«8D07106 – Жылу энергетикасы» білім беру бағдарламасы бойынша философия докторы (PhD) дәрежесін алу үшін диссертациялық жұмысқа

АҢДАТПА

ОРЫНБАСАР МАҒЖАН НҰРЛАНҰЛЫ

ПЛАЗМАЛЫҚ-КӨМІР ЖАНАРҒЫЛАРЫНЫҢ ЭНЕРГЕТИКАЛЫҚ ЖӘНЕ ЭКОЛОГИЯЛЫҚ ТИІМДІЛІГІ: САНДЫҚ МОДЕЛЬДЕУ ЖӘНЕ ЭКСПЕРИМЕНТ

Зерттеу жұмысының жалпы сипаттамасы

Диссертация төмен сұрыпты көмірді тұтандыру және жануын тұрақтандыру үшін плазмалық-көмір жанарғысын зерттеу және оңтайландыруға арналған. Сандық зерттеулерді жүргізу үшін термодинамикалық және кинетикалық есептеулерге арналған компьютерлік бағдарламалар пайдаланылды: сәйкесінше TERRA және PlasmaKinTerm. Плазмалық-көмір жанарғысында эксперименталды зерттеулер жүргізіліп, алынған нәтижелер сандық зерттеулердің нәтижелерімен салыстырылды.

Зерттеу тақырыбының өзектілігі

Қазіргі уақытта Қазақстанның және ТМД елдерінің жылу электр станцияларында негізінен ашық әдіспен өндірілетін, күлділігі жоғары төмен сапалы көмір пайдаланылады. Мұндай көмірлер жоғары күлділігімен және ұшқыш заттардың төмен шығымдылығымен сипатталады. Дәстүрлі жану жүйелерінде осы төмен сұрыпты отындардың тікелей жануы қиын тұтану, толық емес жану және атмосфераға зиянды заттардың – күл, азот оксидтері (NO_x) және күкірт (SO_x) шығарындыларының артуы сияқты бірқатар күрделі мәселелермен бірге жүреді.

Жылу энергетикасында төмен сұрыпты көмірлердің тұтануын жақсарту және жануын тұрақтандыру үшін әртүрлі дәстүрлі әдістер бар. Дүние жүзіндегі көптеген ЖЭС-те кеңінен қолданылатын технологиялардың бірі – қазандықты жағу және мазутты пайдалана отырып, көмірдің ұнтақ күйінде жағуын тұрақтандыру. Алайда, экологиялық, энергетикалық және экономикалық тұрғыдан алғанда бұл технология тиімсіз. Ол тапшы мазуттың айтарлықтай тұтынуын талап етеді (ТМД елдерінде жыл сайын шамамен 25 млн. тонна) және қоршаған ортаға қауіпті газдардың шығарындыларымен бірге жүреді. Мазутты жағу кезінде зиянды газдар – азот пен күкірт оксидтері түзіледі, оларды пайдалану халықаралық қауымдастықпен шектеледі. Қазандықтарды жағу және көмірдің ұнтақ күйінде алауын жағуды тұрақтандыру үшін қазіргі уақытта қолданылатын технологиялар елдердің энергетикалық және экологиялық қауіпсіздігін нашарлатады.

Көмір салыстырмалы арзандығы мен кең таралған қолжетімділігіне байланысты энергия өндірушілер үшін тартымды таңдау болып қала береді. Көмірдің энергетикалық сектордағы негізгі рөлінен басқа, әртүрлі салалар үшін маңызы зор. Металлургияда, фосфорлы тыңайтқыштар мен цемент өндірісінде қолданылады. Сонымен қатар, көмірдің жанама өнімдері

жетілдірілген материалдарды – сүзу жүйелері үшін белсендірілген көмірді, аэроғарыш және автомобиль өнеркәсібіне арналған көміртекті талшықты, майлау материалдарында қолданылатын металл кремнийді және химиялық жолмен алынған сирек жер элементтерін жасау үшін қолданылады. Бұл мысалдар көмірдің жаһандық энергетикалық жүйенің маңызды құрамдас бөлігі ретінде тұрақты өзектілігін көрсетеді, оны пайдаланудан толығымен алып тастау мүмкін емес. Бүгінгі жаһандық мәселелерді шешу әртүрлі энергия көздері мен технологиялық инновацияларды біріктіретін кешенді тәсілді талап етеді. Баламалы көздерге белсенді көшуге қарамастан, көмір әлемдік энергетикалық жүйеде маңызды рөл атқаруын жалғастыруда (тек оның қолжетімділігіне байланысты емес, сонымен қатар негізгі өнеркәсіп секторлары үшін стратегиялық маңыздылығына байланысты). Сонымен қатар, көмір жаңартылатын энергия көздерін енгізу және сенімді жұмыс істеу үшін қажетті инфрақұрылымның дамуы мен тұрақты жұмыс істеуіне ықпал етеді. Осыған байланысты көмірді тиімді пайдаланудың жаңа технологиялық шешімдерін табуға ғылыми-зерттеу жұмыстарын бағыттау қажет.

Жылу энергетикасы саласындағы перспективті технологиялардың бірі плазмалық-көмір жанарғысының (ПКЖ) көмегімен ұнтақ көмірдің плазмалық тұтану және жануын тұрақтандыру болып табылады. Бұл технология қазандықтарды іске қосқанда және көмір шаңының тұрақты тұтануын және жануын қамтамасыз еткенде қосымша жоғары реактивті отынның (мысалы, табиғи газ немесе мазут) қажеттілігін жояды. Технология отынды электротермохимиялық жағуға дайындау концепциясына негізделген (ОЭТД), ол ауа-көмір қоспасын ұшқыш заттар бөлінетін және қалған кокс ішінара газданатын температураға дейін қыздыру үшін электр доғалық плазманы қолдануды көздейді. ПКЖ нәтижесінде бастапқы қатты көмір жанғыш газдар мен қатты көміртек қалдықтарынан тұратын жоғары реактивті екі компонентті отынға (ЖРЕО) айналады. Құрылғының шығысында ЖРЕО жану камерасындағы ауамен тиімді араласудың арқасында тез тұтанады.

Дүние жүзінде плазмалық тұтану және ұнтақ көмір отынын жануды тұрақтандыру бойынша ғылыми зерттеулердің айтарлықтай көлемі жарияланды. Бұл технологияны кеңінен енгізу Қытайда байқалады, онда көмір қазандықтарының шамамен 45% ПКО-мен жабдықталған. Күлділігі 45%-ға дейінгі төмен сапалы көмірдің тұтану және жану процестерін эксперименттік зерттеулер ПКО технологиясын қолдану арқылы мұндай жоғары күлді отынның да тиімді тұтануы және тұрақты жануы мүмкін екенін көрсетті.

Диссертация тақырыбының ғылыми жұмыс жоспарымен байланысы

Диссертациялық жұмыс Қазақстан Республикасы жоғары білім және ғылым министрлігінің бекітілген ғылыми-зерттеу жоспарына сәйкес, сондай-ақ «Құрамында көміртегі бар қалдықтарды, оның ішінде полиэтилентерефталатты плазмалық газдандыру арқылы энергетикалық газды және бейтарап бейорганикалық материалды өндіру» (AP19674754, 2023-2025); «Плазма-химиялық, механикохимиялық және өздігінен таралатын жоғары температуралық синтез процестерін қолдана отырып, жаңа функционалдық

материалдардың технологияларын әзірлеу және сынау» (BR18574084, 2023-2025); «Плазмалық технологияның экологиялық және энергия тиімділігі: сандық модельдеу және эксперимент» (AP22687016, 2024-2026).

Диссертациялық жұмыстың мақсаты – ұнтақ көмір ЖЭС-те плазмалық-көмір жанарғысын пайдаланудың экологиялық және энергия тиімділігін бағалау.

Қойылған мақсаттарға жету үшін келесі **мәселелерді** шешу қажет болды:

1 Плазмалық-көмір жанарғысының шығысында жоғары реактивті екі компонентті отынды алу мақсатында TERRA және PlasmaKinTherm бағдарламалық пакеттерін пайдалана отырып, төмен сұрыпты жоғары күлді отынды жағуға электротермохимиялық дайындау кезінде түзілетін өнімдерді термодинамикалық және кинетикалық модельдеуді жүргізу;

2 Жанарғы көлеміндегі плазмалық тұтану және жануды тұрақтандыру (ПТЖТ) процестеріне эксперименталды зерттеулер жүргізу;

3 Плазмалық-көмір жанарғысының көлеміндегі ұнтақ көмір отынын плазмалық тұтану және ішінара газдандыру процестерінің тиімді ағынын қамтамасыз ететін оңтайлы параметрлерді анықтау.

Зерттеу нысаны – плазмалық-көмір жанарғылары.

Зерттеу пәні плазмалық-көмір жанарғысында Екібастұз көмірін электротермохимиялық жағуға дайындау процесі.

Зерттеу әдістері

Сандық талдаулар сәйкесінше термодинамикалық және кинетикалық есептеулерге арналған TERRA және PlasmaKinTerm бағдарламалық пакеттері арқылы жүргізілді. Нәтижелерді талдау үшін плазмалық-көмір жанарғысын қолдану арқылы эксперименттік зерттеулер жүргізілді және сандық нәтижелермен салыстырылды.

Диссертациялық жұмыстың ғылыми жаңалығы келесі түпнұсқа нәтижелерде көрінеді:

1 Алғаш рет жоғары күлді, төмен сапалы энергетикалық көмірден плазмалық-көмір жанарғысының қолдану арқылы ЖРЕО алу мүмкіндігін растайтын сандық модельдеу жүргізілді;

2 Алғаш рет плазмалық-көмір жанарғы камерасында жоғары күлді Екібастұз көмірін плазмалық тұтандыру және ішінара газдандыру кезінде синтездік газдың ($CO+H_2$) жалпы концентрациясы 37,1% құрайтынын растайтын эксперименттік мәліметтер алынды;

3 Жанарғы көлеміндегі күлділігі жоғары Екібастұз көмірінің плазмалық тұтану және ішінара газдандыру процестерін оңтайландыру жүргізілді, осы процестердің оңтайлы параметрлері анықталды.

Қорғауға шығарылатын негізгі тұжырымдар:

1 Шаң тәрізді төмен сапалы Екібастұз көмірін электротермохимиялық түрде жағуға дайындау CO (26,5%) және H_2 (15,2%) жоғары концентрациясы бар жоғары реактивті екі компонентті отын (жанғыш газдар мен кокс қалдықтарынан тұратын) алуды қамтамасыз етеді, бұл плазмалық-көмір жанарғысынан шығуда жылдам тұтануды қамтамасыз етеді;

2 12 550 кДж/кг меншікті жану жылуы бар тәжірибелік қондырғының шығысынан алынған жоғары реактивті екі компонентті отын қайталама ауамен араласқан кезде тұрақты және қарқынды тұтануды қамтамасыз етеді;

3 Плазмалық-көмір жанарғысының оңтайлы жұмыс параметрлері орташа массалық температура 1880 К, қысым 0,1 МПа, плазматронның қуаты 60 кВт, ұзындығы 3 м және диаметрі 0,15 м.

Жұмыстың ғылыми маңыздылығы

ПКО бойында көмірді жағуға электротермохимиялық дайындау процесінде температураны бөлудің анықталған жалпы заңдылықтары, өнімдердің жылдамдығы мен концентрациясы осындай жүйелердің тиімділігі мен тұрақтылығын арттыруға мүмкіндік береді. Алынған нәтижелер көмірді жағудың энергия тиімділігін арттырудың, жану процестерін оңтайландырудың және қоршаған ортаға кері әсерін азайтудың жаңа әдістерін әзірлеу үшін пайдаланылуы мүмкін.

Жұмыстың практикалық маңыздылығы

Күлділігі жоғары Екібастұз көмірінің плазмалық тұтануының оңтайлы параметрлері тәжірибе жүзінде расталды, бұл ЖЭС-ның ұнтақ көмір қазандықтарында ПКО тиімділігі мен сенімділігін арттыруды қамтамасыз етеді. Әзірленген тәсіл РАО «ЕЭС России» плазмалық энергетикалық технологиялар салалық орталығымен бірлесіп Гусиноозерск ГРЭС-тің ТПЭ-215 қазандығына енгізілді. Бұл жылу энергетикасында төмен сапалы күлді көмірдің тұтануын жақсарту және жануды тұрақтандыру технологиясының қолданылуын, тиімділігін және өнеркәсіптік маңыздылығын растайды.

Автордың өзінің қосқан үлесі – берілген есептерді өз бетінше шешуде және ПТЖТ процестерінің сандық есептеулерін орындауда. Автор қатты отынның жануын тұтандыру және тұрақтандыру үшін плазмалық-көмір жанарғысын стендтік тәжірибелік зерттеулерге белсенді қатысты. Ғылыми жетекшілермен бірлесіп зерттеу мақсаттарын қою, әдістерді таңдау және нәтижелерді талқылау жүргізілді.

Алынған нәтижелердің дәлелділігі мен нақтылығы

Диссертацияда кеңінен танымал әрі тексерілген термодинамикалық және кинетикалық сипаттағы математикалық модельдер – TERRA және PlasmaKinTherm қолданылады. Зерттеу нәтижелерінің сенімділігі мен дәлдігі сандық модельдеу деректерінің эксперименттік зерттеулермен тұрақты түрде сәйкес келуімен дәлелденеді. Сонымен қатар, жұмыстың ғылыми маңыздылығы импакт-факторы нөлден жоғары халықаралық рецензияланған журналдарда, Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Білім және ғылым сапасын қамтамасыз ету комитеті ұсынған басылымдарда, сондай-ақ көршілес және шет елдерде өткен халықаралық ғылыми конференциялардың материалдарында жариялануымен расталады.

Диссертациялық жұмыстың аппробациядан өтуі және жарияланымдар

Диссертациялық жұмыстың негізгі нәтижелері 14 ғылыми басылымда жарық көрді, оның ішінде: Scopus және Web of Science дерекқорларында енгізілген журналдағы 1 мақала, Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары

білім министрлігінің Ғылым және жоғары білім саласындағы сапаны қамтамасыз ету комитеті ұсынған басылымдарда 7 мақала, Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитетіне қарасты Жану проблемалары институтының Ғылыми кеңесі ұсынған ұжымдық монографияда 1 жарияланым, халықаралық ғылыми конференциялар материалдарының жинақтарында 5 баяндама жарияланды.

Диссертация құрылымы мен көлемі:

Диссертациялық жұмыс кіріспеден, үш тараудан, қорытынды және пайдаланылған әдебиеттер тізімінен тұрады. Жұмыс 26 сурет, 9 кесте, 153 әдебиеттер тізімі, 108 бет және 3 қосымшаны қамтиды.