

6D071800 – «Электр энергетикасы» мамандығы бойынша философия докторы (PhD) дәрежесін алуға арналған диссертацияға АНДАТПА

Дружинин Валерий Михайлович

ЫСТЫҚ ПРОКАТ СТАНДАРДЫҢ ӨЗАРА БАЙЛАНЫСТЫ ЭЛЕКТР ЖЕТЕГІНІҢ СИПАТТАМАСЫНА ЭЛЕКТРМЕН ҚАМТАМАСЫЗ ЕТУ ЖЕЛІЛЕРІНІҢ ӘСЕРІН АЗАЙТУ МАҚСАТЫНДА ҚАЖЕТТІ ӘДІСТЕРІН ӨНДЕУ

Жұмыстың өзектілігі.

Қазіргі заманғы ыстық илектеу станы күрделі көп байланысқан көп моторлы электрмеханикалық жүйе болып табылады. Ыстық илемдеу станының дайын өнімінің сапасы негізінен механикалық бөлікте әртүрлі типтегі серпімді байланыстары бар илемдеу станының әрлеу тобының электр жетектерінің жұмысының дәлдігімен анықталады. Алайда, жабдықтың айтарлықтай белгіленген қуатына байланысты, объективті түрде электр желісі арқылы өрескел және әрлеу тобының электр жетектері арасында электромагниттік байланыс бар. Өрескел және әрлеу тобының электр жетектерінің электромагниттік өзара әрекеттесуі электр жабдықтарының екі күштік трансформатордан жұмыс істеуін көздейтін илемдеу стандартын электрмен жабдықтау жүйелерінің типтік жобалық шешімдерін қолданумен байланысты. Электрмен жабдықтаудың осы схемасында өрескел топтың синхронды электр жетектерінің соққы жүктемелері илемдеу станының әрлеу тобының жекелеген элементтерін электрмен жабдықтау көздерінің электр энергиясының сапа көрсеткіштерінің айтарлықтай айырмашылығына әкеледі.

Ыстық илемдеу станының электр жетектерінің қоректендіру желісі арқылы электромагниттік байланыстың әсері, илемдеу станының механикалық бөлігіндегі серпімді байланыстардың әсерінен айырмашылығы, әрлеу тобының электр жетектерін басқару жүйелерін әзірлеу кезінде іс жүзінде ескерілмейді, бұл сонымен қатар илемдеу станының дайын өнімінің сапасына теріс әсер етеді.

Сондықтан ыстық илемдеу станының негізгі жетектерінің қоректендіру желісінің дайын өнімнің сапасына, прокат станының электрмен жабдықтау желісіндегі электр энергиясының сапасына әсер ету параметрлерін сандық бағалау мәселесі, ыстық илемдеу станының өзара байланысты электр жетектерінің сипаттамаларына осындай әсерді азайту әдістерін әзірлеу маңызды және өзекті міндет болып табылады, оны шешу ыстық илемдеу станының электр жабдықтарының жұмыс істеуінің әртүрлі аспектілеріне және шығарылатын өнімнің сапасына кешенді оң әсер етеді.

Диссертациялық жұмыстың мақсаты ыстық илемдеу стандартындағы өзара байланысқан электр жетектің электрмен жабдықтау желілерінің сипаттамаларына әсерін шектеу әдістерін әзірлеу болып табылады.

Жұмыстың зерттеу нысаны ыстық илемдеу станының үздіксіз кең жолақты өзара байланысқан электр жетегі мен электрмен жабдықтау желісі болып табылады.

Зерттеудің идеясы зерттеуде илемдеу станының негізгі электр жетектерінің электрмен қамтамасыздандыру желісінің электромагниттік байланысын, ыстық илемдеу станының негізгі электр жетектері жұмысының сипаты мен сандық сипаттамаларын анықтау, ыстық илемдеу станының негізгі электр жетектерінің ыстық прокат стандартындағы өзара байланысқан электр жетектерінің жұмысына электрмен жабдықтау желісінің әсерін азайту әдістерін әзірлеу және ыстық илемдеу станының негізгі электр жетектерінің қозуын мәжбүрлеуді басқару құрылғылары болып табылады.

Қойылған мақсатқа жету үшін шешілетін **жұмыстың міндеттері:**

– соққы жүктемелер жағдайында ыстық илемдеу станының өзара байланысқан электр жетектерінің жұмысына ыстық илемдеу станының электрмен жабдықтау желілерінің әсерін талдау;

– ыстық илемдеу станының өзара байланысқан негізгі электр жетектерін қоректендіретін қосалқы станция шиналарындағы кернеу сапасына эксперименттік зерттеулер жүргізу;

– илемдеудің технологиялық параметрлерінің (болат маркасы, дайындаманың температурасы) өрескел топтағы электр жетектерінің басым жүктемелерінің сипаттамаларына әсерін талдау;

– металл жолағы серпімділігінің әсерін ескере отырып, ыстық илемдеу станының негізгі электр жетектерінің электромеханикалық жүйесінің математикалық моделін жасау;

– математикалық модельде ыстық илемдеу станының эксперименттік зерттеулерін жүргізу;

– өрескел топтың синхронды электр жетектерінің әрлеу тобының электр жетегі жұмысының тұрақтылығына әсерін өтеу әдістерін әзірлеу;

– электрмен жабдықтауды қоректендіру желісінің кернеу сәтсіздіктерінің әсерін азайтуға мүмкіндік беретін ыстық илемдеу стандартының әрлеу торының электр жетегін басқару жүйесінің құрылымын әзірлеу.

Ғылыми жаңалығы:

– Электрмен жабдықтаудың қоректендіру желісі арқылы ыстық илемдеу стандартының негізгі электр жетектері арасындағы электромагниттік байланыстың елеулі әсерін негіздеу бөлігінде прокат өндірісінің өзара байланысқан электр жетектерінің теориясы одан әрі дамыды;

– алғаш рет қоректендіру желісі кернеуінің төмендеуінің ең аз мәні және соққы жүктемесін қолдану кезінде металдың жасушааралық аралықта салыстырмалы ұзаруының ең аз мәні соққы жүктемесін қолдану уақытының дәл сәйкес келуімен және илемдеу станының өрескел тобының синхронды қозғалтқышының қозуын мәжбүрлеу арқылы қол жеткізілетіні анықталды, бұл дайын өнімнің сапасын арттыруға мүмкіндік береді;

– алғаш рет соққы жүктемесін қолдану кезінде илемдеу станының өрескел тобының синхронды қозғалтқышының қозуын мәжбүрлеу мөлшеріне металдың салыстырмалы кеңеюінің тәуелділігі экстремалды және минимумға ие екендігі

анықталды, бұл синхронды қозғалтқышты мәжбүрлеуді, басқару жүйесінің оңтайлы параметрлерін анықтауға мүмкіндік береді;

– электрмен жабдықтау желісі кернеуінің төмендеуін азайтуға мүмкіндік беретін қоректендіру желісінің параметрлерін ескере отырып, ыстық илемдеу стандартының электр жетегін басқару жүйесінің құрылымы ұсынылды.

Қорғауға шығарылатын зерттеулердің негізгі ережелері мен нәтижелері:

– электрмен жабдықтау желісі арқылы электр жетектері топтарының электромагниттік байланысын да, металл жолағының серпімділігін де ескеретін ыстық илемдеу станының өзара байланысқан негізгі электр жетектерінің математикалық және имитациялық модельдері;

– шектеулі қуат жағдайында ыстық илемдеу стандартының өзара байланысқан электр жетегінің сипаттамаларына электрмен жабдықтау желілерінің әсерін азайтуға мүмкіндік беретін әдістер;

– соққы жүктемесін қолдану кезінде жоба тобының синхронды электр қозғалтқышының қозуын мәжбүрлеуді басқару жүйесін параметрлеуге мүмкіндік беретін эксперименттік зерттеулердің регрессиялық талдауының нәтижелері.

Зерттеу әдістері. Диссертациялық жұмыстың ғылыми және практикалық нәтижелері ақпаратты іздеу мен өңдеудің кешенді әдістері, эксперимент құру және жоспарлау, деректерді статистикалық өңдеу, ықтималдықтар теориясы және электр тізбектері мен электротехника теориясының негізгі ғылыми ережелерін қолдана отырып модельдеу, электр жетегі теориясы, илемдеу өндірісінің электр жетектеріндегі күрделі физикалық процестерді зерттеуде кеңінен қолданылатын автоматты басқару теориясы негізінде алынды.

Эксперименттік деректер Қазақстан Республикасының аумағында сертификатталған «Ресурс-UF2M» электр энергиясының сапа көрсеткіштерінің өлшеу құрылғысын пайдалана отырып, «АрселорМиттал Теміртау» АҚ (қазіргі уақытта «Qarmet» АҚ) №1 илемдеу цехының 1700 кең жолақты ыстық илемдеу станында тікелей алынды.

Математикалық модельдеу Matlab/Simulink қолданбалы бағдарламалар пакетінде SimPower Systems кітапханасын қолдана отырып жасалды. Эксперименттік деректерді талдау және өңдеу Matlab Simulink қолданбалы бағдарламалар пакетінде және Microsoft Excel бағдарламасында жүзеге асырылды. Математикалық модельдеу нәтижелерінің регрессиялық талдауы STATGRAPHICS бағдарламасында орындалды.

Алынған нәтижелердің практикалық маңыздылығы:

– прокат станының өрескел және әрлеу тобының электрлік өзара байланысқан электр жетектері жүйесінің дамыған математикалық моделі өрескел топтың соққы жүктемелерінің қоректендіру желісінің кернеу сапасының көрсеткіштеріне және әрлеу тобының электр жетектерінің бұрыштық жылдамдығының тұрақтылығына әсер етуінің сандық сипаттамаларын анықтауға мүмкіндік берді;

– жоба тобының синхронды электр жетектерінің таза топтың электр жетегі жұмысының тұрақтылығына әсерін өтеудің ұсынылған әдісі әрлеу тобының

электр жетегі жұмысының тұрақтылығын арттыруға және тұтастай алғанда ыстық илемдеу диірменінің жұмыс жағдайын жақсартуға мүмкіндік берді;

– қоректендіру желісінің кернеуінің төмендеуі мен бұрыштық жылдамдықтың тұрақтылығының әсер етуші факторларға, жолақтың серпімділігі арқылы тәуелділіктерінің регрессиялық теңдеулері алынды.

Орындалған теориялық-эксперименттік зерттеулердің нәтижелері «Қарағанды индустриялық университеті» КЕАҚ «Энергетика, көлік және басқару жүйелері» факультетінің «Энергетика» кафедрасында (Теміртау к.) оқу процесіне енгізілді және 6В07105 «Өнеркәсіптік нысандарды энергиямен қамтамасыздандыру» және 6В07106 «Автоматтандыру жүйелерінің инженериясы» білім беру бағдарламалары бойынша білім алушылардың бакалаврларын; 7М07112 «Электр энергетикасы» (ғылыми-педагогикалық бағыт) және 7М07112 «Электр энергетикасы» (бейіндік бағыт) білім беру бағдарламалары бойынша білім алушылардың магистрлерін даярлау бағдарламаларында қолданылады.

Ғылыми зерттеулер мен әзірлемелердің нәтижелері 13.09.2023 ж. өндірістік кеңестің хаттамасымен бекітілгендей «АрселорМиттал Теміртау» АҚ №1 илемдеу цехының өрескел және әрлеу топтары торының электр жетектерін автоматты басқару жүйесінде; «АрселорМиттал Теміртау» АҚ №1 илемдеу цехының ыстық илемдеу станьының қоректендіру желісі – өрескел және әрлеу топтарының электр жетектері» технологиялық кешенінде пайдаланылатын болады.

Ғылыми ережелердің, нәтижелер мен тұжырымдардың негіздемесі мен сенімділігі экспериментті жоспарлаудың сыналған тәсілдері мен әдістерін, электр жетегі теориясын, MATLAB/Simulink және STATGRAPHICS қолданбалы бағдарламаларының сыналған пакеттерін қолдана отырып имитациялық модельдеуді қолдануға байланысты.

Негізгі ғылыми ережелер, зерттеу нәтижелері мен тұжырымдар аналитикалық зерттеулердің жиналған материалдарын, имитациялық модельдеу нәтижелерін және өндірістік эксперименттерді мұқият талдау негізінде расталды; Scopus және ҒЖБССҚК базасына кіретін ғылыми әдебиеттерде жарияланған және бұрын жарияланған басқа авторлардың нәтижелеріне сәйкес келеді.

Диссертацияда ұсынылған барлық негізгі тұжырымдар зерттеудің танылған әдіснамалық тәсілдеріне, әдебиеттің көптеген ғылыми көздерін талдауға және бағалауға негізделген және расталған, бұл зерттеудің ғылыми тұрақтылығы мен сенімділігін растайды.

Жұмыстың мақұлданыуы. Диссертацияның негізгі материалдары мен нәтижелері баяндалды және талқыланды:

– Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университетінің ғылыми-техникалық кеңесінде;

– Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университетінің «Өндірістік процестерді автоматтандыру» кафедрасының ғылыми-техникалық кеңесінде;

Диссертациялық жұмыстың негізгі ғылыми нәтижелері 20 басылымда ұсынылған, оның ішінде:

– Scopus компанияларының ақпараттық базасына кіретін басылымдарда 2 мақала:

1) Druzhinin V.M., Kalinin A.A., Sivyakova G.A. Rolling stand electric drive model regarding influence of power supply network parameters. Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science, 2023, – Vol.29, №3. – pp. 1213–1223. ISSN: 2502-4752, DOI: 10.11591/ijeecs.v29.i3.pp. 1213-1223 (Процентиль – 46 Scopus)

2) V. Druzhinin, G. Sivyakova, A. Kalinin, V. Tytiuk, A. Nikolenko, V. Kuznetsov, M. Kuzmenko Preventing the development of emergency modes of interlocked electric drives of a rolling mill under the impact loads. Diagnostyka, 2023, – Vol. 24, №1:2023105 – pp. 1 – 13. e-ISSN 2449–5220 <https://doi.org/10.29354/diag/157089>. (Процентиль – 37 Scopus)

– ҚР БҒМ БҒСБК ұсынған басылымдарда – 3 мақала «Труды университета» (Қарағанды);

– 12 мақала халықаралық ғылыми-практикалық конференциялар материалдарында «Повышение качества образования, современные инновации в науке и производстве» (КузМТУ, Екібастұз), «Интеграция науки, образования и производства – основа реализации Плана нации» (Сағынов оқулары)», (ҚарТУ, Қарағанды) және 1 мақала – Scopus базасына кіретін 15th International Conference on Industrial Manufacturing and Metallurgy, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering;

– «Қарағанды мемлекеттік индустриялық университетінің хабаршысы» республикалық ғылыми журналының еңбектерінде 2 мақала (ҚМИУ, Теміртау);

– 1 авторлық құқық нысанына «Ыстық илектеу станының әрлеу торының электр жетегінің имитациялық моделі (ЭЕМ арналған бағдарлама)» авторлық құқықтарды мемлекеттік тіркеу туралы куәлік алынды. Брейдо И.В., Дружинин В.М., Калинин А.А. 24.08.2018ж. №2744 ИС 4003;

– «Ыстық илемдеу станының торларының әрлеу тобының электр жетегін басқару тәсілі» пайдалы моделіне ҚР 1 патенті алынды. Дружинин В.М., Калинин А.А., Сивякова Г.А., Дружинин К.В. 18.03.2022ж. ҚР №6957 пайдалы моделінің патенті.

Диссертанттың жеке үлесі – зерттеу міндеттерін шешу, жұмыстың ғылыми жаңалығы мен практикалық маңыздылығын құрайтын ережелерді әзірлеу және негіздеу, 10 кВ қоректендіру қосалқы станциясының шиналарындағы кернеу сапасына эксперименттік зерттеулер жүргізу; электрмен жабдықтаудың қолданыстағы жүйесін ескере отырып, станның электромеханикалық жүйесінің моделін әзірлеу, электр жетектерінің қоздыру орамаларына әсер ету арқылы соққы жүктемелерінің әсерін азайту мүмкіндігін негіздеу, стан жұмысының көрсеткіштерінің қозуын СҚ және ТТҚ ТҚ басқарудағы соққы жүктемелерінің мөлшеріне тәуелділігін зерттеу, эксперименттік деректерді талдау және өңдеу.

Жұмыстың көлемі мен құрылымы. Диссертациялық жұмыс кіріспеден, төрт тараудан, қорытындыдан, пайдаланылған әдебиеттер тізімінен, 95 атаудан

және 5 қосымшадан тұрады. Жұмыстың жалпы көлемі 115 бетті құрайды, оның ішінде 7 кесте мен 47 сурет бар.

Жұмыстың мазмұны. Кіріспеде мәселенің жай-күйі сипатталған және жұмыстың өзектілігі негізделген. Диссертацияның мақсаты мен міндеттері тұжырымдалды, ғылыми жаңалығы, ғылыми ережелері мен қорғауға ұсынылған зерттеу нәтижелері, зерттеу нәтижелерінің практикалық маңыздылығы анықталды.

Қысқаша мазмұны.

Бірінші тарауда мәселенің жай-күйі баяндалып, әдеби дереккөздерге шолу жасалды. Жүргізілген шолу үздіксіз кең жолақты ыстық илемдеу стандартында ыстық илемдеу өндірісінің ерекшеліктерін, сондай-ақ шығарылатын өнімнің сапасына елеулі әсер ететін негізгі технологиялық параметрлерді анықтауға мүмкіндік берді.

Үздіксіз кең жолақты ыстық илемдеу стандардағы құрылымдардың жалпы ерекшеліктері, өндірістік жабдықтар мен электрмен қамтамасыздандыру жүйелерінің жұмыс істеу ерекшеліктері қарастырылды. Ыстық илемдеу өндірісі Қазақстан Республикасының тау-кен металлургия саласының ірі кәсіпорны және интеграцияланған тау-кен металлургия кешені болып табылатын «АрселорМиттал Теміртау» акционерлік қоғамының мысалында қаралды.

Ғылыми-техникалық әдебиеттерді талдау негізінде кең жолақты ыстық илемдеу стандартындағы дайын өнімнің сапасына айтарлықтай әсер ететін факторлар анықталды, олардың ішінде зерттеушілер илемдеу станының өрескел тобында орын алатын соққы жүктемелері кезінде ыстық илемдеу стандартының өзара байланысқан электр жетегінің сипаттамаларына электрмен жабдықтау желілерінің әсерін атап көрсетеді.

Жүргізілген талдау қазіргі уақытта электрмен жабдықтау желісінің параметрлері мен конфигурациясының өзара байланысқан ыстық илемдеу станының электр жетектерінің жұмысына әсер етуінің заңдылықтары мен сандық сипаттамаларын анықтау әдістері жоқ екенін көрсетті.

Осылайша, электрмен жабдықтау желісінің ыстық илемдеу станының жұмысына әсерінің заңдылықтары мен сандық сипаттамаларын зерттеу міндеті, сондай-ақ электрмен жабдықтау желісінің ыстық илемдеу стандартының өзара байланысқан электр жетегінің жұмысына әсерін шектеу әдістерін әзірлеу илемдеу өндірісінің жоғары тиімді жұмыс істеуін қамтамасыз етудің өзекті міндеті болып табылады.

Зерттеудің мақсаттары мен міндеттері тұжырымдалған.

Екінші тарауда электрмен жабдықтау жүйесінің құрылымы мен жабдықтың құрамы және кең жолақты ыстық илемдеу станының электрмеханикалық жүйесінің параметрлері қарастырылған. Жүргізілген талдау негізінде станның өрескел тобының синхронды электр жетектерінің соққы жүктемелерінің әрлеу тобының электр жетектерінің жұмыс істеу жағдайларына әсер ету мүмкіндігі көрсетілген. Әрлеу тобының тізбектелген илемдеу торларының жетек қозғалтқыштары екі трансформаторлық қосалқы станцияның әртүрлі қуат трансформаторларына қосылғандықтан, синхронды электр жетегінің соққы жүктемелері әрлеу тобындағы қоректендіру

кернеулерінің симметриясын бұзуы және ыстықтай илектелген өнімнің сапасына теріс әсер етуі мүмкін деген болжам жасалды. Электрмен жабдықтау желісінің ыстық илемдеу стандартының өзара байланысқан электр жетегіне әсерін ескеретін илемдеу станының математикалық моделін әзірлеу қажеттілігі негізделген.

Ұсынылған болжамдарды растау мақсатында «АрселорМиттал Теміртау» АҚ кәсіпорнындағы қоректендіру қосалқы станциясының шиналарында және НШПС-1700 ыстық илемдеу торларының электр жетектерінде кернеу сапасына эксперименттік зерттеулер жүргізілді. Эксперименттік зерттеу нәтижелері бойынша электрмен жабдықтау желісінің қолданыстағы конфигурациясы кезінде илемдеу станының жобалық тобының №1 торының синхронды электр жетегінің соққы жүктемелері ұзақтығы 2 - 2,5 с болатын қоректендіруші трансформатордың шиналарындағы кернеудің 10-12%-ға дейінгі елеулі сәтсіздіктері орын алатыны анықталды. НШПС-1700 ыстық илемдеу электрмен жабдықтау жүйесі үшін қолданылатын бақылау және өлшеу әдістерінің негізінде электрмен жабдықтаудың қоректендіру желісі арқылы ыстық илемдеу торларының негізгі электр жетектерінің жалпы илемдеу станының жұмысына айтарлықтай әсерін растайтын қорытындылар алынды.

Жобалық топтың №1 торы электр жетегінің соққы жүктемелерінің абсолютті шамасын анықтау үшін оның жүктемелерінің шамасын илектелетін болат маркасы және дайындаманың температурасы сияқты Илемдеудің режимдік сипаттамаларынан талдау жасалды, ол екі деңгейде өзгерді: бірінші шама 1250°C – технологиялық нұсқаулыққа сәйкес 1270°C максималды қыздыру температурасына ең жақын құйма және екіншісі қалыптасқан өндірістік практика негізінде қабылданған шама – 1150°C. Ағымдағы өндірістік жағдайларда илемдеу қуаты 2500-ден 4200 кВт-қа дейін өзгертіні анықталды.

Үшінші тарау жоғарыда аталған жұмыстың барлық ерекшеліктерін ескеретін ыстық илемдеу станының электрмеханикалық жүйесінің математикалық моделін әзірлеуге арналған, атап айтқанда: өрескел топтың синхронды электр жетегінің білігіндегі соққы жүктемелері; әрлеу тобының тұрақты ток жетектері арасындағы илектелген металл жолағы арқылы серпімді байланыстың болуы; илемдеу станының электрмен жабдықтау жүйесі арқылы илемдеу станының өзара байланысқан электр жетектерінің қатынасы мен өзара әсерінің болуы математикалық модельдің жеке элементтерінің математикалық модельдері жасалды және сыналды. Жеке электр жетектерінің дамыған математикалық модельдерінің сәйкестігі модельдеу нәтижелерінің электр қозғалтқыштарының техникалық сипаттамаларына сәйкестігімен және алынған модельдеу нәтижелерінің жалпы теориялық ережелерге сәйкестігімен расталады.

Электрмен жабдықтау жүйесінің математикалық моделі элементтерінің құрылымы мен параметрлері НШПС-1700 станының электрмен жабдықтау жүйесінің қолданыстағы дәл схемасына сәйкес келеді.

Ыстық илемдеу станының дамыған математикалық моделінің көмегімен трансформатор шиналарындағы кернеудің максималды төмендеуінің илемдеу қуатына тәуелділігінің регрессиялық моделі алынды, бұл илемдеудің режимдік

параметрлерінің кернеу сапасының көрсеткіштеріне әсерін бағалауды жеңілдетуге мүмкіндік береді.

Әзірленген математикалық модель жұмыс режимдерін зерттеу және электрмен жабдықтау желісі параметрлерінің электр қабылдағыштардың жұмысына теріс әсерін азайту мақсатында ыстық илемдеу стандартының жобалық тобындағы торлардың синхронды электр жетегін басқару әдістерін әзірлеу үшін пайдаланылуы мүмкін.

Төртінші тарауда өрескел топтың синхронды электр жетектерінің соққы жүктемелерінің ыстық илемдеу станының жұмысына әсерін азайтуға бағытталған белгілі теориялық әдістер талданады.

Техникалық іске асырудың қарапайымдылығы мен қол жеткізілген нәтижелердің сапасын үйлестіре отырып, ыстық илемдеу стандартының өзара байланысқан электр жетегінің сипаттамаларына электрмен жабдықтау желілерінің әсерін төмендетудің ең жақсы әдістерінің бірі дайындаманы илемдеу кезеңінде өрескел топтың синхронды электр жетегін шамадан тыс қоздыру болып табылады. Синхронды қозғалтқыштың шамадан тыс қозуы жүктеме түйініндегі кернеудің жоғарылауына әкеледі және әрлеу тобындағы электр жетектерінің жүктемесіндегі бұрыштық жылдамдықтың төмендеуінің негізгі себебіне тікелей әсер етеді, жүктеме түйініне қосылған барлық тұрақты ток жетектеріне әсер ете отырып салдарын төмендетеді. Сонымен қатар, бұл илемдеу станының жұмыс жағдайларын және басқа механизмдері мен процестерін жақсартады.

Өрескел топтың синхронды электр жетегінің қозу параметрлерінің илемдеу станының өзара байланысқан электр жетектерінің жұмыс көрсеткіштеріне әсерін зерттеу үшін айналмалы орталық композициялық жоспарды қолдана отырып, екі факторлы есептеу эксперименті жасалды және жүзеге асырылды. Эксперименттің әртүрлі факторлары ретінде: дайындаманы илемдеу кезеңіндегі синхронды қозғалтқыштың қоздыру орамасының кернеу шамасы U_f және қозуды мәжбүрлеудің басталуы мен дайындаманы илемдеудің басталуы арасындағы үзіліс ұзақтығы Δt пайдаланылды.

Эксперименттер нәтижесінде металлдың тораралық кеңістіктегі салыстырмалы кеңеюінің соққы жүктемесін қолдану кезінде илемдеу станының өрескел тобының синхронды қозғалтқышының қозуын мәжбүрлеу мөлшеріне тәуелділігі экстремалды және айқын минимумға ие екендігі анықталды, бұл синхронды қозғалтқышты мәжбүрлеуді басқару жүйесінің оңтайлы параметрлерін анықтауға мүмкіндік береді. Таңдалған зерттеу бағытына сәйкес эксперименттің жауаптары ретінде келесі шамалар тіркелді: ΔU электрмен жабдықтау қондырғысындағы кернеудің салыстырмалы төмендеуінің максималды мәні және ε_{MAX} мен ε_{MIN} аралықтағы металл жолағының салыстырмалы кеңеюінің максималды және минималды мәні.

Алынған регрессиялық модельдерді талдау алғаш рет металлдың салыстырмалы кеңеюінің синхронды қозғалтқыштағы қозудың күшею мөлшеріне тәуелділігін анықтауға мүмкіндік берді. Илемдеу станының өрескел тобы соққы жүктемесін қолдану кезінде экстремалды және минимумға ие, бұл синхронды қозғалтқышты мәжбүрлеуді басқару жүйесінің оңтайлы

параметрлерін анықтауға мүмкіндік береді.

Ыстық илемдеу стандартының өзара байланысқан электр жетегінің сипаттамаларына электрмен жабдықтау желілерінің әсерін төмендетудің тағы бір тиімді әдісі – бұл тәуелсіз қозудың тұрақты ток электр қозғалтқышының қоздыру тізбегінің кернеуін роликтерге жолақ кірген кезде мәжбүрлеу әдісі, бұл ыстық илемдеу станының әрлеу тобының электр жетегін басқару жүйесінің жылдамдығын арттыруға мүмкіндік береді. Ұсынылған құрылғыға «Ыстық илемдеу станы торларының әрлеу тобының электр жетегін басқару тәсілі» пайдалы моделіне ҚР патенті алынды, Дружинин В.М., Калинин А.А., Сивякова Г.А., Дружинин К.В. №6957 пайдалы модель ҚР патенті 18.03.2022 ж.

Жүргізілген зерттеулердің **негізгі нәтижелері** келесідей:

– соққы жүктемелері жағдайында ыстық илемдеу станының өзара байланысқан электр жетектерінің жұмысына ыстық илемдеу станының электрмен жабдықтау желілерінің әсеріне талдау жүргізілді;

– ыстық илемдеу станының өзара байланысқан негізгі электр жетектерін коректендіретін қосалқы станция шиналарындағы кернеу сапасына эксперименттік зерттеулер жүргізілді;

– илемдеудегі технологиялық параметрлердің (болат маркасы, дайындаманың температурасы және т. б.) өрескел тотағы электр жетектерінің соққы жүктемелеріндегі сипаттамалардың әсеріне талдау жүргізілді;

– металл жолағының серпімділігінің әсерін ескере отырып, ыстық илемдеу станындағы негізгі электр жетектерінің электрмеханикалық жүйесінің математикалық моделі жасалды;

– математикалық модельде ыстық илемдеу станына эксперименттік зерттеулер жүргізілді;

– өрескел топтың синхронды электр жетектерінің әрлеу тобындағы электр жетегі жұмысының тұрақтылығына әсерін өтеу әдістері әзірленді;

– электрмен жабдықтау желісінің кернеу сәтсіздіктерінің әсерін азайтуға мүмкіндік беретін ыстық илемдеу стандартындағы электр жетегін басқару жүйесінің құрылымы жасалды.