

Галина Анатольевна Витюктін

6D072300 – «Техническая физика» мамандығы бойынша философия докторы (PhD) дәрежесін алуға арналған диссертациясының

АННОТАЦИЯСЫ

Импульстік графит реакторында сәулену эксперименттерінде твэлдың параметрлерін зерттеу

Диссертациялық жұмыста ядролық реактордың белсенді аймағының балкуымен өтетін ауыр апатына ілесетін процестерді зерттеу үшін реакторлық сәулелендіру құрылғыларын сынау параметрлерін болжау және іске асыру сапасын арттыруды қамтамасыз ететін ИГР зерттеу импульсті графитті реакторында эксперименттерді дайындау мен жүргізудің жаңа әдістемелік тәсілдерін әзірлеу нәтижелері ұсынылған.

Зерттеу тақырыбының өзектілігі

Бүгінгі таңда әлемде өтпелі және апаттық жұмыс режимдеріндегі реакторлық отынның жаңа түрлерінің әрекеттерін эксперименттік зерттеуге жоғары сұраныс байқалады. Неғұрлым өкілетті эксперименттік деректерді зерттеу реакторларындағы динамикалық сынақтар жағдайында алуға болады. Әлемде динамикалық сынақтар жүргізілуі мүмкін бірнеше зерттеу реакторлары бар, алайда олардың барлығы тек бірнеше жылу бөлетін элементтерден (твэлдерден) тұратын жинақтарды зерттеу мүмкіндігін қамтамасыз етеді.

ИГР реакторының нейтрондық-физикалық сипаттамалары құрамында 8 кг-ға дейін уран диоксиді бар бірнеше ондаған твэлдерден тұратын реакторлардың әртүрлі типтерінің жылу бөлетін жинақтары (ЖБЖ) жұмысының өтпелі және авариялық режимдеріндегі әрекеттерін зерттеу мүмкіндігін қамтамасыз етеді. Динамикалық сынақтарға қолданылатын эксперименттер жағдайларына әзірленген және бейімделген әдістемелер сыналатын отынның параметрлерін сапалы анықтауды қамтамасыз етуге мүмкіндік береді.

Қазіргі уақытта іске асырылып жатқан эксперименттік бағдарламалардың негізгі міндеті белсенді аймақ балқымасының пайда болу жағдайларын модельдеу және бақыланатын орын ауыстыруын қамтамасыз ету, сондай-ақ жаңа буындағы энергетикалық ядролық реакторлардың қауіпсіздігін арттыру жөнінде ұсынымдар әзірлеу мақсатында ілеспе процестерді зерделеу болып табылады. Сонымен қатар, ИГР реакторындағы эксперименттердің күрделілігі үздіксіз артып келеді. Отынның жаңа түрлерін жасаушылар жағынан белсенді аймақтың балкуымен ауыр апаттың даму кезеңдерінде орын алған процестерді егжей-тегжейлі анықтауға, оларды есептік болжауға және эксперименттің барлық кезеңдерінде берілген параметрлерді мүмкіндігінше дәл іске асыру үшін жағдайларды қамтамасыз етуге қосымша талаптар қояды, бұл динамикалық сынақтар үшін өте қиын міндет.

Атап айтқанда, энергетикалық реакторда нақты пайдалану жағдайларын сипаттайтын ЖБЖ-да берілген энергия бөлуді қамтамасыз ету тәсілдерін жетілдіру; эксперименттің қауіпсіздігін қамтамасыз ету үшін сәулелендіру құрылғысының қуыстарындағы қысымның ұлғаюына әкелетін факторларды толық есепке алу; эксперименттегі оқиғалардың берілген реттілігін қамтамасыз ететін сынақ объектісіндегі қуат диаграммасын айқындау және белгілеу міндеті тұр.

ЖБЖ моделді ИГР реакторында эксперименттер жүргізуге қойылатын ерекше талап энергетикалық реакторда нақты пайдалану жағдайында энергия бөлінуіне барынша сәйкес келетін жинақтың көлемді энергия бөлінуін қалпына келтіру болып табылады. Бұл төтенше жағдай туындаған кезде ЖБЖ ішінде болатын процестерді егжей-тегжейлі модельдеуге мүмкіндік береді. Осыған байланысты, ЖБЖ-да берілген энергия бөлінуінің біркелкі еместігін қамтамасыз ету бөлігінде сынақ объектісінде нейтрондық өрістің берілген сипаттамаларын қалыптастыру тәсілдерін әзірлеу және негіздеу ИГР-дегі сынақтарды әдістемелік қамтамасыз етудің маңызды міндеті болып табылады.

Сонымен қатар, сәулелендіру құрылғыларын жобалау кезінде олардың сандық мәндерін дәл анықтау күрделілігіне байланысты ішкі жүктемелердің әсеріне күш құрылымдарының бірнеше мәрте беріктік қоры қамтамасыз етіледі. Мұндай беріктік қоры сәулелендіру құрылғыларының күштік кедергілерінің айтарлықтай ұлғаюына байланысты қалыптасады. Бұл оларға твэлдер мен ЖБЖ орналастыру үшін пайдалы кеңістіктің азаюына, отынға жететін нейтрондар ағынының азаюына және осы шектеулерден туындаған сынақ жағдайларын қамтамасыз ету мүмкіндігінің төмендеуіне әкеледі. Атап айтқанда, бұрын ИГР-да эксперименттерді дайындау кезінде балқытылған ядролық отыннан сәулелендіру құрылғысының қуысына қоспа газдардың бөлінуі әсерінен қысымның өсуі ескерілмеді. Қоспалы газдардың болуы отын таблеткаларын дайындау технологиясына байланысты. Отынды балқыту режимдерінде ЖБЖ сыналанып таблеткалардан бөлінетін газ көлемін айқындау маңызды міндет болып табылады, оны шешу эксперименттік құрылғыларды әзірлеудің сапалы жаңа деңгейіне шығуға мүмкіндік береді.

Сондай-ақ, энергетикалық реакторлардың модельдік твэлдері және ЖБЖ бар ИГР реакторында зерттеулер жүргізуге дайындық кезінде сынақ объектісінде іске асыруға жоспарланған қуат диаграммасын анықтау маңызды кезең болып табылады. Диаграмма эксперименттің мақсаттары мен міндеттеріне сәйкес келуі керек, оқиғалардың берілген тізбегін қамтамасыз етуі керек. Ол нейтрондық-физикалық, жылу гидравликалық есептеулер кешенін жүргізу негізінде және сынақ объектісі мен реактордың энергетикалық параметрлері арасындағы байланысты орнатуға бағытталған тиісті эксперименттік зерттеулер нәтижелерінде қалыптасады. Бұрын ИГР реакторындағы сынақтардың есептік негіздемесі процесінде модельдік ЖБЖ бар құрылғыдағы жылу-масса алмасу процестері эксперименттің берілген бағдарламасын қамтамасыз ету және құрылғының өзінің тұтастығына әсер етуі мүмкін параметрлердің асып кетуіне жол бермеу тұрғысынан қаралды және сұйықтықтар мен газдардың қозғалыс динамикасын ескермеді. Белсенді аймақтың балқуымен ауыр аварияның барлық сатыларына ілесетін процестерді неғұрлым егжей-тегжейлі зерттеуге арналған сәулелендіру құрылғыларын сынау рәсіміне қойылатын талаптардың артуы есептеу модельдерін және қамтамасыз ететін математикалық аппаратты құрудың жаңа тәсілдерін әзірлеуді қажет етті.

Жоғарыда аталған барлық фактілер ИГР зерттеу реакторында эксперименттерді дайындау және жүргізу сапасын одан әрі арттыруды қамтамасыз ететін жаңа әдістемелік тәсілдерді әзірлеу қажеттілігін айқындайды.

Зерттеудің мақсаты белсенді аймақты ерітумен ядролық реактордың ауыр апатына ілесетін процестерді зерттеу үшін реакторлық сәулелендіру құрылғыларын

сынаудың берілген параметрлерін болжау және іске асыру сапасын арттыруды қамтамасыз ететін жаңа әдістемелік тәсілдерді әзірлеу болып табылады.

Мақсатқа жету үшін келесі **міндеттер** шешілді:

1. Модельдік твэлдер мен ЖБЖ-та энергия бөлудің берілген аксиалдық және радиалдық таралуын қамтамасыз ету тәсілдерін әзірлеу;

2. Есептеу-эксперименттік зерттеулердің нәтижелерімен сәулелендіру эксперименттік құрылғысының твэлде және ЖБЖ-на энергия бөлудің берілген көлемдік бейінін қамтамасыз ету мүмкіндігін растау;

3. Керамикалық ядролық отындағы қоспалық газдардың құрамын және олардың реакторлық эксперименттердің параметрлеріне әсер ету дәрежесін анықтау әдістемесін әзірлеу;

4. Әзірленген керамикалық ядролық отындағы қоспалық газдардың құрамын анықтау әдістемесін реакторлық эксперименттер сериясында сынақтан өткізу және сәулелендіру құрылғысының отынындағы қоспалық газдардың құрамын анықтау;

5. Сәулелендіру құрылғысындағы жылу-физикалық процестерді егжей-тегжейлі модельдеуге негізделген эксперименттегі оқиғалардың берілген реттілігін қамтамасыз ететін сынақ объектісіндегі қуат диаграммасын анықтау әдістемесін әзірлеу;

6. Әзірленген сәулелендіру құрылғысындағы қуат диаграммасын анықтау әдістемесін қолдана отырып, твэлді реакторлық сынауда берілген параметрлерді жоғары дәлдікпен іске асыру.

Зерттеу әдістері: ИГР зерттеу реакторындағы тәжірибелер, жылуфизикалық және нейтрондық-физикалық үдерістерді есептік модельдеу, твэлдердің реактордан кейінгі материалтану зерттеулері.

Қорғауға шығарылатын негізгі қағидалар

1. ИГР-дағы сынақтар кезінде ЖБЖ-тағы энергия бөлінуі радиалдық ($K_r=1,05\pm 0,02$) және аксиалдық ($K_z=1,08\pm 0,02$) бағытта берілген әркелкілікті қамтамасыз ете отырып, шапшаң нейтрондардағы ядролық энергетикалық реакторда жұмыс істеу кезіндегі пайдалану мәніне сәйкес келеді.

2. Керамикалық ядролық отындағы қоспалық газдардың құрамын анықтаудың әзірленген және сынақтан өткізілген әдістемесі белсенді аймақты балқытумен ядролық реактордың ауыр апатын эксперименттік модельдеу кезінде олардың жиынтық газ түзілуіне қосқан үлесін анықтауға мүмкіндік береді.

3. Әзірленген сәулелендіру құрылғысында $E=1,56$ кДж/гUO₂ болатын интегралды энергияның шығу қуат өзгерісінің есептік-эксперименттік диаграммасы жылдам нейтрондардағы энергетикалық реактордың твэлінде ауыр апаттың дамуына сәйкес келетін оқиғалардың берілген реттілігін іске асыруды қамтамасыз етеді.

Жұмыстың ғылыми жаңалығы - алғаш рет:

- зерттеу ядролық реакторындағы сынақтар кезінде твэл мен ЖБЖ-та энергия бөлінісінің берілген көлемдік бөлінуін қамтамасыз ету тәсілдері тұжырымдалған, негізделген және эксперименттік пысықталған. Жылдам нейтронды энергетикалық реактордың жұмысы кезіндегі нақты көлемге сәйкес келетін ЖБЖ-та ($K_r=1,05\pm 0,02$; $K_z=1,08\pm 0,02$) берілген көлемдік энергия бөлуді қамтамасыз ету мүмкіндігі есептік-эксперименттік жолмен расталды;

- балқыту кезінде отыннан бөлінетін қоспа газдарының мөлшерін анықтау әдісі әзірленді және реакторлық эксперименттер сериясында сыналады. Ядролық зерттеу реакторы жағдайында өткізілген сәулелендірілмеген керамикалық ядролық отынды балқыту кезінде қоспалық газдар мөлшерінің нақты мәндері белгіленді;

- реакторлық эксперимент жағдайында сәулелендіру құрылғысындағы жылу-физикалық процестерді егжей-тегжейлі есептік модельдеуге негізделген сынақ объектісіндегі қуаттың берілген диаграммасын есептеу әдістемесі әзірленді және сыналды. Тұрақты қуаты $N=14$ кВт болған кезде $E=1,56$ кДж/г UO_2 интегралдық энергия бөлінуі реакторлық сәулелендіру құрылғысы жағдайында жылдам нейтрондардағы ядролық реактордың белсенді аймағын балқытумен ауыр апаттың дамуына алып келетін процестердің реттілігі мен салдарын дұрыс жаңғыртуды қамтамасыз ететіні анықталды.

Практикалық маңыздылығы.

Твэлдерді реакторлық сынаудың берілген параметрлерін болжау және қамтамасыз етудің ұсынылған әдістемелік тәсілдері: реакторлық эксперименттерді дайындау рәсімін жетілдіруге, ИГР отынды дайындау және сынауды жүргізудің әдістемелік базасын кеңейтуге, отынды сынаудың берілген параметрлерін болжау және іске асыру сапасын арттыруға мүмкіндік береді. Осының барлығы атом энергетикасының қауіпсіз дамуын қолдау үшін эксперименттік бағдарламалар спектрін кеңейтуге мүмкіндік береді. Ұсынылған әдістемелер мен тәсілдер ИГР реакторлық эксперименттерді жүргізу кезінде қазірдің өзінде табысты қолданылады және басқа зерттеу реакторларында реакторлық отынды сынаумен байланысты эксперименттік бағдарламаларды дайындау және іске асыру кезінде пайдаланылуы мүмкін.

Диссертациялық жұмыстың нәтижелерін ҚР ҰЯО ИГР эксперименттер дайындау рәсіміне, «Д.Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университетінің» Базалық инженерлік дайындық факультетінің оқу үдерісінде енгізу туралы актілер, сондай-ақ «Зерттеу реакторының эксперименттік арнасында твэлдерді сынауға арналған құрылғы» өнертабысына патент алынды.

Автордың жеке үлесі

Автордың жеке үлесі зерттеу міндеттерін қою мен тұжырымдаудан, әдеби деректер мен есептік зерттеулерге талдамалық шолу жүргізуден, сыналатын твэлдер мен ЖБЖ-та энергия бөлудің берілген көлемдік бөлінуін қамтамасыз ету тәсілдерін қалыптастырудан, керамикалық ядролық отындағы қоспалық газдардың құрамын айқындау әдістемесін әзірлеуден, эксперименттік құрылғылар конструкцияларының және оларды сынау режимдерінің есептік негіздемесін орындаудан, есептеулер жүргізуден, реакторлық эксперименттер жүргізу кезінде пайдаланылатын техникалық, бағдарламалық-әдістемелік және есептік құжаттаманы әзірлеуден тұрады.

Барлық жұмыстар «Қазақстан Республикасының Ұлттық ядролық орталығы» Республикалық мемлекеттік кәсіпорнының (ҚР ҰЯО РМК) жетекші ғалымдарымен және мамандарымен тығыз ынтымақтастықта жүргізілді. Диссертациялық зерттеу жүргізу барысында алынған нәтижелерді талдау, сондай-ақ зерттеу нәтижелерін және жүргізілген есептік және эксперименттік жұмыстарды жинақтайтын диссертациялық жұмыс бойынша негізгі қорытындыларды тұжырымдау ғылыми консультанттармен бірлесіп орындалды.

Тақырыптың ғылыми-зерттеу бағдарламаларының жоспарларымен байланысы

Осы диссертациялық жұмыста ұсынылған нәтижелер «Шапшаң нейтрондардағы реактордың белсенді аймағында ауыр апат кезінде болып жатқан процестерді зерттеу» тақырыбы бойынша 2018-2020 жылдары «Қазақстан Республикасында атом энергетикасын дамыту» бағдарламалық-нысаналы қаржыландыру шеңберінде іске асырылатын ғылыми-техникалық бағдарламаны (мемлекеттік тіркеу № 0118PK01131); 2021-2023 жылдарға арналған «Импульсті ядролық зерттеу реакторының нейтрондық өрісінің динамикасын модельдеуге арналған құралдарды әзірлеу» гранттық қаржыландыру жобасы (AP09058353) орындау шеңберінде алынды.

Жұмыста алынған нәтижелердің негізділігі мен дұрыстық дәрежесі ұсынылған әдістемелерді негіздеуге әдістемелік реакторлық эксперименттер кешенін қамтитын жүргізілген есептік-эксперименттік зерттеулердің дұрыстығы мен жүйелілігімен, зерттеудің жақсы сыналған жалпы ғылыми әдістерін қолданумен қамтамасыз етіледі. Диссертацияның негізгі нәтижелері ғылыми қызмет нәтижелерін жариялау үшін ҚР БҒМ Білім және ғылым саласындағы Сапаны қамтамасыз ету комитеті ұсынған басылымдарда, сондай-ақ Scopus және Web of Science дерекқорына кіретін рецензияланатын шетелдік ғылыми журналдарда жарияланған.

Жұмыс нәтижелерін апробациялау

Диссертациялық жұмыстың негізгі ережелері мен нәтижелері бес халықаралық конференцияда ұсынылған: «Семей сынақ полигоны: ғылыми-техникалық әлеуеттің мұрасы мен даму перспективалары, Курчатов, 11-13 қыркүйек. 2018 ж.»; XIV халық. ғылым. – практ. конф. «Атом энергетикасының болашағы-AtomFuture 2018 (Обнинск: 29-30 қараша 2018)»; «Радиоэлектроника, электротехника және энергетика» студенттер мен аспиранттардың XXV халық. ғылым.-техн. конф.; «Ғылымдағы, өнеркәсіптегі және медицинадағы физика-техникалық мәселелер. Кадрларды даярлаудың ресейлік және халықаралық тәжірибесі»; «Семей сынақ полигоны: ғылыми-техникалық әлеуеттің даму болашағы мен мұрасы, Курчатов 07-09 қыркүйек 2021 ж.» VIII халық. конф.

Диссертациялық жұмыстың негізгі нәтижелері Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университетінің техникалық физика кафедрасының ғылыми семинарларында, ҚР ҰЯО РМК Ғылыми-техникалық кеңесінің отырыстарында, сондай-ақ Томск ұлттық зерттеу политехникалық университетіндегі (Томск қ., Ресей) PhD-студенттердің онлайн-семинарларында баяндалып, талқыланды.

Мақалалар

Диссертацияда баяндалған зерттеулердің нәтижелері бойынша 9 баспа жұмысы жарияланды, оның ішінде ҚР БҒМ Білім және ғылым саласындағы бақылау комитеті ұсынған рецензияланатын ғылыми басылымдарда – 6, Scopus – 2 базасында индекстелетін журналдарда (1 Web of Science индекстеледі), өнертабысқа 1 патент алынды.

Диссертацияның құрылымы мен көлемі

Жұмыс кіріспеден, үш бөлімнен, қорытындыдан және пайдаланылған әдебиеттер тізімінен тұрады. 144 бетте мазмұндалды, 82 суреттен, 9 кестеден және 130 атаудан және пайдаланылған дереккөздердің тізімінен тұрады.