

IT ТЕХНОЛОГИЯЛАР, ЭНЕРГЕТИКА, АВТОМАТИКА ЖӘНЕ ЕСЕПТЕУ ТЕХНИКАСЫ

DOI: <https://www.doi.org/10.53002/115>

FEATURES OF THE DESIGN AND ELECTRIC DRIVE OF FLYING SHEARS OF HOT ROLLING MILLS

^{1*}*Batyrbek A.E., ¹Sivyakova G.A., ²Tytyuk V.K., ³Mamirov U.F.*¹*Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan*²*Kryvyi Rih National University, Kryvyi Rih, Ukraine*³*Islam Karimov Tashkent State Technical University, Tashkent, Uzbekistan*** Corresponding author e-mail: g.sivyakova@tttu.edu.kz*

Author information:

Batyrbek A.E. - Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan. E-mail: a.batyrbek@tttu.edu.kz, g.sivyakova@tttu.edu.kz**Sivyakova G.A.** - Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan. E-mail: g.sivyakova@tttu.edu.kz**Tytyuk V.K.** - Kryvyi Rih National University, Kryvyi Rih, Ukraine. E-mail: tytiuk@knu.edu.ua**Mamirov U.F.** - Islam Karimov Tashkent State Technical University, Tashkent, Uzbekistan. E-mail: uktammamirov@gmail.com

Abstract. This article provides an overview of the design features and electric drive of existing hot rolling flying shears, which is the basis of the doctoral thesis “Automation of the rolling cutting process on hot rolling flying shears”. The article presents the main task of rolling production, the purpose and technical requirements for the design and electric drive of flying shears. The designs and electric drive of existing flying shears are considered. There are the following main types of flying shears: drum, crank, swing, pendulum, and planetary. Three types of motors are also considered: asynchronous motor, synchronous motor, and DC motor, which would meet the technical requirements for this technological mechanism. A study of the design and electric drive of flying shears has shown a number of advantages and disadvantages. An analysis of the results of the study showed that the best choice is a pair of drum shears. Since the drums rotate evenly at a constant speed and the rotating masses are fully balanced, they allow cutting at significantly higher speeds than other types of shears. An independently actuated DC motor was chosen as the electric drive of the flying shears, as it has a large control range, smoothness, efficiency, speed stability, load tolerance at various speeds, and rigidity of the mechanical characteristics that meet the technical and technological requirements for the electric drive.

Keywords: hot rolling, flying drum shears, electric drive, mill, DC motor, dynamic loads, automation of the cutting process.

ЫСТЫҚ ИЛЕМДЕУ ОРНАҒЫНЫҢ ҰШҚЫР ҚАЙШЫЛАРЫНЫҢ ҚҰРЫЛЫМЫ МЕН ЭЛЕКТР ЖЕТЕГІНІҢ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ

^{1*}*Батырбек Ә.Е., ¹Сивякова Г.А., ²Тытук В.К., ³Мамиров У.Ф.*¹*Қарағанды индустриялық университеті, Теміртау, Қазақстан*²*Криворожье ұлттық университеті, Кривой Рог, Украина*³*Ислам Каримов атындағы Ташкент мемлекеттік техникалық университеті, Ташкент, Өзбекстан*** Автор-корреспондент e-mail: g.sivyakova@tttu.edu.kz*

Авторлар туралы ақпарат:

Батырбек Ә.Е. - Қарағанды индустриялық университеті, Теміртау, Қазақстан. E-mail: a.batyrbek@tttu.edu.kz**Сивякова Г.А.** - Қарағанды индустриялық университеті, Теміртау, Қазақстан. E-mail: g.sivyakova@tttu.edu.kz**Тытук В.К.** - Криворожье ұлттық университеті, Кривой Рог, Украина. E-mail: tytiuk@knu.edu.ua**Мамиров У.Ф.** - Ислам Каримов атындағы Ташкент мемлекеттік техникалық университеті, Ташкент, Өзбекстан. E-mail: uktammamirov@gmail.com

Аңдатпа. Мақалада «Ыстық илемдеу орнағының ұшқыр қайшыларында илемдерді кесу үдерісін автоматтандыру» докторлық диссертациясының негізі болып табылатын қолданыстағы ыстықтай илемдеу ұшқыр қайшыларының құрылымы мен электр жетегінің ерекшеліктеріне шолу берілген. Мақалада илемдеу өндірісінің негізгі міндеті, ұшқыр қайшының құрылымы мен электр жетегіне қойылатын мақсаты мен техникалық талаптары келтірілген. Қолданыстағы ұшқыр қайшылардың құрылымы мен электр жетегі қарастырылған. Ұшқыр қайшылардың келесі негізгі түрлері бар: барабанды, иінді-шатунды, тербелмелі, маятникті және планетарлық. Сондай-ақ, қозғалтқыштардың үш түрі қарастырылды: асинхронды қозғалтқыш, синхронды қозғалтқыш және осы технологиялық механизмге қойылатын техникалық талаптарға сәйкес келетін тұрақты ток қозғалтқышы. Ұшқыр қайшының құрылымы мен электр жетегін зерттеу бірқатар артықшылықтар мен кемшіліктерді көрсетті. Нәтижелерді талдау зерттеу барабанды қайшылар ең жақсы таңдау екенін көрсетті. Барабандар тұрақты жылдамдықпен біркелкі айналатындықтан және айналымды жоғары жылдамдықпен кесуге мүмкіндік береді. Ұшқыр қайшының электр жетегі ретінде тәуелсіз қозуы бар тұрақты ток қозғалтқышы таңдалды, өйткені оның үлкен реттеу диапазоны, тегістігі, үнемділігі, жылдамдық тұрақтылығы, әртүрлі жылдамдықтардағы рұқсат етілген жүктеме, электр жетегіне қойылатын техникалық және технологиялық талаптарды қанағаттандыратын механикалық сипаттамалардың қаттылығы бар.

Түйін сөздер: ыстықтай илемдеу, ұшқыр барабанды қайшылар, электр жетегі, орнақ, тұрақты ток қозғалтқышы, динамикалық жүктемелер, кесу үрдісін автоматтандыру.

ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ И ЭЛЕКТРОПРИВОДА ЛЕТУЧИХ НОЖНИЦ СТАНОВ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ

^{1*}Батырбек Ә.Е., ¹Сивякова Г.А., ²Тытук В.К., ³Мамиров У.Ф.

¹Қарағанды мемлекеттік индустриялық университет, Темиртау, Қазақстан

²Криворожский национальный университет, Кривой Рог, Украина

³Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова, Ташкент, Узбекистан

* Автор-корреспондент e-mail: g.sivyakova@tttu.edu.kz

Информация об авторах:

Батырбек Ә.Е. - Қарағанды мемлекеттік индустриялық университет, Темиртау, Қазақстан. E-mail: a.batyrbek@tttu.edu.kz

Сивякова Г.А. - Қарағанды мемлекеттік индустриялық университет, Темиртау, Қазақстан. E-mail: a.batyrbek@tttu.edu.kz, g.sivyakova@tttu.edu.kz

Тытук В.К. -Криворожский национальный университет, Кривой Рог, Украина. E-mail: tytiuk@knu.edu.ua

Мамиров У.Ф. - Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова, Ташкент, Узбекистан. E-mail: uktammamirov@gmail.com

Аннотация. В данной статье представлен обзор особенностей конструкции и электропривода существующих летучих ножниц горячей прокатки, которая является основой докторской диссертации «Автоматизация процесса резки проката на летучих ножницах стана горячей прокатки». В статье приводятся основная задача прокатного производства, предназначение и технические требования к конструкции и электроприводу летучих ножниц. Рассмотрены конструкции и электропривод существующих летучих ножниц. Существуют следующие основные типы летучих ножниц: барабанные, кривошипно-шатунные, качающиеся, маятниковые и планетарные. А также рассмотрены три вида двигателей: асинхронный двигатель, синхронный двигатель и двигатель постоянного тока, который соответствовал бы техническим требованиям, предъявляемым к данному технологическому механизму. Исследование конструкции и электропривода летучих ножниц показало ряд преимуществ и недостатков. Анализ результатов исследования показал, что оптимальным выбором является барабанные ножницы. Так как барабаны вращаются равномерно с постоянной скоростью и вращающиеся массы полностью уравновешены, то они позволяют вести порезку на значительно больших скоростях, чем другие типы ножниц. В качестве электропривода летучих ножниц выбрана ДПТ с независимым возбуждением, так как он имеет большой диапазон регулирования, плавность, экономичность, стабильность скорости, допустимая нагрузка при различных скоростях, жесткость механической характеристики, которые удовлетворяют технические и технологические требования к электроприводу.

Ключевые слова: горячая прокатка, летучие барабанные ножницы, электропривод, стан, двигатель постоянного тока, динамические нагрузки, автоматизация процесса резки.

НЕГІЗГІ ЕРЕЖЕЛЕР

Ыстықтай илемдеу орнақтарында қолданылатын ұшқыр қайшылардың конструкциялары мен электр жетектеріне салыстырмалы талдау жүргізіліп, жоғары жылдамдықта жұмыс істеу, айналмалы массалардың толық теңгерілуі және пайдалану сенімділігі бойынша барабанды ұшқыр қайшылардың артықшылықтары ғылыми негізделді. Сондай-ақ, ұшқыр қайшының электр жетегі ретінде кең реттеу диапазонын, жоғары жылдамдық тұрақтылығын және механикалық сипаттамасының қаттылығын қамтамасыз ететін тәуелсіз қоздырылатын тұрақты ток қозғалтқышын қолданудың тиімділігі дәлелденді.

КІРІСПЕ

Металды илемдеу — прокат өнімін өндіру процесінің негізгі технологиялық операциясы болып табылады. Қалған технологиялар илемдеу үрдісін жүзеге асыруға және илемнің қажетті сапасын алуға мүмкіндік береді. Илем өндірісінің техникасы үздіксіз илемдеу орнағының (қаңылтырлы, сортты, дайындамалық) кеңінен қолданылуы бағытында дамып келеді.

Зерттеу нысаны ыстық илемдеу орнағының ұшқыр қайшылары [1].

Ұшқыр қайшылар металды жоғары жылдамдықпен қозғалған кезде (үздіксіз режимде) кесуге арналған. Көптеген жағдайларда бұл қайшылардың өнімділігі илемдеу орнағының өнімділігін анықтайды.

Ұшқыр қайшыларға қойылатын негізгі техникалық талаптар:

1) кесілетін ұзындықтардың жоғары дәлдігін қамтамасыз ету;

2) берілген ұзындықтар қатарын алу;

3) орамды ұштарында бұралмай және иілмей кесу кезінде алынатын илем қимасының жақсы сапасын қамтамасыз ету [2, 3].

Ұшқыр қайшының электр жетегіне келесі талаптар қойылады:

1) үдеткіш кезінде пышақтардың берілген бұрылу бұрыштарында жетекті жұмыс жылдамдығына дейін үдету және тежеу;

2) қозғалтқышты көп қосу кезінде жетектің сенімді жұмысы;

3) пышақтардың бастапқы қалпын үлкен дәлдікпен бекіту;

4) агрегат машиналарымен бірге іске қосу, жылдамдықты біркелкі реттеу және қалыпты тоқтату;

5) олақ қозғалысының технологиялық жылдамдығы өзгерген кезде қозғалтқыштың

айналу жылдамдығын реттеу;

6) қайшы жетегінің реверсі [2, 3].

Автоматты реттеу техникасын дамыту, жаңа электр жабдықтарын құру автоматты реттеу жүйелерін қолдана отырып, ұшқыр қайшылардың көмегімен технологиялық талаптарды орындауға мүмкіндік берді. Айта кету керек, ұшқыр қайшылардың құрылымы автоматтандырылған электр жетегі жүйесін анықтайтын тән механизм болып табылады және керісінше, автоматтандырылған электр жетегі жүйесі ұшқыр қайшылардың құрылымы тандауды анықтайды. Мұны қазіргі уақытта кең таралған құрылымдардан және үздіксіз орнақтың ұшқыр қайшыларының электр жетек жүйелерінен көруге болады.

Зерттеудің маңыздылығы. Қазіргі ғылыми зерттеулерде ұшқыр қайшылардың жекелеген конструкциялық шешімдері немесе электр жетектерінің техникалық сипаттамалары қарастырылғанымен, ыстықтай илемдеу орнақтарында қолданылатын ұшқыр қайшылардың негізгі түрлерін олардың электр жетектерімен кешенді түрде салыстыра отырып бағалау жеткілікті деңгейде зерттелмеген. Сондай-ақ, нақты технологиялық талаптарды ескере отырып, құрылым түрі мен электр жетегінің оңтайлы үйлесімін ғылыми негіздеу мәселесі толық шешімін таппаған. Сондықтан аталған зерттеу осы олқылықтың орнын толтыруға бағытталған.

Зерттеудің жаңалығы. Зерттеудің ғылыми жаңалығы ыстықтай илемдеу орнақтарында қолданылатын барабанды, иінді-шатунды, тербелмелі, маятникті және планетарлық ұшқыр қайшылардың құрылымдық ерекшеліктері мен электр жетектеріне кешенді салыстырмалы талдау жүргізілуінде. Талдау нәтижесінде жоғары жылдамдықта жұмыс істеу, сенімділік, динамикалық жүктемелер және технологиялық талаптарды қамтамасыз ету тұрғысынан барабанды ұшқыр қайшылардың артықшылықтары негізделіп, олардың электр жетегі ретінде тәуелсіз қоздырылатын тұрақты ток қозғалтқышын қолданудың техникалық тиімділігі дәлелденді.

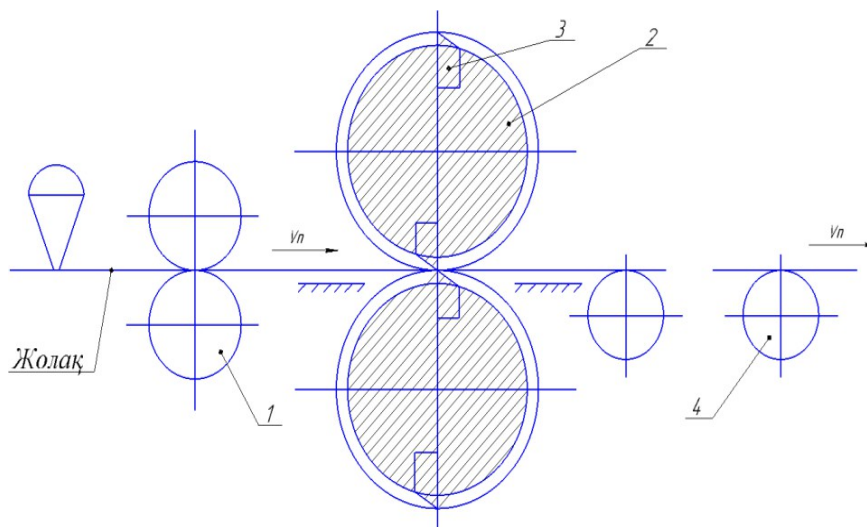
ӘДІСТЕР МЕН МАТЕРИАЛДАР

Жұмыстың негізі ретінде қолданыстағы ұшқыр қайшылардың құрылымдары мен электр жетектеріне аналитикалық талдау жасалынды. Ұшқыр қайшылардың келесі негізгі түрлері бар: барабанды, иінді-шатунды, тербелмелі, маятникті және планетарлық.

Барабан ұшқыр қайшылар. Барабанды (қос барабанды) қайшы-бұл металл кесуге арналған

алғашқы машиналардың бірі, құрылымы өте қарапайым және сенімді жұмыс істейді. Қалыңдығы 40 мм-ге дейін кең болат жолақтарды ыстық кесу, қалыңдығы 3 мм-ге дейін болат жолақтарды суық кесу және шағын сортты

профильдерді ыстық кесу үшін кеңінен қолданылды [4]. Бұл қайшылардың құрылысы мен жұмыс істеу принципі келесідей (сурет 1).



1- беру роликтері; 2 - барабанды қайшылары; 3-пышақтар; 4 - роликтер

Сурет 1 - Барабанды ұшқыр қайшылардың схемасы

Екі барабанға пышақтар радиалды түрде бекітілген (әр барабанда бір немесе бірнеше). Жолақ үздіксіз қозғалады және қайшыларға тұрақты жылдамдықпен беру роликтерімен (немесе үздіксіз орнақтың соңғы ұшығының орамдарымен) беріледі. Жоғарғы және төменгі пышақтар кездескен кезде жолақ кесіледі. Кесілген жолақ бөліктері арасында алшақтық жасау үшін шығатын роликтің жылдамдығы қайшының алдындағы жолақтың жылдамдығынан үлкен болуы керек [4].

Металды кесу кезінде барабан ұшқыр қайшылар екі негізгі режимде жұмыс істей алады:

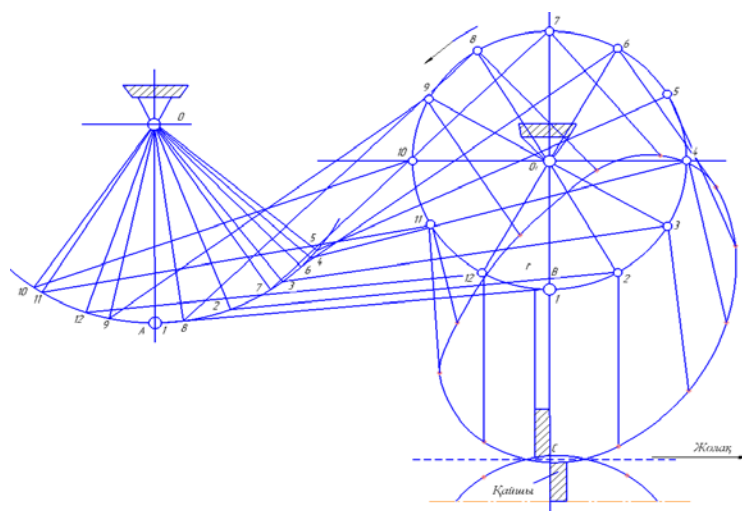
- 1) мерзімді іске қосу және тоқтату;
- 2) барабандардың үздіксіз айналуы (үздіксіз).

Иінді-шатунды ұшқыр қайшылар. Қалың жолақты кесуге арналған қайшы. Барабанды ұшқыр қайшыларды сипаттау кезінде пышақтардың дөңгелек траектория бойымен қозғалуына байланысты кесу кезінде олар белгілі бір бұрышта жолақпен кездесетіні, нәтижесінде үлкен динамикалық жүктемелер пайда болатындығы және кесу жазықтығы тік емес екендігі атап өтілді; дәл сол себепті кесу кезінде динамикалық күштерді азайту үшін бір пышақты көлбеу (гильотинді қайшылардағыдай) орнату үлкен қиындықтар әкеледі [4, 5].

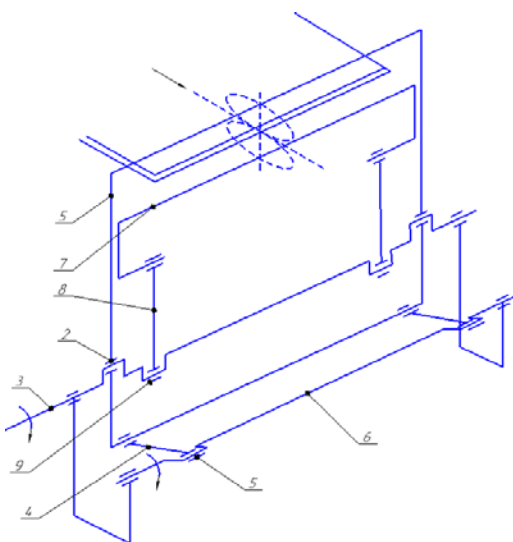
Жолақты кесу жазықтығы мүмкіндігінше тегіс және тік болуы үшін (әсіресе қалың жолақтарды кесу кезінде) және сонымен бірге гильотинді кесуді қолдануға болады (бір пышақты екіншісіне қатысты көлбеу етіп орналастыру), кесу кезінде пышақтар бір-біріне параллель болып, қозғалмалы жолақ 90° бұрыш жасай отырып, бір-біріне жақындауы керек.

Бұл талаптарды иінді-шатунды ұшқыр қайшылар қанағаттандырады, олардың пышақтары күрделі эллипсоидты траектория жасайды, ал кесу аймағында бұл траектория жолақтың көлденең қозғалысына сәйкес келеді (пышақтар тігінен жақындап, алға қарай қозғалады) [4, 5].

1- суретте иінді-шатунды ұшатын қайшыны кесу механизмінің схемалары көрсетілген. ABC және A'B'C' қатты тұтқалары A және A' нүктелерінде AO және A'O' иінтіректерімен, ал B және B' нүктелерінде B1 және B1' иінділерімен, олардың B және B орталықтары O1 және O1' орталықтарының айналасында айналады.



Сурет 2 - Ұшқыр иінді-шатунды қайшы пышақтарының эллипсоидты траекториялары



Сурет 3 - Тербелмелі ұшқыр қайшылар схемасы

Тербелмелі ұшқыр қайшылар. Жолақты өлшеуіш ұзындықтағы жаймаларды көлденең кесу үшін соңғы жылдары тербелмелі типтегі ұшқыр қайшылар (барабанды мен иінді-шатунды қайшылардың орнына) кеңінен қолданылды. Қайшының құрылымдық схемасы 3-суретте көрсетілген.

Жоғарғы пышақ 1 жақтауға бекітілген, ол негізгі жетек білігінің 2 эксцентриктерінде тербеліс қозғалысын жасай алады 3 негізгі біліктің жетегімен байланысты кинематикалық қосымша айналу жетегі бар 6 қосалқы біліктің 5 эксцентриктерімен байланысқан 4 байланыстырушы шатундардың көмегімен 3 (дифференциалды, тірек немесе берілістің көмегімен — схемада көрсетілмеген) [4].

Төменгі пышақ 7-штангенциркульге бекітілген және 1-раманың бағыттаушы ойықтарында негізгі біліктің 9-эксцентриктеріне

қосылған 8-байланыстырушы шатундардың көмегімен қозғалады 3. 2 және 9 эксцентриктері білікке диаметрлі қарама-қарсы орналасқан, сондықтан негізгі біліктің 3 біркелкі айналуымен жоғарғы пышақ төмендейді, төменгі пышақ көтеріліп, жолақ кесіледі. Бұл жағдайда 6 қосалқы білік негізгі білікпен бірдей бағытта айналады, 4 байланыстырушы шатундар 2 эксцентриктерде 1 жақтауды «шайқайды» және пышақтар эллипсоидты траекторияларды сипаттайды. Пышақтармен раманың тербеліс амплитудасы негізгі біліктің 2 эксцентриктерінің 3 жағдайына қатысты біліктің 5 эксцентриктерінің орналасуымен анықталады. 6 біліктің бастапқы орнын және 1 раманың тербеліс амплитудасын реттеуді жолда (қайшылар жұмыс істеп тұрған кезде) жүзеге асыруға болады, соның арқасында кесу кезінде пышақтар мен жолақтардың жылдамдықтарын дәл үйлестіруге

қол жеткізіледі [4].

Маятникті ұшқыр қайшы. Ыстық дайындаманың алдыңғы тегіс емес ұшын кесу үшін (жұмыс орамдарының калибріне дайындауды қиындатады) үздіксіз дайындама және сорттық орнақтарда маятникті ұшқыр қайшылар орнатылады. Бұл қайшылар қозғалатын массалардың үлкен инерциясына байланысты өте баяу жүреді және олар дайындаманың қозғалыс жылдамдығы 1,0—1,5 м/с аспайтын кезде ғана қолданылады [4].

Қайшы қыздыру пеші мен орта сортты орнақтарда бірінші қара клеттердің арасында орнатылған; дайындаманың температурасы 1100–1200°C; осы температурада дайындаманың металл беріктігінің (аққыштығының) шегі 60 МПа; дайындаманың қозғалыс жылдамдығы 0,2 м/с. Маятникті қайшы схемасы 4-суретте көрсетілген.

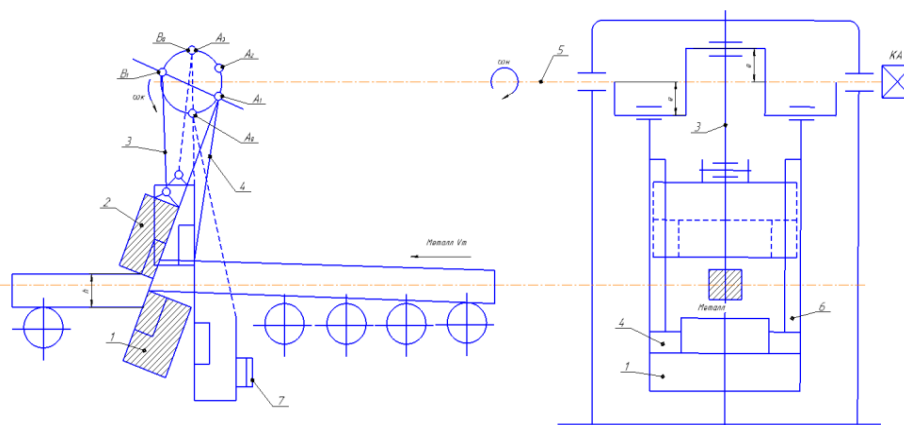
5 қайшының жетек білігінде үш эксцентрик бар (Схемада иінді біліктің мойны түрінде көрсетілген). Екі экстремалды эксцентрик 100 мм

жетек білігінің осіне қатысты эксцентриситетке ие; бұл эксцентриктерде мойынтіректерде екі штангенциркуль ілулі, төменгі жағында 1 көлденең траверспен тығыз байланысқан; осылайша, бұл екі штангенциркуль екі бүйірлік эксцентрикке еркін ілінген бір маятник болып табылады [4].

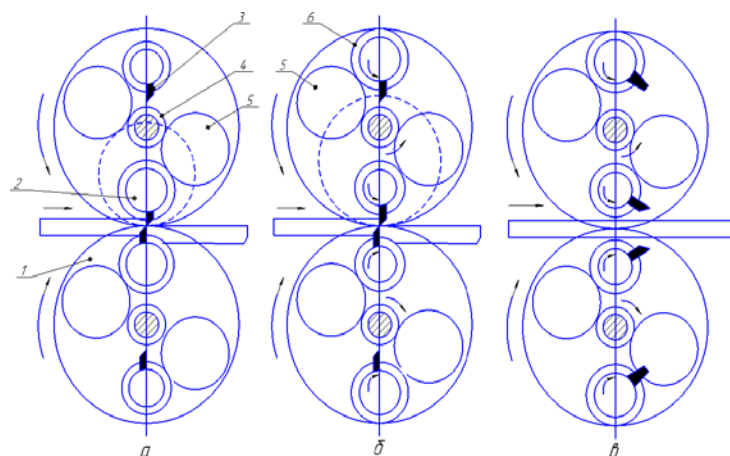
Маятниктің төменгі траверсінде төменгі пышақ бекітілген. Жетек білігінің осіне қатысты орташа эксцентриситеті де 100 мм; бұл эксцентрикте жоғарғы штангенциркуль 2-ге біріктірілген

3-байланыстырушы штангенциркуль ілулі; соңғысы тек төменгі штангенциркульдің 6-бүйірлік рельстерімен жүре алады. Маятниктің 7 амортизатормен шектелген бастапқы (тік) күйге оралуын жеңілдету және жеделдету үшін арнайы серіппелі құрылғы қарастырылған.

Ұшқыр планетарлық қайшы. Ұшқыр планетарлық қайшылар 60×60–100×100 мм қимасы бар ыстық дайындамаларды сәйкесінше 6,3–2,0 м/сек жылдамдықпен кесуге арналған.



Сурет 4 - Төмен жылдамдықты маятникті ұшқыр ыстықтай кесу қайшылары



а-үлкен бастармен кесу; б-кіші бастармен кесу; в-кесуді өткізіп жіберу

Сурет 5 - Дайындамаларды ыстық кесуге арналған планетарлық жылдам ұшқыр қайшы

Қайшылар үздіксіз дайындайтын орнақтың соңғы клетінің артына орнатылады. Кесу механизмі екі барабаннан тұрады 1, олардың әрқайсысында 2 және 3 кесу бастары бар қос планетарлық механизмдер орналастырылған.

Барабандарда қайшылар бүйірлік тіректерінің роликті мойынтіректерде екі тірек бар. Бір тірек жағынан барабандар шеткі, тісті дөңгелектер арқылы қозғалады; төменгі барабан қуаты 1300 кВт, 200-230 айн/мин тұрақты ток электр қозғалтқышымен қозғалады [4].

Барабан жетегіне карама-қарсы жақтағы жоғарғы және төменгі барабандар күн берілістермен өзара байланысты; бұл берілістердің біліктері барабан тіректерінің ішінде өтеді.

Ұшқыр қайшының электр жетегі. Ұшқыр қайшылардың электр жетегіне жылдамдықты реттеуге қатысты жоғары талаптар қойылады, сонымен қатар жұмыс режимінде тұрақты бұрыштық жылдамдықты қамтамасыз ету қажет. Егер ұшқыр қайшылар жолақты көлденең кесудің үздіксіз ағындық желісіне орнатуға арналған болса, онда бұл желінің жылдамдығы әр түрлі қалыңдықтағы жолақты кесу кезінде технологиялық тұрғыдан әр түрлі болады (кесу қондырғысының максималды өнімділігінде сапалы кесу алу үшін). Осылайша, әр түрлі жолақтарды кесу кезінде қызмет көрсететін роликтер қайшыға әр түрлі жылдамдықтағы жолақты береді $u_{ж}$ ($u_{ж.min}$ - нен $u_{ж.max}$ дейін); демек, ұшқыр қайшылардың жылдамдығы да он әртүрлі жылдамдықтарға сәйкес келуі керек, яғни $u_{ж}$ ($u_{ж.min}$ - нен $u_{ж.max}$ дейін) шегінде болуы керек.

Осы технологиялық механизмге қойылатын техникалық талаптарға сәйкес келетін электр жетегін таңдаймыз. Ол үшін қозғалтқыштардың үш түрі қарастырылды: асинхронды қозғалтқыш, синхронды қозғалтқыш және тұрақты ток қозғалтқышы.

Үш фазалы асинхронды қозғалтқышы бар электр жетегі өнеркәсіпте, коммуналдық және ауыл шаруашылығында жетектің ең көп таралған түрі болып табылады. Бұл позиция асинхронды қозғалтқышты жасау мен пайдаланудың қарапайымдылығымен анықталады, салмағы, жалпы өлшемдері, құны тұрақты ток қозғалтқыштарымен салыстырғанда аз. Олар сондай-ақ төмен техникалық қызмет көрсету және жоғары тиімділік коэффициентімен жоғары сенімділікке ие. Асинхронды қозғалтқыштар фазалық және қысқа тұйықталған ротормен келеді [6, 7].

Синхронды қозғалтқыштар әртүрлі жұмыс машиналары мен механизмдерінің электр

жетегінде кеңінен қолданылады, бұл жоғары техникалық-экономикалық көрсеткіштермен түсіндіріледі. Синхронды қозғалтқыштар жоғары қуат коэффициентіне ие $\cos\varphi$, бірлікке жақын және тіпті озық $\cos\varphi$ болуы мүмкін. Синхронды қозғалтқыштың озық $\cos\varphi$ -пен жұмыс істеу және реактивті қуат беру қабілеті жұмыс режимін және электрмен жабдықтау жүйесінің үнемділігін жақсартуға мүмкіндік береді. Қазіргі заманғы синхронды қозғалтқыштардың пайдалы әсер ету коэффициенті 95 - тен 98% - ға дейін, бұл бірдей өлшемдер мен жылдамдықтағы асинхронды қозғалтқыштың пайдалы әсер ету коэффициентінен 1-ден 1,5% - ға жоғары. Синхронды қозғалтқыштарда қоздыру тогын реттеу арқылы шамадан тыс жүктемені реттеуге болады, ал шамадан тыс жүктеме асинхронды қозғалтқышпен салыстырғанда желінің кернеуіне аз тәуелді болады. Синхронды қозғалтқыш мүлдем қатаң сипаттамаға ие. Синхронды қозғалтқышты жобалаудың маңызды артықшылығы-үлкен ауа саңылауы, соның салдарынан оның сипаттамалары мен қасиеттері мойынтіректердің тозуына және роторды орнатудың дәлсіздігіне аз тәуелді [6, 7].

Тұрақты ток жетегі тәуелсіз, параллель және аралас қозуы бар қозғалтқыштарды, сондай-ақ тұрақты магниттерден қозуды пайдаланады, олардың сипаттамалары бойынша тәуелсіз қозудың тұрақты ток қозғалтқыштарына жақын.

Тәуелсіз қоздыру тұрақты ток қозғалтқышы бар электр жетегі қазіргі уақытта реттелетін электр жетегінің негізгі түрі болып табылады. «Басқарылатын түзеткіш – қозғалтқыш» жүйесі негізінде құрылған тұйық электр жетегі жоғары сапа көрсеткіштерімен жұмыс істеудің барлық режимдерінде жұмыс машиналары мен механизмдерінің атқарушы органдарының қозғалыс координаттарын реттеуді қамтамасыз етеді [6, 7].

Параллель және тәуелсіз қоздыру қозғалтқыштары қатты механикалық сипаттамаға ие, сондықтан тұрақты жылдамдық қажет болатын қондырғыларда қолданылады (станоктар, илектеу станоктары). Тәуелсіз қоздыру қозғалтқыштары кең жылдамдықты реттейтін жүйелерде кеңінен қолданылады. Сериялық қоздыру қозғалтқыштарында электромагниттік момент якорь тогына квадраттық тәуелділікке ие. Сондықтан, бұл қозғалтқыштар іске қосу кезінде үлкен моменттер қажет болатын құрылғыларда қолданылады, онда жиі жүктемелер байқалады [6, 7].

НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ТАЛҚЫЛАУ

Аналитикалық талдау барысында ұшқыр қайшының әрбір түрі өзінше бірегей екенін атап

өтуге болады. Жұмыс барысында барлық қайшылардың бірқатар артықшылықтары мен кемшіліктері анықталды.

Барабанды ұшқыр қайшылардың негізгі артықшылықтары, олардың барабандары тұрақты бұрыштық жылдамдықпен біркелкі айналады және айналмалы массалар толығымен теңдестірілген, содан кейін бұл қайшылар металды 15 м/с немесе одан да көп жылдамдықпен кесуге мүмкіндік береді. Алайда, бұл қайшылардың келесі кемшіліктері бар:

1) пышақтардың кесу жиектерінің қозғалыс траекториясы шеңберлер болып табылады, сондықтан көлденең қозғалатын жолақпен кездескенде кесу ауыспалы бұрышта болады және жолақтағы кесу жазықтығы тік болмайды. Алайда бұл кемшілік жұқа жолақтарда кесуде маңызды емес;

2) жолақты кесу параллель пышақтармен жүзеге асырылады, яғни оның бүкіл ені бойынша, нәтижесінде оларды динамикалық қолдану кезінде үлкен кесу күштері пайда болады. Кесу күшін азайту үшін бір пышақты көлбеу етіп жасаған жөн; (гильотинді қайшылар принципі бойынша) немесе шевронды, алайда кең жолақтарды үлкен жылдамдықпен кесу кезінде (кесу процесінде ϕ бұрышы өзгерген кезде) бұл принципті жүзеге асыру пышақтар арасындағы бүйірлік алшақтықты арттыруды талап етеді.

Иінді-шатунды қайшының артықшылығы пышақтар күрделі эллипсоидты траекторияны орындайды, ал кесу орнында бұл траектория жолақтың көлденең қозғалысына сәйкес келеді. Қайшының кемшілігі-пышақтардың біркелкі емес қозғалысы кезінде кесу механизмінің үлкен инерциясы, сондықтан мұндай қайшылар тек 2 м/с жылдамдықта жолақты кесу үшін қолданылады.

Тербелмелі қайшылар барабанды және иінді-шатунды ұшқыр қайшылармен салыстырғанда келесі артықшылықтары бар:

1) кесу механизмінің қарапайымдылығы мен сенімділігі; пышақтар арасындағы бүйірлік саңылаудың тұрақтылығы, соның арқасында жолақты сапалы, перпендикуляр кесу қамтамасыз етіледі;

2) кесу механизмінің шағын өлшемдері мен массалары бар, жетек біліктері инерциялық жүктемелерсіз біркелкі айналады;

3) жаймалардың өлшемдік ұзындығы қадамсыз жылдамдық реттегішінің көмегімен жолда реттеледі, жолақтарды кесу дәлдігіне ± 1 мм шегінде қол жеткізіледі;

4) пышақтар мен жолақтардың жылдамдығын теңестірудің өте қарапайым механизмі;

5) қайшының конструкциясы кесудің кез

келген санына ($K = 1, 2, 3$ және т.б.) механизмдерді (механикалық немесе гидравликалық) қолдануға мүмкіндік береді.

Бұл қайшыларды біздің елде және шетелде қолдану тәжірибесі олардың 2 м/с дейінгі жылдамдықта жұқа және кең жолақты кесу қондырғыларында сәтті жұмыс істейтіндігін көрсетеді.

Маятникті ұшқыр қайшылардың артықшылықтары құрылымы қарапайым және сенімділік, қозғалатын массалардың үлкен инерциясына қарамастан, өте баяу. Кемшіліктерге сапасыз кесу (прокат осіне перпендикуляр емес), баяу жүру, қарама-қарсы салмақтың әсерінен жолақтарды қайтарудың ұзақ уақытына байланысты қысқа жолақтарды алу үшін қайшыны пайдалану мүмкін еместігі, сондай-ақ жоғары профильді прокатты кесу жатады.

Жоғарыда аталған қайшылармен салыстырғанда, планетарлық ұшқыр қайшылар кесу бастары бар барабандардың екі тірек орналасуының және олардың жетек жүйесінің теңдестірілген болуының кейбір артықшылықтарымен ерекшеленеді, сондықтан бұл қайшылар 7 м/сек дейін жоғары жылдамдықта жұмыс істей алады. Олардың кемшілігі-кесу планетарлық механизмдерінің күрделі құрылымы.

Ұшқыр қайшының электр жетегінің механикалық қасиеттерін сипаттайтын негізгі көрсеткіштер:

- 1) реттеу ауқымы;
 - 2) тегіс;
 - 3) үнемділік;
 - 4) жылдамдық тұрақтылығы;
 - 5) әртүрлі жылдамдықтағы рұқсат етілген жүктеме;
 - 6) механикалық сипаттаманың қаттылығы.
- Осы көрсеткіштердің әрқайсысын жеке қарастырамыз.

Бұрыштық жылдамдықты реттеу диапазоны тұрақты ток қозғалтқышында (ТТК) үлкен, бұған магнит ағынының өзгеруі немесе қозғалтқыш арматурасына берілген кернеу арқылы қол жеткізіледі. Асинхронды қозғалтқыштарда (АҚ) бұрыштық жылдамдықты реттеу мүмкіндігі де бар, бірақ диапазон онша үлкен емес. АҚ жиілігін реттеу кезінде жылдамдықты басқару диапазоны өте үлкен болуы мүмкін (100:1 дейін), бірақ ол ротор мен мойынтіректердің механикалық беріктігімен шектеледі;

Реттеудің тегістігі берілген жылдамдықтан ең жақын жылдамдыққа ауысқан кезде жылдамдықтың секіруін сипаттайды. Бұл жылдамдықтың өзгеруі неғұрлым аз болса, соғұрлым тегіс болады. Электр жетегінің тәжірибесінде реттеудің ең аз тегістігі қысқа

тұйықталған роторы бар екі жылдамдықты АҚ ие. Керісінше, тәуелсіз қозу ТТҚ-да жоғары тегістікке қол жеткізіледі.

Реттеудің үнемділігі жұмыс цикліндегі реактивті энергияның қуат коэффициентімен және тұтынылуымен сипатталады. Синхронды қозғалтқыштарда (СК) қуаттың реактивті компонентін минимумға дейін төмендетуге мүмкіндік беретін қуат компенсаторлары ретінде қолданылады, алайда бұл жетектің жұмысын қиындатады және оның құнын арттырады. ТТҚ-ның қуат коэффициенті төмен. Бұрыштық жылдамдықтың тұрақтылығы жүктеме моментінің берілген ауытқуымен оның өзгеруімен сипатталады және механикалық сипаттаманың қаттылығына байланысты. АҚ бұрыштық жылдамдығын реттеу кезінде сипаттаманың қаттылығы өзгертіндіктен, жылдамдықтың берілген жылдамдықтан ауытқуы да өзгереді. ТТҚ бұрыштық жылдамдығын реттеу кезінде қаттылық әрең өзгереді. СК-да ең жоғары жылдамдық тұрақтылығы, өйткені ол өте жақсы сипаттамаға ие;

Шамадан тыс жүктеме сыйымдылығы қозғалтқыш дамытатын максималды моменттің қозғалтқыштың номиналды моментіне қатынасымен сипатталады. Осы критерий бойынша салыстыру кезінде тұрақты ток қозғалтқышы АҚ мен СК-қа қарағанда артықшылықтарға ие, өйткені төмен айналымдарда олар шамадан тыс жүктеме қабілетіне ие емес.

Алынған нәтижелер соңғы халықаралық зерттеулермен сәйкес келеді. Druzhinin және әріптестері [8] ыстықтай илемдеу орнақтарының электр жетектерін басқаруды жетілдіру арқылы жылдамдықтың тұрақтылығы мен жүйенің динамикалық сипаттамаларын жақсартуға болатынын көрсетті. Бұл біздің зерттеуімізде тәуелсіз қоздырылатын тұрақты ток қозғалтқышын таңдаудың тиімділігі туралы қорытындыны қолдайды.

Сонымен қатар, Кмесік және әріптестері [9] барабанды ұшқыр қайшылардың басқару құрылымын жасанды интеллект әдістері арқылы оңтайландыру кесу дәлдігін және жүйенің жұмыс тиімділігін арттыратынын дәлелдеген. Бұл ұшқыр қайшыларды жетілдірудің қазіргі бағыты конструкциялық шешімдерді интеллектуалды басқару жүйелерімен үйлестіруге негізделетінін көрсетеді.

ҚОРЫТЫНДЫ

Зерттеу нәтижелері бойынша барабанды ұшқыр қайшылар құрылымы жағынан өте қарапайым, жұмысында сенімді деген қорытынды

жасауға болады. Барабандар тұрақты жылдамдықпен біркелкі айналатындықтан және айналмалы массалар толығымен теңдестірілгендіктен, олар қайшының басқа түрлеріне қарағанда айтарлықтай жоғары жылдамдықпен кесуге мүмкіндік береді.

Ұшқыр қайшының электр жетегі бойынша жүргізілген талдауда ұшқыр қайшының жұмысының технологиялық ерекшеліктері бойынша тәуелсіз қозудың ТТҚ-шы барынша қанағаттандырылатындығы анықталды. Осының бәрін ескере отырып, ұшқыр қайшылар механизмінің жетекті электр қозғалтқышы ретінде тәуелсіз қозудың тұрақты ток қозғалтқышын қабылдаймыз.

Мүдделер қақтығысы. Авторлар осы зерттеуді орындау және мақаланы жариялау барысында мүдделер қайшылығы жоқ екенін мәлімдейді.

Авторлардың үлесін көрсету (таксономия CRediT): **Ә.Е.Батырбек** – зерттеу тұжырымдамасын әзірлеу, әдіснаманы қалыптастыру, зерттеуді жүргізу, нәтижелерді талдау, мақаланың бастапқы нұсқасын дайындау. **Г.А. Сивякова** – ғылыми жетекшілік, зерттеу әдіснамасын жетілдіру, нәтижелерді тексеру, мақаланы ғылыми редакциялау. **В.К. Тытук** – ғылыми әдебиеттерді талдау, нәтижелерді түсіндіру, техникалық кеңес беру, мақаланы рецензиялау. **У.Ф. Мамиров** – мәліметтерді талдау, иллюстрациялық материалдарды дайындау, техникалық шешімдерді бағалау, нәтижелерді талқылауға қатысу. Барлық авторлар мақаланың соңғы нұсқасымен танысып, оны жариялауға мақұлдады және зерттеу нәтижелерінің дұрыстығына ортақ жауапкершілік алады.

Қаржыландыру. Зерттеу сыртқы қаржыландырусыз орындалды.

Алғыс. Авторлар зерттеуді орындауға ғылыми және ұйымдастырушылық қолдау көрсеткені үшін Қарағанды индустриялық университетіне, Кривой Рог ұлттық университетіне және Ислам Каримов атындағы Ташкент мемлекеттік техникалық университетіне алғыс білдіреді.

Авторлық құқық © 2026 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] Климушкин А.Н. Горячая прокатка полос в листопрокатном цехе №1: Технологическая инструкция. Темиртау, 2017. 125 с.
- [2] Юсупова С.А., Чигамбаев Т.О. Системы автоматизированного электропривода: учебное пособие. Алматы, 2019. 157 с.
- [3] Батырбек Ә.Е., Сивякова Г.А. Система автоматического регулирования электропривода летучих ножниц стана горячей прокатки // Вестник Торайгыров университета. Энергетическая серия. 2024. № 4. С. 19–31. URL: <https://vestnik-energy.tou.edu.kz/storage/articles/93>
- [4] Батырбек Ә.Е., Левченко И.В., Сивякова Г.А. Сравнительная характеристика конструкции летучих ножниц, применяемых на станах горячей прокатки // Роль науки в повышении престижа инженерного труда: труды LV Республиканской научно-практической конференции. Темиртау: Карагандинский индустриальный университет, 2025. С. 263–268.
- [5] Ghosh K. A Study on Kinematic Analysis of Crank-Type Flying Shear Mechanism for Production-Oriented Design and Motion Control // Journal of The Institution of Engineers (India): Series C. 2019. Vol. 100. P. 851–858. DOI: 10.1007/s40032-018-0495-x.
- [6] Москаленко В.В., Кацман М.М. Электрические машины и приводы: учебник. Москва: Академия, 2018. 368 с. ISBN 978-5-4468-8257-1.
- [7] Москаленко В.В. Системы автоматизированного управления электропривода: учебник. Москва: ИНФРА-М, 2021. 208 с. ISBN 978-5-16-005116-1.
- [8] V. Druzhinin, V. Tytiuk, P. Kurliak, O. Chornyi, G. Sivyakova, A. Kalinin, and V. Busher, "Electric drive excitation control for improved performance of hot rolling mill finishing groups," *Energetika*, vol. 71, no. 1, 2025, doi: 10.6001/energetika.2025.71.1.4.
- [9] T. Kmecik, M. Hric, P. Girovský, and F. Ďurovský, "Optimalisation of Flying Shears Control Structure Using AI Methods," *Power Electronics and Drives*, vol. 11, no. 1, pp. 111–127, 2026, doi: 10.2478/pead-2026-0006.

REFERENCES

- [1] A. N. Klimushkin, *Hot Rolling of Strips in Sheet Rolling Shop No. 1: Technological Instructions*. Temirtau, Kazakhstan, 2017.
- [2] S. A. Yusupova and T. O. Chigambayev, *Automated Electric Drive Systems*. Almaty, Kazakhstan, 2019.
- [3] A. E. Batyrbek and G. A. Sivyakova, "Automatic control system for the electric drive of hot rolling mill flying shears," *Bulletin of Toraighyrov University. Energy Series*, no. 4, pp. 19–31, 2024. [Online]. Available: <https://vestnik-energy.tou.edu.kz/storage/articles/93>
- [4] A. E. Batyrbek, I. V. Levchenko, and G. A. Sivyakova, "Comparative characteristics of the design of flying shears used in hot rolling mills," in *Proceedings of the LV Republican Scientific and Practical Conference "The Role of Science in Increasing the Prestige of Engineering Work"*, Temirtau, Kazakhstan: Karaganda Industrial University, 2025, pp. 263–268.
- [5] K. Ghosh, "A Study on Kinematic Analysis of Crank-Type Flying Shear Mechanism for Production-Oriented Design and Motion Control," *Journal of The Institution of Engineers (India): Series C*, vol. 100, pp. 851–858, 2019, doi: 10.1007/s40032-018-0495-x.
- [6] V. V. Moskalenko and M. M. Katsman, *Electric Machines and Drives*. Moscow, Russia: Academy Publishing Center, 2018.
- [7] V. V. Moskalenko, *Automated Control Systems of Electric Drives*. Moscow, Russia: INFRA-M, 2021.
- [8] V. Druzhinin, V. Tytiuk, P. Kurliak, O. Chornyi, G. Sivyakova, A. Kalinin, and V. Busher, "Electric drive excitation control for improved performance of hot rolling mill finishing groups," *Energetika*, vol. 71, no. 1, 2025, doi: 10.6001/energetika.2025.71.1.4.
- [9] T. Kmecik, M. Hric, P. Girovský, and F. Ďurovský, "Optimalisation of Flying Shears Control Structure Using AI Methods," *Power Electronics and Drives*, vol. 11, no. 1, pp. 111–127, 2026, doi: 10.2478/pead-2026-0006.