступно: <https://xn----8sbelcsnbf2avfz4m.xn--p1ai/catalog/chastotnyy-preobrazovatel-abb/>. Дата обращения: 25 февраля 2025 г.
- [10] Danfoss частотные преобразователи. [Электронный ресурс]. Доступно: <https://alltech.kz/p117652222-chastotnyj-preobrazovatel-danfoss.html>. Дата обращения: 25 февраля 2025 г.
- [11] Grundfos CUE частотные преобразователи. [Электронный ресурс]. Доступно: <https://www.glavobjekt.ru/nasosnye-ustanovki/chastotnyj-preobrazovatel-dlya-nasosov-grundfos-cue.html>. Дата обращения: 25 февраля 2025 г.
- [12] VACON 100 FLOW частотные преобразователи. [Электронный ресурс]. Доступно: <https://invert.by/shop/products/preobrazovateli-chastoty/vacon/vacon-100-flow-075-160-kvt/>. Дата обращения: 25 февраля 2025 г.
- [13] LS (LG Industrial Systems) частотные преобразователи. [Электронный ресурс]. Доступно: <https://eleksun.com.ua/blog/article/ls-promyslovi-systemy-chastotni-transformatory>. Дата обращения: 25 февраля 2025 г.
- [14] Веспер частотные преобразователи. [Электронный ресурс]. Доступно: https://privod-in.ru/catalog/preobrazovateli_chastoty/vesper/. Дата обращения: 25 февраля 2025 г.

[15] CombiVario частотные преобразователи. [Электронный ресурс]. Доступно: <https://infourok.ru/novye-preobrazovateli-chastoty-combivario-4815278.html>. Дата обращения: 25 февраля 2025 г.

REFERENCES

[1] M. A. Mustafin, N. K. Almuratova, and S. S. Tabultaev, Energy-Efficient Electric Drive of Centrifugal Pumps: Study Guide for Master's Students in Electric Power Engineering. Almaty, Kazakhstan: AUES, 2016.

[2] G. I. Kolesnikov, Automation and Control in Electric Power Engineering. St. Petersburg, Russia: Energoatomizdat, 2017.

[3] "Omron Frequency Converters," [Online]. Available: <https://driveka.ru/catalog/418.html>. Accessed: Feb. 25, 2025.

[4] "Hitachi Frequency Converters," [Online]. Available: https://privod-in.ru/catalog/preobrazovateli_chastoty/hitachi/. Accessed: Feb. 25, 2025.

[5] "Mitsubishi Electric Frequency Converters," [Online]. Available: <https://atp.kz/mitsubishi-electric.html>. Accessed: Feb. 25, 2025.

[6] "Schneider Electric Altivar (ATV) Frequency Converters," [Online]. Available: <https://gekoms.org/catalog-schneider-electric-atv610/>. Accessed: Feb. 25, 2025.

[7] "Siemens SINAMICS V20 Frequency Converters," [Online]. Available: https://pe-ko.com.ua/uk/preobraz_sinamics_v20_2404. Accessed: Feb. 25, 2025.

[8] "LENZE Frequency Converters," [Online]. Available: https://pe-ko.com.ua/uk/preobraz_sinamics_v20_2404. Accessed: Feb. 25, 2025.

[9] "ABB Frequency Converters," [Online]. Available: <https://xn----8sbelcsnbf2avfz4m.xn--p1ai/catalog/chastotnyy-preobrazovatel-abb/>. Accessed: Feb. 25, 2025.

[10] "Danfoss Frequency Converters," [Online]. Available: <https://alltech.kz/p117652222-chastotnyj-preobrazovatel-danfoss.html>. Accessed: Feb. 25, 2025.

[11] "Grundfos CUE Frequency Converters," [Online]. Available: <https://www.glavobjekt.ru/nasosnye-ustanovki/chastotnyj-preobrazovatel-dlya-nasosov-grundfos-cue.html>. Accessed: Feb. 25, 2025.

[12] "VACON 100 FLOW Frequency Converters," [Online]. Available: <https://invert.by/shop/products/preobrazovateli-chastoty/vacon/vacon-100-flow-075-160-kvt/>. Accessed: Feb. 25, 2025.

[13] "LS (LG Industrial Systems) Frequency Converters," [Online]. Available: <https://eleksun.com.ua/blog/article/ls-promyslovi-systemy-chastotni-transformatory>. Accessed: Feb. 25, 2025.

[14] "Vesper Frequency Converters," [Online]. Available: https://privod-in.ru/catalog/preobrazovateli_chastoty/vesper/. Accessed: Feb. 25, 2025.

[15] "CombiVario Frequency Converters," [Online]. Available: <https://infourok.ru/novye-preobrazovateli-chastoty-combivario-4815278.html>. Accessed: Feb. 25, 2025.