Максат Куатбекович Бекмульдиннің

8D05302 - «Техникалық физика» білім беру бағдарламасы бойынша философия докторы (Phd) дәрежесін алуға арналған диссертациясына

АННОТАЦИЯ

Жеңіл сулы ядролық реактордың модельді кориумының Al_2O_3 - ерітінді қайнаған қорғасын қабаты бар құрбандық материалымен өзара әрекеттесуін эксперименттік модельдеу

Жұмыстың жалпы сипаттамасы

Диссертациялық жұмыс жеңіл су ядролық реакторының модельдік кориумының кандидаттық құрбандық материалымен - Al_2O_3 және ерітінді тұзақтың қорғасын қабатымен ауыр авария процесін моделдеу жағдайындағы өзара іс-қимылын зерттеуге, сондай-ақ жүргізілген жоғары температуралық өзара іс-қимыл нәтижесінде алынған кориумның құрылымдық-фазалық жай-күйін зерттеуге арналған.

Зерттеу тақырыбының өзектілігі

Қазіргі уақытта әлемнің отыз бір елі энергияны атом электр станцияларының көмегімен алатыны белгілі. Қазақстан сондай-ақ «III +» реакторын салу мүмкіндігін қарастыруда. Осыған байланысты, атом электр станцияларының (АЭС) қауіпсіздігін жақсарту өзекті және басым міндеттердің бірі болып табылады. Бірнеше ірі апаттан кейін бүкіл әлемдік қоғамдастық осы проблеманы шешумен айналысады. Атом электр станцияларын пайдалану тәжірибесіне сүйенсек, ауыр апат тіпті өте төмен ықтималдық жағдайында да болуы мүмкін. Ауыр аварияны дамытудың көптеген сценарийлері бар, олардың бірі реактордың белсенді аймағы балқымасының корпуспен өзара іс-қимылы болып табылады, оны одан әрі балқыту және балқыманың тұзағына ағызу.

Балқыма тұзақтарының негізгі мақсаты кориумның қалдық энергия бөлу процестерін оқшаулау және оның тұзақтың шегінен тыс түсуін болдырмау болып табылады. Балқыманың қақпаны құрбан болған материалдары бар блоктары орнатылған болат корпусты білдіреді. Корпустың өзі қайнаған суы бар секцияланған сақиналы бассейнмен салқындатылатын жылу оқшаулағыш қабаттармен қоршалған. Тигель үлгісіндегі барлық тұзақтардың негізгі айырмашылығы құрбан болған материалдың конструкциясы мен құрамында болады.

Ерітіндінің тигельдік тұзағының негізгі элементі ретінде құрбандық материалдары:

- тұзаққа түскен жоғары температуралық еріту температурасының төмендеуі;
- бу-металл реакциялары барысында жарылыс қаупі бар сутегінің бөлінуін азайту және кориумның бетіне судың қауіпсіз берілуін қамтамасыз

ету мақсатында оның металл бөлігімен гравитациялық инверсияны жүзеге асыру үшін кориумның оксидті бөлігінің тығыздығын азайту.

Атом станцияларының балқыту тұзақтары үшін құрбандық материалдарын таңдау олардың пассивті қауіпсіздік жүйелерін дамытуды айқындайтын маңызды міндеттердің бірі болып табылады. Қазіргі уақытта осы салада көптеген әртүрлі сынақтар мен зерттеулер жүргізілді, олар белсенді аймақты балқытумен ауыр авария кезінде реактор корпусының шегінен шыққан жағдайда кориумды тиімді және сенімді оқшаулау үшін балқытпа тұзақтарында қандай материалдарды пайдалануды қалайтыны туралы көзқарас пен түсінікті қалыптастыруға мүмкіндік берді.

Бұл ретте жылу қайтару тиімділігі, ҚМ-ның кориумда еру жылдамдығы, сондай-ақ ҚМ дайындау құны тиімді оқшаулауды қамтамасыз етудегі негізгі факторлардың бірі болып табылады. . Осыған байланысты, ҚМ таңдаудың үнемді орындылығымен қатар, кориумнан жылу бұрғыштың тиімділігін арттыру ғана емес, балқытпа тұзағы компоненттерінің кориуммен өзара іс-қимылының жылдамдығын арттыру тәсілдері де өзекті болып отыр.

Осы диссертациялық жұмыстың мақсаты белсенді аймақты балқытумен ауыр аварияны модельдеу жағдайында кориумның алюминий оксидінен (Al_2O_3) құрбан болған материалмен қорғасын қабатымен өзара әрекеттесуін эксперименттік модельдеу және өзара әрекеттесуден кейін кориумның құрылымдық-фазалық жай-күйін зерделеу болып табылады.

Алға қойылған мақсатқа қол жеткізу үшін мынадай **міндеттер** шешілді:

1. Жеңіл су реакторының кориумының балқыма тұзағындағы құрбандық материалдарымен өзара әрекеттесуі кезінде болатын процестерге талдау жүргізу және олардың өзара іс-қимылын эксперименттік модельдеу әдістемесін әзірлеу;

2. Кориумдағы қалдық энергия бөлуді имитациялау жағдайында кориумның құрбандық материалымен өзара әрекеттесуін эксперименттік модельдеу

3. Алюминий оксидінен (Al_2O_3) құрбандық материалмен және қорғасын қабатпен өзара іс-қимыл жасағаннан кейін кориумның макро- және микроқұрылымына, элементтік және фазалық құрамына зерттеу жүргізу.

Қорғауға шығарылатын негізгі ережелер:

1. Кориумның алюминий оксиді мен жеңіл су реакторы балқымасының қорғасын қабатынан жасалған құрбандық материалымен өзара әрекеттесуін компьютерлік модельдеу, қорғасын қабатын пайдалану қайнаған қабат материалының бу түріндегі жай-күйге фазалық ауысуына жұмсалатын жылу энергиясы есебінен кориумнан 0,45 МВт жылу бөлуді қамтамасыз ететіндігін көрсетті;

2. Индукциялық қыздыру кезінде графиттік блоктағы үлестік энергия бөлудің шамасы 2,02 кВт/кг құрайды, бұл қалдық энергия бөлуді имитациялау процесін нақты энергияға барынша жақындату үшін кориумды балқытудағы (0,41 кВт/кг) қуаттың қажетті мәніне сәйкес келеді;

3. Құрбандық материалмен өзара әрекеттескеннен кейін қатайған кориумның микроқұрылымы кристалды тордың әр түрімен екі фазадан

тұратын қатты ерітінді ретінде көрсетілген. Тығыз «қараңғы» кориумның учаскелерінде және кориумның керамикалық материалмен өзара әрекеттесуінің ауыспалы аймағында осы қатты ерітіндінің фазасы P42/nmc кеңістіктік тобы торының тетрагональдық модификациясында кристалданған, ал «ашық» кеуекті кориум учаскесінде фазаның құрамы сол кезде Fm3m кеңістіктік тобы торының кубикалық модификациясында болады.

Жұмыстың **ғылыми жаңалығы:**

- алғаш рет компьютерлік модельдеу әдісімен жеңіл су реакторының балқымасының тұзағының құрбандық материалы үшін құраушы ретінде қорғасын қабатын пайдалану негіздемесі жүргізілді;
- кориумдағы қалдық энергия бөлуді имитациялау кезінде қыздыру тиімділігін арттыру үшін индукциялық қыздыру жүйесінің параметрлерін калибрлеу әдістемесі әзірленді және сынақтан өткізілді;
- алғаш рет эксперименттік зерттеулер жүргізілді және активті аймақты балқытумен ауыр авариияны модельдеу жағдайында ядролық реактордың кориумының алюминий оксидінен (Al_2O_3) құрбандық материалы мен қорғасын қабатының өзара іс-қимылының ерекшеліктері анықталды.

Зерттеу объектісі кориумның құрбандық алюминий оксиді керамикалық материалымен (Al_2O_3) қайнаған қорғасын қабатымен жоғары температуралық өзара әрекеттесуі нәтижесінде алынған материал болып табылады.

Зерттеу мәні эксперименттің сапалы жүргізілуін қамтамасыз етудің әдістемелік тәсілдері және кандидаттық құрбандық материалының ауыр авариияны модельдеу жағдайларында жоғары температуралық өзара іс-қимыл нәтижесінде модельдік кориумның құрылымдық-фазалық жай-күйіне әсері болып табылады.

Зерттеу әдістері

Қойылған мақсатқа жету және міндеттерді шешу үшін осы диссертациялық жұмыста әртүрлі зерттеу әдістері, оның ішінде физикалық және компьютерлік модельдеу, сондай-ақ материалдың құрылымы мен элементтік және фазалық құрамын зерттеу әдістері пайдаланылды.

Таңдалған әдістерді пайдалану ANSYS бағдарламалық қамтамасыз етуін, «Лава-Б» эксперименттік стендін және материалтану зерттеулерін жүргізуге арналған жабдықты қолдануға негізделген.

Компьютерлік модельдеу құрбанlдық материалдың кориуммен өзара іс-қимылын зерттеу және ондағы қалдық энергия бөлуді имитациялау тәсілін таңдау, сондай-ақ эксперименттік секцияның (балқыманың тұзағы) жылу физикалық модельдерін әзірлеу бойынша бірқатар сандық эксперименттерді білдіреді.

Белсенді аймақты балқытумен ауыр авариияны модельдеу жағдайында кориумның алюминий оксидінен (Al_2O_3) құрбандық материалмен қорғасын қабатымен өзара әрекеттесуін эксперименттік модельдеу «Лава-Б» эксперименттік стендінде жүргізілді.

Құрбандық материалдың кориуммен өзара іс-қимылын эксперименттік модельдеу нәтижесінде алынған материалдарды зерттеудің қазіргі заманғы

материалтану әдістерін пайдалану зерттелетін өзара іс-қимылға кешенді талдау жүргізуге мүмкіндік берді.

Жұмыстың **практикалық маңыздылығы:**

- «Лава-Б» қондырғысының эксперименттік секциясының әзірленген жылу физикалық модельдері белсенді аймақты балқытумен ауыр авариияны эксперименттік модельдеу бойынша болашақ эксперименттерді талдау үшін пайдаланылуы мүмкін;
- кориумдағы қалдық энергия бөлуді имитациялау үшін индукциялық қыздырғышты калибрлеудің әзірленген әдістемесі оны пайдалану тиімділігін арттыру үшін индукциялық қыздырғышты пайдаланатын кез келген технологиялық қондырғыларда қолданылуы мүмкін;
- белсенді аймақты балқытумен ауыр авариияны модельдеу жағдайында кориумның алюминий оксидінен (Al_2O_3) құрбандық материалдармен қорғасын қабатпен өзара іс-қимылын материалтану зерттеулерінің алынған нәтижелері АЭС қауіпсіздігінің пассивті жүйелерінің сенімділігін арттыру мақсатында балқыту тұзақтарын жетілдіру және жаңа құрбан болған материалдарды әзірлеу үшін пайдаланылуы мүмкін.

Автордың диссертациялық зерттеу міндеттерін қоюға және тұжырымдауға, әдеби деректерге талдамалық шолу жүргізуге, есептік, эксперименттік, материалтану зерттеулерін жүргізуге және алынған нәтижелерді талдауға қосқан **жеке үлесі** елеулі болып табылады.

Автор зерттеулерді сапалы жүргізуді қамтамасыз етудің әдістемелік тәсілдерін қалыптастыруға, «Лава-Б» қондырғысында эксперимент жүргізуге және одан кейінгі материалтану зерттеулеріне тікелей қатысты.

Барлық жұмыстар ҚР ҰЯО РМК «Атом энергиясы институты» филиалының жетекші ғалымдарымен және мамандарымен тығыз ынтымақтастықта жүргізілді. Диссертациялық зерттеу барысында алынған нәтижелерді талдау, сондай-ақ зерттеу нәтижелерін қорытындылайтын және жүргізілген есептік, эксперименттік және эксперименттен кейінгі жұмыстардың негізгі қорытындыларын тұжырымдау ғылыми консультанттармен бірлесіп жүзеге асырылды.

Тақырыптың ғылыми-зерттеу бағдарламаларының жоспарларымен байланысы

Осы диссертациялық жұмыста ұсынылған нәтижелер Қазақстан Республикасы Энергетика министрлігінің 2021-2023 жылдарға арналған «Қазақстан Республикасында атом энергетикасын дамыту» ғылыми-техникалық бағдарламасын (BR09158470) орындау шеңберінде алынды.

Нәтижелердің негізділігі мен дұрыстығының дәрежесі жүргізілген талдамалық және есептік-эксперименттік зерттеулердің дұрыстығы мен жүйелілігімен қамтамасыз етіледі. Негізгі нәтижелер тікелей, жақсы сыналған эксперименттік зерттеу әдістерінің көмегімен алынды.

Диссертациялық зерттеудің негізгі нәтижелері

Scopus және Web of Science дерекқорларына енгізілген рецензияланатын шетелдік ғылыми журналдарда ғылыми қызмет нәтижелерін жариялау үшін ҚР ҒЖБМ КОКСНВО ұсынған басылымдарда, Scopus және Web of Science

дерекқорларына енгізілген рецензияланатын шетелдік ғылыми журналдарда, сондай-ақ халықаралық және отандық ғылыми конференциялар еңбектерінің жинақтарында жарияланды.

Диссертациялық жұмыс нәтижелерін байқаудан өткізу

Диссертациялық жұмыстың негізгі нәтижелері 18 баспа жұмысында, оның ішінде Scopus және/немесе Web of Science базасында индекстелетін журналдарда - 6, басқа да ғылыми журналдарда - 1, пайдалы модельге патент - 1, сондай-ақ халықаралық конференциялар еңбектерінің жинақтарында - 10 жарияланған.

Диссертациялық жұмыстың негізгі нәтижелері Халықаралық ғылыми конференцияларда, «Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті» КЕАҚ «Техникалық физика және жылу энергетикасы» кафедрасының ғылыми семинарларында, ҚР ҰЯО РМК БАӘ филиалының ғылыми-техникалық кеңесінің отырыстарында, сондай-ақ аймақтық ЖОО-ның PhD-докторанттарының онлайн-семинарларында баяндалды.

Диссертацияның құрылымы мен көлемі

Жұмыс кіріспеден, бес тараудан, қорытындыдан, пайдаланылған көздердің тізімінен және үш қосымшадан тұрады. Диссертация 118 беттен тұрады, 66 суреттен, 12 кестеден және 125 атаудан тұратын пайдаланылған дереккөздердің тізімінен тұрады.