

АҢДАТПАСЫ

«6D060500 – Ядролық физика» мамандығы бойынша философия докторы
(PhD) ғылыми дәрежесін алу үшін

САЙРАНБАЕВ ДАРХАН СЕРГАЗИЕВИЧ

Бүйір бериллий шағылдырышпен ВВР-К зерттеу реакторының белсенді аймағының нейтрон-физикалық сипаттамаларын зерттеу

Диссертациялық жұмыс ВВР-К зерттеу реакторының бүйір бериллий шағылдырышымен нейтрон-физикалық сипаттамаларын теориялық және эксперименттік зерттеуге арналған. Нейтрондардың су шағылдырышын бериллийге біртіндеп ауыстыру кезінде ВВР-К реакторының нейтрон-физикалық сипаттамаларының өзгеруі көрсетілген.

Тақырыптың өзектілігі. Қазіргі әлемде зерттеу реакторларының рөлі зор, олар ғылым мен техникада кеңінен қолданылады. Мысалы, ядролық және термоядролық реакторларға арналған конструкциялық материалдар мен отынды сынау, Медициналық және өнеркәсіптік радиоизотоптар өндіру, кремнийді нейтрондық-трансмутациялық қоспалау, жартылай бағалы тастарды радиациялық бояу, нейтрондық-активациялық талдау, ядролық медицина, кадрларды оқыту және даярлау. Алайда, зерттеу реакторы әлеуетті ядролық және радиациялық қауіптілігі бар ядролық қондырғы болып табылады, сондықтан ғылыми қоғамдастық алдында кеңінен қолдану бойынша ғана емес, бірінші кезекте оның қауіпсіз пайдаланылуын қамтамасыз ету бойынша маңызды міндет тұр.

АЭХА-нің "зерттеу реакторларының қауіпсіздігі жөніндегі мінез-құлық кодексiнiң" нақты талаптарына сәйкес зерттеу реакторын пайдаланатын ұйым оның өмiрлiк циклiнiң барлық сатыларында қауiпсiздiгiн қамтамасыз етуге тиiс. Нейтрондардың су шағылыстырғышын бериллийге біртіндеп ауыстыру белсенді аймақты модернизациялау кезеңіне жатады. Мұндай жаңғырту белсенді аймақтың бүйір бетінен нейтрондардың ағуын азайтуға және оның сыни сипаттамаларын жақсартуға әкеледі, бұл реактордың нейтрондық-физикалық сипаттамаларына әсер етеді. Сонымен қатар, бериллийді реактордың белсенді аймағына жүктеу ядролық қауіпті операция болып табылады, бұл оның қауіпсіздігін қамтамасыз ету үшін реактордың нейтрондық-физикалық сипаттамаларының өзгеруін болжауды қажет етеді. Есептеу әдістері мен бағдарламаларының қазіргі заманғы дамуы жеткілікті түрде егжей-тегжейлі және дәл есептеулер жүргізуге мүмкіндік береді, бұл оларды зерттеудің негізгі ғылыми әдістерінің біріне айналдырады. Әсіресе Монте-Карло әдісіне негізделген модельдеудің сандық әдістерін атап өтуге болады, бұл дәл есептеулер жүргізуге мүмкіндік береді.

Нейтрондардың су шағылыстырғышын біртіндеп бериллийге ауыстыру кезінде төмен байытылған отыны бар ВВР-К реакторының активті аймағының нейтрондық-физикалық сипаттамаларының өзгеруі туралы жаңа есептік және

эксперименттік деректер алу осы жұмыстың өзектілігі болып табылады, олар реакторды қауіпсіз пайдалануды талдау және негіздеу үшін қажет.

Жұмыстың мақсаты ВВР-К зерттеу реакторының белсенді аймағының нейтрон-физикалық сипаттамаларына бүйірлік бериллий шағылдырышын біртіндеп аяқталуының әсерін анықтау болып табылады.

Зерттеу міндеттері. Осы мақсатқа жету үшін келесі міндеттер қойылды:

– ВВР-К реакторының есептік моделін әзірлеу және ВВР-К реакторының негізгі нейтрондық-физикалық сипаттамаларын анықтау;

– белсенді аймақтың кинетикалық параметрлері, басқару және қорғау жүйесінің жұмыс органдарының тиімділігі, реактивтілік, реактивтіліктің температуралық коэффициенттері және нейтрондардың су шағылдырышын бериллийге біртіндеп ауыстыру кезінде нейтрондар ағынының тығыздығы сияқты ВВР-К реакторының негізгі сипаттамаларының өзгеру динамикасын зерттеу;

– отындағы уранның жануының әсерін және бериллий шағылдырышындағы ядролық улағыштардың жиналуын ВВР-К реакторының сәулелендіру арналарындағы нейтрондар ағынының тығыздығына зерттеу.

– ВВР-К реакторының негізгі нейтрон-физикалық сипаттамаларына эксперименттік зерттеулер жүргізу және алынған нәтижелерді есептік деректермен салыстыру.

Зерттеу нысаны төмен байытылған отыны және бүйір бериллий шағылдырышы бар ВВР-К зерттеу реакторының белсенді аймағы болып табылады.

Зерттеу пәні төмен байытылған отыны және бүйір бериллий шағылдырышы бар ВВР-К реакторының активті аймағының нейтрон-физикалық сипаттамалары болып табылады.

Зерттеу әдістері. Нейтрон-физикалық сипаттамалар мынадай әдістердің көмегімен зерттелді: ВВР-К зерттеу реакторын математикалық модельдеу және оның нейтрондық – физикалық сипаттамаларын анықтау үшін-Монте-Карлоның сандық әдісі; ВВР – К реакторының сәулелендіру арналарындағы нейтрондар ағынының тығыздығын эксперименттік өлшеу үшін-активтендіру фольгаларының әдісі; нүктелік модельді пайдалана отырып реактордың реактивтілігін есептеу. Критикалық стендте ВВР-К реакторының активті аймағын эксперименттік модельдеу.

Диссертациялық зерттеудің жаңалығы:

1. 1. Нейтрондардың бериллий шағылыстырғышының төмен байытылған отыны бар ВВР-К реакторының активті аймағының нейтрондық-физикалық сипаттамаларына әсерінің есептік-эксперименттік тәуелділігі алынды.

2. Бериллий шағылыстырғышында ядролық улағыштардың жинақталуы және олардың ВВР-К реакторының белсенді аймағының нейтрондық-физикалық сипаттамаларына әсері туралы есептік деректер алынды.

3. Белсенді аймақ элементтерінің гетерогенді сипаттамасымен және нейтрондардың бүйір бериллий шағылыстырғышымен ВВР-К реакторының

есептік моделі әзірленді, оның дұрыстығы ВВР-К реакторында бенчмарк-эксперименттердің және нақты эксперименттік жұмыстардың нәтижелерімен расталды.

Нәтижелердің теориялық және практикалық маңыздылығы.

Зерттеудің теориялық маңыздылығы жеңіл су реакторының нейтрондық-физикалық сипаттамаларының өзгеруінің су нейтронды шағылдырышты бериллий реакторына біртіндеп ауыстыру арқылы тәуелділігін анықтауда.

Зерттеудің практикалық маңыздылығы келесідей:

1. ЖБЖ-да отынның жануы және белсенді аймақтың реактивтілік қоры бойынша есептік деректер реактивтіліктің қажетті жұмыс қорын құру мақсатында ЖБЖ-ны артық жүктеудің оңтайлы алгоритмін таңдау үшін пайдаланылды.

2. ВВР-К реакторының сәулелендіру арналарында нейтрондардың энергетикалық таралуы әрбір белсенді аймақтың конфигурациясы үшін ВВР-К реакторында ғылыми және қолданбалы жұмыстарды жоспарлау үшін пайдаланылды.

3. Активті аймақтың алынған нейтрондық-физикалық сипаттамалары оның қауіпсіздігін талдау кезінде ВВР-К реакторының пайдалану шектері мен жағдайларын негіздеу үшін пайдаланылды.

4. Нәтижелер ВВР-К реакторын пайдалану қауіпсіздігін негіздеу үшін қолданылды, 27.01.2022 ж. № 34-02/11 диссертация нәтижелерін енгізу туралы Акт.

Қорғауға шығарылатын негізгі ережелер:

1. ВВР-К реакторындағы нейтрондардың толық бүйірлік бериллий шағылыстырғышы критикалық сипаттамаларды жақсартады және белсенді аймақтың бүйір бетінен нейтрондардың ағуын азайтады, атап айтқанда уран-235 критикалық массасы 6258 г-дан 4335 г-ға дейін азаяды және перифериялық сәулелендіру арналарында жылу нейтрондары ағынының тығыздығы екі есе артады.

2. 952 тиімді тәулікте ВВР-К реакторының бериллий шағылыстырғышындағы гелий-3 және литий-6 ядроларының барынша жинақталған атомдық концентрациясы тиісінше $9,14 \cdot 10^{16}$ улы/см³ және $2,15 \cdot 10^{18}$ улы/см³ құрады, бұл реактивтілік қорының 0,4% $\Delta k/k$ төмендеуіне әкеледі.

3. Монте-Карло әдісімен нейтрондарды тасымалдау теңдеуін шешу негізінде алынған нейтрондардың толық бүйірлік бериллий шағылыстырғышы бар ВВР-К реакторының нейтрондық-физикалық сипаттамаларының ең жоғары орташа квадраттық ауытқуы эксперименттік деректерден 11% - ды құрайды.

Автордың жеке үлесі. Автор MCNP6 кодының ортасында ВВР-К реакторының белсенді аймағының егжей-тегжейлі компьютерлік моделін әзірлеуге тікелей қатысты, ол кампаниядан кампанияға мыналарды анықтауға мүмкіндік береді: (а) ВВР-К зерттеу реакторының белсенді аймағының әрбір жылу бөлетін жинағы үшін отын құрамының нуклидті құрамын (уранның жануы, плутонийдің істелуі, бөліну өнімдерінің түзілуі), (ә) басқару және

қорғау жүйесінің жұмыс органдарының тиімділігін, (б) зерттеушілер үшін талап етілетін энергетикалық интервалдардағы нейтрондар ағынының тығыздығын, (в) әрбір жылу бөлетін Автор ВВР-К реакторындағы эксперименттік жұмыстарға тікелей қатысты және алынған деректерді өңдеумен айналысты. Ол алынған ақпаратты жинақтап, зерттеу нәтижелеріне жүйелі талдау жасады.

Тақырыптың ғылыми жұмыс жоспарымен байланысы, ізденуші алған нәтижелерді және Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігінің Білім және ғылым саласындағы сапаны қамтамасыз ету Комитеті ұсынған және SCOPUS және Web of Science халықаралық дерекқорларымен индекстелетін басылымдарда, сондай-ақ жақын және алыс шетелдердің халықаралық ғылыми конференцияларының еңбектерінде жарияланымдарды пайдалана отырып, ВВР-К зерттеу реакторын пайдаланудың ағымдағы практикасымен расталады. Диссертацияда алынған нәтижелердің сенімділігі зерттеулердің кеңінен танылған теориялық және эксперименттік әдістер мен әдістемелерді қолдана отырып, сондай-ақ метрологиялық аттестаттаудан өткен заманауи жабдықтарды қолдана отырып жүргізілуімен қамтамасыз етіледі. Диссертацияда қолданылатын ВВР-К реакторының математикалық моделі көптеген тәжірибелер мен ВВР-К реакторын пайдаланудағы көпжылдық апатсыз тәжірибе бойынша расталды, алынған нәтижелер жалпы қабылданған ұғымдар мен принциптерге қайшы келмейді.

Диссертациялық жұмыс апробациясы. Диссертациялық жұмыста алынған нәтижелер келесі конференцияларда баяндалып, талқыланды:

– "ФАРАБИ ӘЛЕМІ" студенттер мен жас ғалымдардың халықаралық конференциясы (9-12 ақпан 2018, Алматы, Қазақстан).

– "Безопасность, эффективность, ресурс" атом энергетикасы бойынша 14-ші Халықаралық ғылыми-практикалық конференциясы, (1-6 қазан 2018, Севастополь, Ресей).

– «Ядролық ғылым және технологиялар» атты II Халықаралық ғылыми форумы (24-27 маусым 2019, Алматы, Қазақстан).

– «Уран өнеркәсібінің өзекті мәселелері» IX Халықаралық ғылыми-тәжірибелік конференциясы (7-9 қараша 2019, Алматы, Қазақстан).

Жарияланымдар. Диссертациялық жұмыстың мәліметтері бойынша 10 ғылыми жұмыс (6 мақала, 4 тезис), оның ішінде Scopus және Web of Science индекстері бар журналдарда 3 мақала, ҚР БҒМ БҒСБК тізбесіндегі журналдарда 3 мақала жарияланды..

Тақырыптың ғылыми жұмыс жоспарымен байланысы.

Диссертациялық зерттеу "Қазақстан Республикасында атом энергетикасын дамыту" ғылыми-техникалық бағдарламасының шеңберінде 01.04 "ВВР-К реакторының белсенді аймағын байытылған отынға конверсиялау" (2015-2017) және ҚР БҒМ №BR05236400 "радиациялық материалтану саласындағы қолданбалы ғылыми-техникалық зерттеулер" ғылыми-техникалық бағдарламасының тақырыбы бойынша орындалды, "төмен байытылған отыны мен бериллий шағылдырышы бар ВВР-К зерттеу

реакторының ядролық қауіпсіздігін қамтамасыз етудің эксперименттік мүмкіндіктері мен шарттарын зерттеу" № 2.1 тақырыбы бойынша (2018-2020).

Диссертацияның көлемі мен құрылымы. Диссертация кіріспе, үш тарау, қорытынды, пайдаланылған әдебиеттер тізімі, қосымшадан тұрады. Диссертация көлемі: 113 бет, 44 сурет, 23 кесте, 2 қосымша. Пайдаланылған әдебиеттер тізіміне 87 атау кіреді.