

АНДАТПА

8D07104 – «Жылуэнергетика» білім беру бағдарламасы бойынша
философия докторы (PhD) дәрежесін алу үшін ұсынылған
диссертациясына

Арипова Назгуль Михайловна

ФУТЕРОВКАНЫ САЛҚЫНДАТУ РЕЖИМДЕРІН ҰТЫМДЫ ЕТУ АРҚЫЛЫ ҚҰЮ ШӨМІШТЕРІНІҢ ЭНЕРГЕТИКАЛЫҚ ТИІМДІЛІГІН АРТТЫРУ

Жұмыстың өзектілігі. Үкімет отырысы барысында Қазақстан Республикасының энергетика министрі А. Сәтқалиевтің баяндамасына сәйкес, 2023 жылы Қазақстан Республикасында электр энергиясын тұтыну 115 млрд кВт·сағ құрады, бұл ретте өндіріс көлемі 112,8 млрд кВт·сағ құрады. ҚР Бірыңғай энергетикалық жүйесіндегі электр энергиясының болжамды теңгеріміне сәйкес 2024 жылдан 2030 жылға дейін энергия тұтыну көлемінің 120,6-дан 155,9 млрд. кВт·сағ дейін ұлғаюы байқалады.

Энергияны үнемдеу саясатын жүзеге асыруға қарамастан, өнеркәсіптік сектор әлі де энергия ресурстарын негізгі тұтынушыларының бірі болып табылады. Қазақстан Республикасының энергетикалық кешенінің құрылымында энергияның жалпы түпкілікті тұтынылуы өнеркәсіп секторына энергия ресурстарының 30,3% - (тұрғын үй секторынан кейінгі екінші орында тұтыну үлесі бойынша) тиесілі.

Энергияны көп қажет ететін сала-өнеркәсіптік сектордың энергия тұтынуының 90% - дан астамын құрайтын өңдеу және өндіру өнеркәсібі. Бұл ретте өнеркәсіптегі энергия тұтынудың ең үлкен үлесі кара металлургия секторына тиесілі 30,1 % [1].

Қазақстан Республикасының өнеркәсіптік кәсіпорындарының энергия үнемдеудің елеулі әлеуетінің себептерінің бірі технологиялық процестің ескіруі және жабдықтың физикалық тозуы болып табылады, ол 45-60% - ға жетеді, бұл өндірістік қуаттың толық пайдаланылмауына және өндірістік желілердің энергия тұтынуының жоғары болуына әкеледі [2].

Өнеркәсіпте энергия үнемдеу деңгейін көтеру және энергия тиімділігін арттыру мақсатында жылу-технологиялық процестер мен жоғары температуралы жабдықтарды жаңғырту, сондай-ақ өнеркәсіп салаларында энергия үнемдеу іс-шараларын енгізу үшін жағдайлар жасау қажет [2].

Көптеген металлургиялық қондырғылардың энергетикалық тиімділігі көбінесе футеровка жұмысымен анықталады. Қондырғының жұмыс науқанының ұзақтығы, стационарлық емес жылу режимдеріндегі энергия шығындары және басқа көрсеткіштер қаптаманың күйіне байланысты.

Жоғары температуралы қондырғылардың энергетикалық тиімділігін арттыру мәселесі олардың жылу жұмысының режимдерін, жеке элементтер мен тұтастай алғанда агрегаттардың дизайнын ұтымды ету арқылы шешілуі

керек.

Ферроқорытпа өндірісінің құю шөміштері сияқты жоғары температуралы қондырғылар жоғары температуралы жұмыс орталарымен жұмыс істейді, пештен ағызылатын металдың балқу температурасы 1600-1650 °C құрайды.

Ферроқорытпа өндірісінің құю шөміштері жұмысының энергетикалық тиімділігін арттыру оларды салқындату кезінде мыналармен айқындалады:

- салқындату процесінде құю шөміштерінің футеровкасының температурасын біркелкі төмендету үшін қайталама энергия ресурстарын пайдалану;

- жөндеу жұмыстарын жүргізер алдында құю шөміштерінің футеровкасының салқындату уақытын азайту, олардың айналымын ұлғайту (тәулігіне құю шөмішіне металл балқымасын құю саны);

- пайда болатын термиялық кернеулер пайдаланылатын футеровка материалдарының беріктік шегінен аспайтын жоғары жылдамдықпен салқындату режимдерін жүргізу. Бұл құю шөміштерінің жөндеудегі бос уақытын азайтуға, отқа төзімді материалдардың қызмет ету мерзімін ұзарту арқылы олардың жұмыс уақытын арттыруға және технологиялық өнімнің бір тоннасына шаққандағы шығынын азайтуға мүмкіндік береді.

Осыған байланысты футеровканы салқындату режимдерін рационализациялау есебінен құю шөміштерінің энергетикалық тиімділігін арттыру бойынша міндеттер мен ұсыныстар өзекті болып табылады.

Зерттеу нысаны: Ферроқорытпа өндірісінің құю шөміштерінің футеровкасы.

Зерттеу пәндері салқындату процесінде ферроқорытпа өндірісінің құю шөміштерінің футеровкасында термиялық кернеулердің пайда болу заңдылықтары болып табылады.

Диссертация тақырыбының жалпы ғылыми (мемлекеттік) бағдарламалармен байланысы: диссертация "Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті" мемлекеттік мекемесі қаржыландыратын ғылыми-зерттеу жұмысының шеңберінде келесі тақырып бойынша орындалды: ЖРН АР19675777 "Қалдық қызмет ету мерзімін бағалау жүйесін әзірлеу арқылы жылутехнологиялық жабдықтарының сенімділігін арттыру" (2023-2025 жж.).

Зерттеу мақсаты: футеровканы салқындату режимдерін рационализациялау арқылы құю шөміштерінің энергетикалық тиімділігін арттыру.

Осы мақсатқа жету үшін келесі **міндеттерді** шешу қажет:

1. Жоғары температуралы қондырғыларда қолданылатын отқа төзімді материалдарды өндіру мен пайдаланудың қазіргі жағдайына талдау жасау.

2. Тұрақты емес жұмыс режимдерінде құю шөміштерінің футеровкасын жылу жұмысына талдау жасау.

3. Құю шөміштерін салқындату процесінде термиялық кернеулі футеровка күйінің математикалық моделін жасау.

4. Қолданылатын отқа төзімді материалдардың термофизикалық

параметрлері мен термомеханикалық қасиеттерінің температураға тәуелділігін анықтау үшін эксперименттік зерттеулер жүргізу.

5. Пайдаланылатын отқа төзімді материалдардың термофизикалық параметрлері мен термомеханикалық қасиеттерінің температураға тәуелділігін ескере отырып құю шөміштерінің футеровкасын салқындатудың ұтымды кестелерін әзірлеу.

6. Құю шөміштерінің қалдық қорын бағалау әдістемесін әзірлеу.

7. Құю шөміштерінің астарын салқындату әдісін және оны жүзеге асыруға арналған құрылғыны әзірлеу.

8. Ұсынылған техникалық шаралардың экономикалық тиімділігін есептеуді орындау.

Зерттеу әдістері. Диссертацияда қойылған міндеттерді шешу үшін:

- құю шөміштерінің футеровкасын температуралық өрістерін оларды салқындату процесінде өлшеу;

- стационарлық емес жұмыс режимдерінде құю шөміштерінің футеровкасын жылу жұмысын талдау;

- құю шөміштерін салқындату процесінде төсемнің термиялық кернеулі күйін математикалық модельдеу;

- зертханалық жағдайда қолданылатын отқа төзімді материалдардың термофизикалық параметрлері мен термомеханикалық қасиеттерін эксперименттік зерттеу.

Ғылыми жаңалық:

1. Құю шөміштерін салқындату процесінде термиялық кернеулі төсем күйінің математикалық моделі жасалды.

2. Жоғары температурада отқа төзімді материалдарды ию кезінде созылу беріктігінің шегін анықтау тәсілі әзірленді, ол ҚР патентімен қорғалған.

3. ШКУ-32 маркалы шамоттық отқа төзімділіктің созылу беріктігі шегінің температураға тәуелділігі алынды.

4. ҚР патентімен қорғалған отқа төзімді материалдардың жылу-физикалық қасиеттерін анықтау тәсілі әзірленді.

5. Термофизикалық параметрлер мен термомеханикалық қасиеттердің температураға тәуелділігін ескере отырып ферроқорытпа өндірісінің құю шөміштерінің төсемдерін салқындатудың ұтымды кестелері әзірленді.

6. ҚР патентімен қорғалған құю шөміштерінің футеровкаларының қалдық ресурсын айқындау әдістемесі әзірленді.

7. Құю шөмішінің футеровкасын салқындату тәсілі және оны жүзеге асыруға арналған құрылғы әзірленді, олар ҚР патенттерімен қорғалған.

Жұмыстың практикалық маңыздылығы:

1. ШКУ-32 шамоттық отқа төзімділік шегінің қысу мен созылу температурасына тәуелділігін отқа төзімділіктің термомеханикалық қасиеттерімен байланысты есептеулер кезінде кәсіпорындардың жобалау ұйымдары мен конструкторлық бөлімдері қолдана алады.

2. Құю шөміштерін салқындату процесінде термиялық кернеулі төсем

күйінің әзірленген математикалық моделін кәсіпорындардың өндірістік-технологиялық бөлімдері, сондай-ақ жобалау ұйымдары төсемдердің термиялық кернеулі күйін есептеу үшін пайдалана алады.

3. Құю шөмішінің футеровкасын салқындатуға арналған әзірленген құрылғы өнеркәсіптік кәсіпорындардың жоғары температуралы агрегаттарының футеровкасын салқындату кестесінің сақталу дәлдігін арттыруға мүмкіндік береді.

4. Құю шөміштерін төсеудің қалдық ресурсын анықтаудың әзірленген әдістемесі жоғары температуралы агрегаттарды жобалау және пайдалану кезінде, сондай-ақ оқыту мақсатында көп вариантты болжамды есептеулерді орындау кезінде пайдаланылуы мүмкін.

Жұмысты апробациялау. Диссертациялық жұмыстың негізгі нәтижелері халықаралық ғылыми-практикалық және ғылыми-техникалық конференцияларда сыналды:

- С. Торайғыровтың 130 жылдығына арналған "XV Торайғыров оқулары" Халықаралық ғылыми-практикалық конференциясы (Павлодар қ., 2023 ж.);

- XXXVII халықаралық ғылыми-практикалық конференция: "Заманауи ғылыми зерттеулер: өзекті мәселелер, жетістіктер мен инновациялар "(2024 ж., Пенза қ., РФ).

Басылымдар. Диссертацияның нәтижелері бойынша 14 баспа жұмысы жарияланды, оның ішінде ГЖБССКЕК ұсынған журналдарда – төрт, ҚР патенттері – бес (А Қосымшасы); SCOPUS және Web of Science базаларында – үш: Energies (2023 ж.), Energies (2024 ж.), Refractories and Industrial Ceramics (2023); халықаралық конференциялар жинақтарындағы екі мақала.

Нәтижелердің сенімділігі. Алынған нәтижелердің дұрыстығы зерттеудің заманауи әдістері мен әдістемелерін қолданумен, жүргізілген эксперименттердің есептік деректермен жеткілікті ұқсастығымен (алшақтық 3% - дан аз); математикалық модельдің барабарлығымен расталады.

Қорғауға шығарылатын ережелер:

- құю шөміштерінің футеровкасын салқындату процесінің жылу техникалық зерттеулерінің нәтижелері;

- құю шөмішін салқындату кезінде оның футеровкасындағы термиялық кернеулерді анықтауды есептеу әдістемесі;

- құю шөміштерін салқындату процесінде термиялық кернеулі футеровка күйінің математикалық моделі;

- шамотты отқа төзімді беріктік шегінің қысу мен созылу температурасына тәуелділігі;

- термофизикалық параметрлер мен термомеханикалық қасиеттердің температураға тәуелділігін ескере отырып, ферроқорытпа өндірісінің құю шөміштерінің футеровкасын салқындатудың ұтымды кестелері;

- жоғары температуралы агрегаттардың футеровкасының қалдық ресурсын анықтау тәсілі.

Нәтижелерді енгізу. Құю шөміштері футеровкасының термиялық кернеулі жай-күйі моделін пайдалана отырып, есептеу-эксперименттік

зерттеулердің алынған нәтижелері "Торайғыров университеті" КЕАҚ оқу процесіне (7М07106-Жылу энергетикасы білім беру бағдарламасының магистранттары үшін «Жоғары температуралы агрегаттар жұмысының сенімділігі» пәні бойынша дәріс бөлімі) (Б қосымшасы), сондай-ақ «ТҰК» Қазхром» АҚ филиалының «Ақсу ферроқорытпа зауыты» кәсіпорындарында енгізілді құю шөміштерінің қалдық ресурсын айқындау әдістемесін енгізді; «KSP Steel» ЖШС ПФ рұқсат етілген қалдық ресурсты бағалау үшін құю шелектерінің футеровкаларын салқындату режимдерін есептеу әдістемесі енгізілді (В қосымшасы).

Автордың жеке үлесі: әдеби деректерді зерттеу, талдау және жалпылау міндеттерін қоюдан; қолданыстағы өнеркәсіптік жабдықта салқындату процесінде құю шөміштерін футерлеудің температуралық өрістерін өлшеуді жүргізуден; жаңа техникалық шешімдерді әзірлеуден және құю шөміштерін футерлеудің отқа төзімді материалдарының термомеханикалық және жылу-физикалық қасиеттерін анықтау бойынша эксперименттік зерттеулер жүргізуден; құю шөміштерін футеровкалауда термиялық кернеулерді анықтаудың математикалық моделін әзірлеуден тұрады салқындаған кезде; қолданыстағы футеровканы салқындату режимдерін пайдалану кезінде термиялық кернеулерді есептеу және құю шөміштерін салқындату режимдерінің ұтымды кестелерін әзірлеу.

Диссертацияның көлемі мен құрылымы: диссертациялық жұмыс «Анықтамалар, белгілеу және қысқарту» бөлімінен, кіріспеден, бес бөлімнен, қорытындыдан, пайдаланылған әдебиеттер тізімінен және қосымшалардан тұрады. Диссертация компьютерлік жинақтың 144 бетінде, оның ішінде 42 сурет пен 8 кестеде, 33 формулада және библиографиялық дереккөздердің 168 атауында көрсетілген.

Кіріспеде зерттеудің өзектілігі, мақсаттары мен міндеттері, ғылыми жаңалығы, қорғауға ұсынылған ережелер, жұмыстың дұрыстығы, автордың жеке үлесі, сондай-ақ нәтижелер мен жарияланымдарды сынақтан өткізу ұсынылған.

Бірінші бөлімде отқа төзімді материалдарды өндіру мен пайдаланудың қазіргі жағдайына талдау жасалды. Құю шөміштерінде отқа төзімді материалдарды пайдалану, сондай-ақ құю шөміштерінің заманауи футеровкасының дизайны мен жұмысы қарастырылған. Құю шөміштерінің футеровкасының қызмет ету мерзіміне пайдалану факторларының әсері бағаланды. Құю шөміштерінің жұмыс жағдайынан температураның айтарлықтай өзгеруінің футеровканың қызмет ету мерзіміне әсерін ажыратуға болады. Футеровканың қалыңдығы бойынша температураның айырмашылығы оның мәні технологиялық регламентте белгіленген пайдаланылатын материалдардың беріктік шегінен асатын термиялық кернеулердің туындауына байланысты оның бұзылуына әкеледі.

Құю шөміштерінің жылу жұмысын талдау олардың жұмыс жағдайлары көбінесе төсемдердің жұмыс науқанының ұзақтығымен анықталатынын көрсетті.

Талдау негізінде құю шөміштерінің энергетикалық тиімділігі мен қызмет ету мерзімін арттырудың негізгі әдістері анықталды.

Екінші бөлімде құю шөміштерінің футеровкасының жылу жұмысы зерттеліп, зерттеу объектісінің сипаттамасы келтірілген. Қазіргі заманғы өлшеу аспаптарының көмегімен құю шөміштерінің футеровкаларына тепловизиялық және көзбен шолып тексеру жүргізілді. Құю шөміштерінің футеровкасын жөндеуге талдау жасалды, бұл шлак белдеуінің тозуы негізінен агрессивті шлак химиялық әсерінен болатынын көрсетті. Металл балқымасының оны шөмішке төгу және шөміштен төгу әсері шектеулі жергілікті әсерге ие. Футеровканың тозуының негізгі себебі стационарлық емес жылу процестерінде, соның ішінде жоғары жылдамдықты құю шөмішінің футеровкасын салқындату кезінде футеровканың қалыңдығы бойынша температураның айтарлықтай градиентінен туындайтын термиялық кернеулер болып табылады.

Құю шөміштерінің футеровкасын салқындату режимдері зерттелді, зерттеу нәтижелері қаралған кәсіпорында құю шөміштерінің футеровкасын салқындату режимдері әзірленбегенін және оны салқындату цех атмосферасы жағдайында табиғи конвекция кезінде температураның төмендеу жылдамдығын бақылаусыз жүзеге асырылатынын көрсетті.

Үшінші бөлімде құю шөміштерін салқындату процесінде футеровканың термиялық кернеулі күйіне талдау жасалды және құю шөміштерін салқындату процесінде футеровканың термиялық кернеулі күйінің математикалық моделі жасалды.

Ферроқорытпа өндірісінің құю шөмішінің футеровкасын салқындату процесін талдау температураның төмендеуін бақылаусыз, табиғи конвекция жағдайында астарды салқындату процесі өте біркелкі емес екенін көрсетеді. Футеровканың ішкі бетінің температурасы салқындаған сәттен бастап 30 минут ішінде 300 °C-қа төмендейді, бұл техникалық әдебиеттерде келтірілген салқындату жылдамдығының мәндерінен асып түседі. Салқындатудың соңғы кезеңінде 300 °C температураның төмендеуі 10 сағат 10 минут ішінде орын алады. Осылайша, футеровканың ішкі бетінің салқындату жылдамдығы әр түрлі кезеңдерде 20 еседен астам ерекшеленеді.

Салқындату процесінде футеровканың термиялық кернеу күйінің математикалық моделі жасалды, оған екі компонент кіреді: температура өрістерінің математикалық моделі және құю шөміштерінің футеровкасындағы термиялық кернеулерді есептеуге арналған математикалық модель.

Табылған термиялық кернеу мәндері қолданыстағы салқындату жылдамдығын талдау және пайда болған термиялық кернеулерді қолданылатын отқа төзімді беріктік шегімен салыстыру арқылы құю шөміштерінің футеровкасын салқындатудың ұтымды режимдерін жасау үшін қажет.

Төртінші бөлімде отқа төзімді материалдардың термомеханикалық қасиеттері эксперименталды түрде зерттелді. Шамот отқа төзімді заттардың беріктік сипаттамалары анықталды.

Эксперименттік зерттеулер көрсеткендей, 1-2 балқымадан кейін отқа төзімді ШҚУ - 32 маркалы шамоттық отқа төзімділіктің сығылу беріктігі 20 °C-тан 800 °C-қа дейінгі барлық температура аралықтарында 20 °C-та олардың паспорттық мәнінен жоғары. Үш балқымадан кейін отқа төзімді заттар үшін 100-ден 380 °C-қа дейінгі аралықта және 480-ден 680 °C-қа дейінгі аралықта тиісінше 22% және 40% - ға 1-2 балқымадан кейін отқа төзімді паспорттық мәннен жоғары қысу беріктігі шегі.

1-2 балқымадан кейін отқа төзімділік үшін созылу беріктігінің мәні 440 °C-тан 800 °C-қа дейінгі аралықта анықтамалық мәннен 25% - ға жоғары болды. 450 °C-тан 550 °C-қа дейінгі учаскеде 1-2 балқымадан кейін отқа төзімділіктің анықтамалық мәнінен үш балқымадан кейін отқа төзімділіктің созылу беріктігі небәрі 2% - ға жоғары.

Құю шөміштерінің футеровкасын отқа төзімді қондырғыларының жұмыс жағдайлары жылу өткізгіштік коэффициентінің мәндеріне айтарлықтай әсер ететіндігі эксперименталды түрде дәлелденді. Жүргізілген зерттеулер отқа төзімді материалдардың жылу өткізгіштік коэффициентінің мәндері үш балқымадан кейін бастапқы мәннен 12% - ға дейін артатынын көрсетті.

Бесінші бөлімде құю шөміштерінің футеровкасын салқындату процесінде пайда болатын термиялық кернеулерге талдау жасалды. Үш балқымадан кейін отқа төзімді заттар үшін қысу кернеулерінің беріктігі шегінің уақытқа тәуелділігі графиктері 1-2 балқымадан кейін отқа төзімді заттар үшін созылу термиялық кернеулерінің уақытқа тәуелділігі графиктеріне ұқсас пішінге ие екендігі анықталды.

Құю шөміші футеровканың термиялық кернеу күйін есептеудің әзірленген бағдарламасы негізінде оның төсемін салқындатудың ұтымды режимі мен кестесі ұсынылған. Термиялық кернеулер қолданылатын отқа төзімді материалдардың беріктік шегінен аспайтын әзірленген кестені пайдалану нәтижесінде салқындату уақыты 19 сағат 30 минуттан 10 сағат 10 минутқа дейін төмендейді, сондай-ақ әдеби деректерге сәйкес отқа төзімді төсемнің қызмет ету мерзімі 5% - ға дейін артады.

Құю шөміштерінің футеровкасының қалдық ресурсын бағалау жүргізілді және құю шөміштерінің футеровкасын бақыланатын салқындату бойынша ұсыныстар әзірленді. Ұсынылған техникалық іс-шаралардың экономикалық тиімділігіне бағалау жүргізілді.

Қорытындыда зерттеудің негізгі нәтижелері көрсетілген және диссертациялық жұмыс бойынша қорытындылар келтірілген.