

АННОТАЦИЯ

PhD философия докторы ғылыми дәрежесін алу үшін дайындалған
диссертацияға

Білім беру бағдарламасы 8D07103 – «Электр энергетикасы»

КУЛИКОВ АНАТОЛИЙ ПЕТРОВИЧ

НЕГІЗГІ ТАСПАЛЫ КОНВЕЙЕРДІҢ РЕТТЕЛЕТІН ҚОС МОТОРЛЫ АСИНХРОНДЫ ЭЛЕКТРЖЕТЕГІН ӘЗІРЛЕУ ЖӘНЕ ЗЕРТТЕУ

Зерттеудің өзектілігі. Қазақстан Республикасының экономикасындағы негізгі салалардың бірі – тау-кен өндірісі. Қазақстан мыс қоры бойынша әлемде үшінші, ал мырыш қоры бойынша бірінші орын алады.

Руданы өндіру және байыту – бұл тау-кен металлургия өнеркәсібінің ажырамас бөлігі. Руданы жерасты кенішінен жер бетіне шығару және оны өндірістік бөлімшелер арасында тасымалдау ағынды-көліктік жүйе арқылы жүзеге асады. Бұл жүйелердегі негізгі көлік түрі – магистралды ленталық конвейер, ол руданы ұзақ қашықтықтарға және кейде 15-20 градус еңісте тасымалдауды қажет етеді. Мұндай конвейерлерді іске қосу үшін қуаты 500 кВт және одан жоғары электржетек қажет. ГОСТ 31558-2012 стандартына сәйкес, қуаты 250 кВт және одан жоғары жетектер қосымша жетектермен жабдықталуы тиіс, ал таспа жылдамдығы 0,5 м/с-тен аспауы керек. Бұл қуат екі бірдей қозғалтқыштың бір барабанды айналдыруы арқылы қамтамасыз етіледі. Мұндай жүйелерде қозғалтқыштардың синхронды жұмысы маңызды, бұл автоматты реттегіш арқылы жүзеге асады. Қозғалтқыштардың келісілмеген жұмысы энергия шығынын арттырады.

Мұндай жүйелерді пайдалану кезінде қозғалтқыштардың синхронды жұмысын қамтамасыз ету – басты мәселе. Жүктеменің біркелкі бөлінбеуі бір қозғалтқышқа шамадан тыс күш түсіреді, бұл оның тозуына және жөндеу аралығындағы уақыттың қысқаруына әкеледі.

Синхронды жұмысты автоматты реттегіштің дұрыс параметрлерін орнату арқылы қамтамасыз етуге болады. Реттегіштің параметрлері дұрыс таңдалмаған жағдайда лентада тербелістер пайда болып, ол лентаның мерзімінен бұрын тозуына және жүйенің тиімділігінің төмендеуіне алып келеді. Электр энергиясының шығынын азайту үшін реттегіш параметрлерін жүктеме ағынына байланысты өзгерту қажет.

Диссертациялық жұмыстың мақсаты – магистралды ленталық конвейердің екі қозғалтқышты электржетегін оңтайлы басқару арқылы конвейер таспасының, электржетектің механикалық бөлігінің ресурсын ұлғайту және энергия тиімділігін арттыру.

Зерттеу нысаны – магистралды ленталық конвейердің реттелетін екі қозғалтқышты асинхронды электржетегі.

Ғылыми мәселе:

– жетектер арасындағы жүктемені бөлу;

– іске қосу режимдеріндегі екі қозғалтқышты асинхронды электржетектің динамикалық сипаттамаларын зерттеу қажеттілігі.

Жұмыстың идеясы – материал тасымалдау процесінде өзгермелі жүктеме ағынын ескеретін магистралды ленталық конвейердің екі қозғалтқышты асинхронды электржетегіне бейімделгіш басқару жүйесін әзірлеу.

Зерттеу міндеттері:

– ленталық конвейердің асинхронды екі қозғалтқышты электржетегінің қолданыстағы техникалық шешімдерін талдау;

– орныққан және іске қосу режимдеріндегі, сондай-ақ өзгермелі жүктеме ағынын ескеретін бұзушы факторларды талдау;

– электржетектің математикалық моделін құру және оның теориялық және тәжірибелік деректер арқылы сәйкестігін бағалау;

– орныққан және іске қосу режимдерінде өзгермелі жүктеме ағынын ескере отырып, оңтайлылық критерийлерін әзірлеу;

– ленталық конвейердің реттелетін электржетегін басқару жүйесінің бейімделу контурын синтездеу;

– өзара байланысқан екі қозғалтқышты электржетектің автоматты басқару жүйелері синтездеу;

– екі қозғалтқышты электржетектің басқару жүйесінің аппараттық бөлігін әзірлеу;

– өнеркәсіптік сынақтар барысында ұсынылған бейімделгіш автоматты реттеу жүйесінің тиімділігін бағалау.

Ғылыми жаңалығы:

– конвейер таспасының серпімділігі, ұзындығы және жұмыс барысындағы өзгермелі жүктеме ағынын ескеретін екі қозғалтқышты реттелетін асинхронды электржетекті оңтайлы басқару критерийлерінің аналитикалық тәуелділіктері;

– іске қосу және орныққан режимдерде таспа ресурсын ұлғайтатын екі қозғалтқышты реттелетін асинхронды электржетекке арналған бейімделгіш автоматты басқару жүйелері синтезі;

– өзгермелі жүктеме ағыны бар ленталық конвейердің бұзушы факторларының динамикалық сипаттамалары.

Қорғауға ұсынылатын негізгі ғылыми ережелер мен нәтижелер:

– конвейер таспасының қаттылығын, ұзындығын және өзгермелі жүктеме ағынын ескеретін екі қозғалтқышты реттелетін асинхронды электржетекпен жабдықталған магистралды ленталық конвейердің электромеханикалық жүйесінің математикалық және имитациялық модельдері;

– жетекші қозғалтқыштың электромагниттік моменті бойынша кері байланыс және жүктеме ағынының өзгеруіне байланысты реттегіш коэффициенттерін бейімдейтін бейімделгіш реттегіш бар магистралды ленталық конвейердің екі қозғалтқышты электржетегін реттеу жүйесінің құрылымы.

Зерттеу әдістері.

Асинхронды электржетектің энергия тиімділігі саласындағы отандық және шетелдік зерттеушілердің еңбектеріне шолу жасау. Екі қозғалтқышты өзара байланысты асинхронды электржетекті басқару жүйесін құру бойынша әлемдік

тәжірибені зерттеу (ғылыми еңбектермен, патенттермен және авторлық куәліктермен расталған). Автоматтандырылған басқару теориясының ғылыми қағидалары, электротехниканың негіздері, электр машиналары және ленталық конвейердің екі қозғалтқышты асинхронды электржетегін құруда кеңінен қолданылатын электржетек теориясы пайдаланылды.

Эксперименттік деректер ЖШС «Жайрем тау-кен байыту комбинатының» өндірістік алаңында орналасқан магистралды ленталық конвейердің екі қозғалтқышты асинхронды электржетегінің ток, электромагниттік моменттер және айналу жиілігінің осциллограммаларын түсіру арқылы алынды.

Магистралды ленталық конвейердің екі қозғалтқышты жиілікпен реттелетін асинхронды электржетегінің имитациялық моделі Matlab/Simulink бағдарламалық пакеті арқылы жасалды. Алынған модельдің сәйкестігі Фишер критерийі арқылы бағаланды. Басқару жүйесінің реттегішін синтездеу және бейімделгіш момент реттегішін әзірлеу де Matlab/Simulink бағдарламалық ортасында жүзеге асырылды.

Практикалық маңыздылығы:

– ленталық конвейердің екі қозғалтқышты электржетегінің өзгермейтін бөлігінің шектеулерін ескеретін бейімделгіш автоматты басқару жүйелері техникалық тұрғыдан іске асыру;

– іске қосу және орныққан режимдерде бейімделу контурының тиімділігін бағалау.

Алынған нәтижелерді өндіріске енгізу тәжірибесі.

Теориялық зерттеу нәтижелері ЖШС «Жайрем тау-кен байыту комбинатының» магистралды ленталық конвейерінде жүргізілген өнеркәсіптік сынақтармен расталды. Өнеркәсіптік сынақтар актісі диссертацияның қосымшасында берілген (Қосымша А).

Ғылыми ережелердің, тұжырымдардың және ұсыныстардың негізділігі мен шынайылығы.

Теориялық зерттеулер Абылқас Сагинов атындағы Қарағанды техникалық университетінің «Өндірістік процестерді автоматтандыру» кафедрасында және Ресейдің Екатеринбург қаласындағы Б.Н. Ельцин атындағы Урал федералдық университетінің «Электржетек және өнеркәсіптік қондырғыларды автоматтандыру» кафедрасында жүргізілді.

Теориялық зерттеулер барысында алынған есептеулер мен қорытындылар ЖШС «Жайрем тау-кен байыту комбинатының» өндірістік алаңында жүргізілген өнеркәсіптік сынақтардың нәтижелерімен расталды.

Диссертациялық жұмыстың қорытындылары автоматтандырылған электржетектердің энергия тиімділігі саласындағы жетекші мамандар тұжырымдаған ғылыми қағидалармен сәйкес келеді, бұл олардың негізділігі мен шынайылығын дәлелдейді.

Автордың жеке үлесі:

Магистралды ленталық конвейерге арналған екі қозғалтқышты жиілікпен реттелетін асинхронды электржетектің имитациялық моделін жасау, бейімделгіш момент реттегішін әзірлеу, сондай-ақ теориялық зерттеулер мен эксперименттердің барлық нәтижелері автордың тікелей өзі немесе оның

белсенді қатысуымен орындалған. Дайындалған басқару жүйесінің сынақтары өнеркәсіптік кәсіпорын жағдайында жүргізілді. Бірлескен авторлықтағы жарияланымдарда автор эксперименттік зерттеулердің нәтижелері, талдау жүргізу, материалдарды дайындау, ресімдеу, жіберу және сүйемелдеу жұмыстарына жауап береді.

Жұмысты апробациялау.

Диссертациялық жұмыстың негізгі нәтижелері 7 ғылыми жарияланымда ұсынылған, олардың ішінде:

– Scopus ғылыми деректер базасына енгізілген басылымда – 1 мақала;

1. Optimizing the operation of a double-motor asynchronous frequency-controlled electric drive of the main belt conveyor in startup mode // International Journal on Energy Conversion (IRECON). – 2023. – Vol. 11, №5. – P. 170-182 (Scopus пайыздық көрсеткіші – «Energy Engineering and Power Technology» санатында 53).

– Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым және жоғары білім саласындағы сапаны қамтамасыз ету комитеті ұсынған басылымдарда – 3 мақала:

1. Analyzing the main belt conveyor dual-motor asynchronous electric drive operating modes // Тр. КарТУ. – 2022. – №3. – Б. 327-333.

2. Методы теоретических исследований электропривода ленточного конвейера: подходы, моделирование и оценка // Тр. КарТУ. – 2025. – №1. – Б. 414-420.

3. Modeling of an induction motor driven by a frequency converter // Вестник Торайгыров университета. Энергетическая серия. – 2025. – №1. – Б. 201-215.

– халықаралық ғылыми конференциялар материалдарында – 3 мақала:

1. Simulation of an electric conveyor drive using Simulink Matlab // 2024 IEEE 22nd World Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics, SAMI 2024 - Proceedings, 2024. – P. 513-518 (Scopus дерекқорына енгізілген).

2. Machine learning modeling and simulation of asynchronous electric drive // 2024 IEEE 6th International Symposium on Logistics and Industrial Informatics, LINDI 2024 - Proceedings, 2024. – P. 95-102 (Scopus дерекқорына енгізілген).

3. Оптимизация работы двухдвигательного асинхронного частотно-регулируемого электропривода магистрального ленточного конвейера // Труды Международной научно-практической конференции «XVI Сагиновские чтения. Интеграция образования, науки и производства» (2-бөлім – Б. 57-59).

– ҚР-да пайдалы модельге 1 патент алынған: «Ленталық конвейердің екі қозғалтқышты жиілікпен реттелетін электржетегін басқару жүйесі» – Пайдалы модельге ҚР патенті №9314, 28.06.2024 ж. (Қосымша Б).

Диссертацияның құрылымы мен көлемі:

Диссертация кіріспеден, төрт тараудан, қорытынды мен қосымшалардан тұрады. Жұмыс 85 бет машинкамен терілген мәтіннен, 40 суреттен, 11 кестеден, 2 қосымшадан және 101 атаудан тұратын пайдаланылған әдебиеттер тізімінен құралған.

Диссертацияның мазмұны:

Кіріспеде зерттеліп отырған мәселенің қазіргі жай-күйі сипатталып, зерттеудің өзектілігі негізделеді. Жұмыстың мақсаты мен міндеттері анықталып, ғылыми жаңалығы, қорғауға ұсынылатын негізгі ғылыми ережелер мен зерттеу нәтижелері көрсетіледі, алынған деректердің практикалық маңызы атап өтіледі.

Бірінші тарауда зерттеліп отырған мәселенің қазіргі жағдайы баяндалып, әдеби дереккөздерге шолу жасалған. Жүргізілген талдау екі қозғалтқышты асинхронды жетектің жұмыс ерекшеліктерін және оның энергия тиімділігі мен ұзақ мерзімділігіне елеулі әсер ететін негізгі технологиялық параметрлерді анықтауға мүмкіндік берді.

Магистралды ленталық конвейердің екі қозғалтқышты асинхронды электржетегінің іске қосу, технологиялық және апаттық режимдердегі жұмыс ерекшеліктері қарастырылған. Теориялық және эксперименттік зерттеу әдістері сипатталып, оларға қойылатын талаптар тұжырымдалған.

Жүргізілген талдау магистралды ленталық конвейердің энергия тиімділігін арттыру және оның қызмет ету мерзімін ұзарту мәселесінің өзектілігін көрсетті.

Зерттеудің мақсаты мен міндеттері нақты айқындалған.

Екінші тарауда ленталық конвейерлердің екі қозғалтқышты асинхронды электржетегімен жұмысын теориялық зерттеуге назар аударылған. Жиілікпен реттелетін асинхронды қозғалтқыштың параметрлерінің есебі және имитациялық моделін құру екі әдіспен жүргізілді: скалярлық басқару әдісі қолданылған линеаризацияланған жүйе үлгісі бойынша; өзара өтпелі байланыстары өтелген векторлық басқару жүйесі бар асинхронды жетек моделі бойынша. Бірінші жағдайда жылдамдық реттегішінің синтезі Вышнеградский диаграммасын пайдалана отырып, түбірлік әдіспен орындалды. Сипаттамалық теңдеудің ретін төмендету бойынша қабылданған жорамал негізінде бұрыштық жылдамдықтың артық реттелуінің қателігі 0,014% құрады. Екінші жағдайда жылдамдық реттегіші «модульдік оптимум» принципі бойынша синтезделді.

Руда тасымалдайтын ленталық конвейерді басқаруда скалярлық емес, векторлық басқару режимін қолдану орынды. Себебі, векторлық басқару қозғалтқыштың жылдамдығы мен моментін дәл реттеуге мүмкіндік береді, бұл ауыр материалдармен жұмыс істеуде маңызды. Бұл іске қосудың және тоқтатудың бірқалыпты болуын, механикалық жүктемелердің төмендеуін және жабдықтың қызмет ету мерзімінің ұзартылуын қамтамасыз етеді. Векторлық басқарудың артықшылықтары – жоғары дәлдік, энергия тиімділігі және моментті бақылау мүмкіндігі, дегенмен оның баптауы күрделірек. Ал скалярлық басқару қарапайым және тұрақты жүктеме жағдайларында тиімді, бірақ жұмыс шарттары өзгергенде дәлдігі мен тиімділігі төмендеп, жабдықтың тез тозуына әкелуі мүмкін.

Магистралды ленталық конвейердің екі қозғалтқышты асинхронды электржетегімен кинематикалық схемасы және механикалық бөлігінің имитациялық моделі әзірленді. Имитациялық модель арқылы жүргізілген тәжірибелер нәтижесінде келесідей мәліметтер алынды:

– Конвейер іске қосылғанда лентаның ішінде серпімді динамикалық тербелістер пайда болады;

– Бос конвейерде тербелістердің ең қысқа периоды – 10 с, бастапқы амплитуда – 12,91 кН·м (кезеңдік сигналда), 10,79 кН·м (біртіндеп өсетін сигналда), ал тербелістердің бәсеңдеу уақыты – 23 с;

– Максималды жүктелген конвейерде тербеліс периоды 11%-ға, бастапқы амплитудасы 3,3%-ға (кезеңдік), 1,4%-ға (біртіндеп өсетін) және бәсеңдеу уақыты 13%-ға артады;

– Бірдей жүктеме кезіндегі әртүрлі қарқындылықтағы сигналмен іске қосқанда тербеліс периоды өзгермейді;

– Жүктемелі іске қосуда іске қосу уақыты неғұрлым ұзақ болса, лентаға түсетін күш соғұрлым аз болады. Сигнал бірқалыпты өскен сайын тербеліс амплитудасы мен бәсеңдеу уақыты да азаяды.

Үшінші тарауда серпімді байланыстары бар екі қозғалтқышты асинхронды реттелетін электржетектің теориялық зерттеулері жүргізіледі. Екінші тарауда алынған нәтижелер негізінде магистралды ленталық конвейердің екі қозғалтқышты жиілікпен реттелетін асинхронды электржетегінің имитациялық моделі әзірленді.

Алынған модельдің сәйкестігі Фишер әдісі арқылы бағаланды: модельдеу қатесі 5%-дан аспайды. Бұл дәлдік ленталық конвейердің екі қозғалтқышты жиілікпен реттелетін асинхронды электржетегіндегі динамикалық процестерді зерттеу үшін жеткілікті.

Өзгермелі жүктеме ағынын ескеретін магистралды ленталық конвейердің екі қозғалтқышты асинхронды электржетегіне арналған бейімделгіш момент реттегіші әзірленді. Момент реттегіші «модульдік оптимум» әдісімен синтезделді.

Жүктеме элект қозғалтқыштар арасында біркелкі бөлінбеуін болдырмау және өзгермелі жүктеме ағыны кезінде электромагниттік моменттің артық реттелуін азайту үшін, конвейердің жүктелу деңгейіне байланысты параметрлерін сызықтық түрде өзгертетін бейімделгіш момент реттегішін қолдану орынды.

Пайдалану барысында конвейерге әртүрлі жүктеме түсетін іске қосу режимдеріндегі динамикалық процестер зерттелді. Нәтижелер конвейердің әртүрлі жүктеме деңгейлері үшін автоматты реттегіштің әртүрлі параметрлерін қолдану қажет екенін көрсетті. Эксперименттер бейімделгіш момент реттегішін қолдану конвейер жетегінің іске қосу режиміндегі энергия тұтынуын азайтып, механикалық бөліктердің жұмыс ресурсын арттыратынын растады.

Төртінші тарауда өзгермелі жүктеме ағыны жағдайында магистралды ленталық конвейердің екі қозғалтқышты асинхронды электржетегін тәжірибелік зерттеу сипатталған. Іске қосу және орныққан режимдерде жұмыс істейтін бұл электржетекті зерттеу үшін жұмыс істеп тұрған кен байыту кәсіпорнында нақты өлшеу стенді ұйымдастырылды.

Өнеркәсіптік сынақтар барысында конвейер жетегінің іске қосылу кезінде қозғалтқыштың моменті екі есе мәннен аспайтыны анықталды. Жетекші және жетеленетін қозғалтқыштардың моменттері арасындағы ауытқу өтпелі процесте 25%-дан, ал орныққан режимде 5%-дан аспады.

Конвейер максималды жүктеме кезінде іске қосылғанда, іске қосу моменттерінің (және тиісінше, токтардың) шекті мәндері 20–30%-ға төмендегені

байқалды. Бұл электрмен жабдықтау элементтеріне түсетін жүктемені азайтып, қозғалтқыштардың қызып кету ықтималдығын төмендетеді.

Магистралды ленталық конвейердің өзара байланысты екі қозғалтқышты асинхронды электржетегінің автоматты реттеу жүйесін сынау нәтижелері көрсеткендей, бұл жүйе өзінің статикалық және динамикалық сипаттамалары бойынша осындай типтегі конвейерлерге басқару жүйесі ретінде ұсынылуы мүмкін.

Ұсынылып отырған автоматты реттеу жүйесін қолдану екі қозғалтқышты жиілікпен реттелетін асинхронды электржетектің энергия тиімділігін арттырып қана қоймай, конвейердің механикалық бөліктерінің жұмыс ресурсын да ұлғайтады.

Жүргізілген зерттеулердің **негізгі нәтижелері төмендегідей:**

- ленталық конвейердің асинхронды екі қозғалтқышты электржетегінің қолданыстағы техникалық шешімдері талданды;

- өзгермелі жүктеме ағыны жағдайында және іске қосу режимдерінде асинхронды екі қозғалтқышты электржетектің бұзушы факторлары сарапталды;

- ленталық конвейердің асинхронды екі қозғалтқышты электржетегінің математикалық моделі жасалып, теориялық және эксперименттік мәліметтерді салыстыру арқылы оның сәйкестігі бағаланды;

- өзгермелі жүктеме ағынын ескере отырып, орныққан және іске қосу режимдеріндегі оңтайлылық критерийлері анықталды;

- ленталық конвейердің реттелетін электржетегін басқару жүйесінің бейімделу контуры синтезделді;

- өзара байланысты екі қозғалтқышты электржетектің автоматты реттеу жүйесі синтезделді;

- екі қозғалтқышты электржетектің басқару жүйесінің аппараттық бөлігі әзірленді;

- ұсынылған бейімделгіш автоматты реттеу жүйесінің тиімділігі өнеркәсіптік сынақтар барысында бағаланды.