

Research of existing nuclear reactors

S.Zh. Akhmoldaeva*

Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

*Corresponding author: saltanatak@gmail.com

Abstract. The energy crisis caused by the depletion of mineral resources and environmental pollution, the inability of various alternative energy sources to fill the energy deficit, is attracting the attention of scientists. In this regard, a nuclear power plant that produces energy through a nuclear reactor can completely solve the problem of energy shortages. Information and concepts of currently used nuclear reactors were reviewed in terms of their ability to solve energy shortage problems. Many of the world's nuclear reactors are used for research and teaching, testing materials, or producing radioisotopes for medicine and industry. These are neutron factories. They are much smaller than power reactors or ship engines, and most are located on campuses. Nuclear reactors are used to generate electricity in nuclear power plants and nuclear marine propulsion systems. Some reactors are used to extract isotopes for medical and industrial purposes or to produce weapons-grade plutonium. Some of them run on highly enriched uranium fuel, most of which has been replaced by low-enriched high-test fuel. Some radioisotope production uses highly enriched uranium as a neutron source. Many people, especially residents of Kazakhstan, have a negative attitude towards the nuclear reactor. Despite the negative opinion, I tried to suggest the most suitable type depending on the type of reactors. That is, this scientific article concluded which type of nuclear reactor is most effective to use during construction in Kazakhstan.

Keywords: nuclear reactor, reaction, nuclear power plant, energy.

1. Кіріспе

Ядролық реактор дегеніміз басқарылатын ауыр ядролардың бөлінуінің тізбекті реакцияларын ұйымдастыру мен реттеуді атқаратын құрылғы болып табылады. Реактор жұмысы нәтижесінде ядролық энергия босап, сыртқы тұтынушылар пайдаланатын жылу энергиясына айналады. Ядролық реактор атом электр станциясының (АЭС) - ең негізгі бөлігі болып табылады.

Атом электр станциясы ең әуелі жылу энергиясын механикалық энергияға, содан соң механикалық энергияны электр энергиясына айналдыратын кешен. Алғашқы коммерциялық атом электр станциялары 1950 жылдары жұмыс істей бастады. Зерттеу реакторларының негізгі мақсаты - зерттеу және басқа мақсаттар үшін нейтрондардың көзін қамтамасыз ету. Олардың шығымы (нейтрондық сәулелер) қолдануға байланысты әр түрлі сипаттамаларға ие болуы мүмкін. Олар негізінен таза энергия тұтынушылары. Олардың қуаты мегаватт (немесе киловатт) жылу (Мвт немесе МВт) арқылы белгіленеді, бірақ біз мұнда тек Вт (немесе кВт) қолданамыз. Шын мәнінде, әлемдегі 250 зерттеу реакторының жалпы қуаты 3000 МВт-тан сәл асады.

2021 жылдың маусымындағы жағдай бойынша халықаралық Атом энергиясы агенттігінің зерттеу реакторларының дерекқоры 223 белсенді зерттеу реакторының, 11-і салынып жатқанын, 16-сы жоспарланғанын, 27-сі уақытша немесе ұзақ мерзімге тоқтатылғанын, 58-і біржола тоқтатылғанын және 511-і пайдаланудан шығарылғанын немесе пайдаланудан шығару процесінде екенін көрсетті. Белсенді және

уақытша тоқтатылған зерттеу реакторларының көпшілігінің уақыты 40 жылдан асады. 2023 жылдың ақпанында жаңартылған ақпарат бойынша атом энергиясы қазір 440-қа жуық энергетикалық реактордан әлемдегі электр энергиясының 10%-ға жуығын қамтамасыз етеді.

Қазіргі таңда қазба байлықтардың азаюы, экологияның ластануы, энергетика тапшылығы және дағдарысы ғалымдар назарын аударарлықтай мәселеге кетіріп отыр. Осыған орай ядролық реактор арқылы энергия өндіретін АЭС энергетика тапшылығын түбегейлі шеше алады деп қарастырып отырмыз. Дәл осы әлемдегі мәселелер Қазақстанда болып жатыр, осыған орай қай реактор түрі елімізге қолдануға қолайлы болмақ.

2. Зерттеу әдістері мен материалдары

Ядролық реактор – ядролық тізбекті бөлу реакциясын немесе ядролық синтез реакцияларын бастау және басқару үшін қолданылатын құрылғы [1].

Реактордың өзегі жылуды бірнеше жолмен шығарады:

- Бөліну өнімдерінің кинетикалық энергиясы осы ядролар жақын орналасқан атомдармен соқтығысқанда жылу энергиясына айналады.

- Реактор бөліну кезінде пайда болған гамма – сәулелердің бір бөлігін жұтып, олардың энергиясын жылуға айналдырады.

- Жылу нейтрондарды сіңіру арқылы белсендірілген бөліну өнімдері мен материалдардың радиоактивті ыдырауы нәтижесінде пайда болады. Бұл ыдырайтын

жылу көзі реактор сөнгеннен кейін де біраз уақыт сақталады. Ядролық процестер арқылы түрлендірілетін бір килограмм уран-235 (U235) әдеттегідей жағылатын бір килограмм көмірден шамамен үш миллион есе көп энергия бөледі (уран-235 килограммына 7.2×10^{13} джоульге қарсы бір килограмм уран-235 үшін 2.4×10^7 джоуль) [1].

Қызмет ету мерзімі

Атом электр станциялары әдетте 30, 40 жыл аралығындағы орташа қызмет етеді. Кейбіреулер атом электр станциялары дұрыс техникалық қызмет көрсету және басқару арқылы 80 жылға дейін немесе одан да ұзақ жұмыс істей алады деп санайды. Дегенмен, нейтрондардың сынуы мен тозуы салдарынан жарықтар пайда болған кезде кейбір өмірлік маңызды бөлшектерді, әсіресе реактор ыдысын және бетон конструкцияларын ауыстыру мүмкін емес, осылайша зауыттың қызмет ету мерзімін шектейді. Жоспарланған қызмет ету мерзімінің соңында зауыттар операциялық лицензиясы шамамен 20 жылға, ал АҚШ-та тіпті «кейіннен лицензияны жаңартуды» қосымша 20 жылға ұзарту алады.

Лицензия ұзартылса да, оның сақталуына кепілдік бермейді. Көптеген реакторлар лицензиясының немесе жобалық мерзімінің аяқталуына көп уақыт қалғанда жабылып, пайдаланудан шығарылады. Үнемдеу жұмысын жалғастыру үшін қажет ауыстыру немесе жақсарту шығындары соншалықты жоғары болуы мүмкін, сондықтан олар үнемді емес.

Реакторлардың көбеюі 30 немесе 40 жылдық жобалық қызмет ету мерзіміне жетуде немесе ол уақыттан да асуда. 2014 жылы Greenpeace (1971 жылы Канадада құрылған халықаралық үкіметтік емес экологиялық ұйым) ескірген атом электр станцияларының қызмет ету мерзімін ұзарту тәуекелдің жаңа дәуіріне аяқ басатынын ескертті [1].

Өндіріс және тау-кен өндіру

2021 жылы дүниежүзілік уран өндірісі 48 332 тоннаны құрады, оның 21 819 тоннасы Қазақстанда өндірілді. Уран өндіретін басқа маңызды елдер: Намибия, Канада, Австралия, Өзбекстан және Ресей.

Уран кені бірнеше жолмен өндіріледі: ашық, жерасты, жерасты сілтісіздігі және ұңғымаларды өндіру. Өндірілетін төмен сұрыпты уран кенінде әдетте 0.01-0.25% уран оксидтері болады. Металды оның кенінен алу үшін ауқымды шараларды қолдану қажет. Канаданың Саскачеван қаласындағы Атабаска бассейнінің кен орындарында табылған жоғары сортты кендерде орташа есеппен 23%-ға дейін уран оксиді болуы мүмкін. Уран рудасы ұсақталып, майда ұнтаққа айналады, содан кейін қышқылмен немесе сілтімен шайылады. Ағынды су тұндырудың, еріткіштерді алудың және ион алмасудың бірнеше реттілігінің біріне ұшырайды. Сары торт деп аталатын алынған қоспаның құрамында кем дегенде 75% уран оксидтері U_3O_8 бар. Содан кейін сары торт тазарту және түрлендіру алдында ұнтақтау процесіндегі қоспаларды кетіру үшін күйдіріледі.

Коммерциялық дәрежедегі уран галоген уранды сілтілі немесе сілтілі жер металдарымен тотықсыздандыру арқылы алынуы мүмкін [2].

Уран

Уран альфа – бөлшек шығару арқылы радиоактивті ыдырайды. Бұл ыдыраудың жартылай ыдырау периоды

әртүрлі изотоптар үшін 159, 200-ден 4.5 миллиард жылға дейін өзгереді. Ең көп таралған изотоптар табиғи уран – уран-238 (оның құрамында 146 нейтрон бар және жердегі уранның 99%-дан астамы бар) және уран-235. Уран алғашқы кезде кездесетін элементтердің ең жоғары атомдық салмағына ие. Оның тығыздығы қорғасыннан шамамен 70% жоғары, ал алтын немесе вольфрамнан сәл төмен. Табиғи жағдайда топырақта, тау жыныстарында және суда миллионға бірнеше бөліктен тұратын төмен концентрацияларда 12 кездеседі және ураны бар минералдардан, мысалы ураниниттен коммерциялық түрде алынады.

Уранның көптеген заманауи қолдаулары оның бірегей ядролық қасиеттерін пайдаланады. Уран-235 жалғыз табиғи түрде бөлінетін изотоп болып табылады, бұл оны атом электр станциялары мен ядролық қаруларда кеңінен қолдануға мүмкіндік береді. Алайда, табиғатта аздаған концентрациялар болғандықтан, уран-235 жеткілікті болуы үшін уран байытудан өтуі керек. Уран-238 жылдам нейтрондармен бөлінетін және құнарлы, яғни ядролық реакторда бөлінетін плутоний – 239-ға ауысуы мүмкін.

Табиға торийден тағы бір бөлінетін изотопты уран-233 алуға болады және болашақта ядролық технологияда өнеркәсіпте пайдалану үшін зерттеледі. Уран-238 жылдам нейтрондармен өздігінен бөліну немесе тіпті индукциялық бөліну ықтималдығы аз, уран-235 және аз дәрежеде уран-233 баяу нейтрондар үшін бөліну қимасы әлдеқайда жоғары. Жеткілікті концентрацияда бұл изотоптар тұрақты ядролық тізбекті реакцияны сақтайды. Бұл атомдық энергетикалық реакторлардағы жылуды тудырады және ядролық қару үшін ыдырайтын материалды шығарады.

Азаматтық секторда уранның негізгі пайдалануы атом электр станцияларын отынмен қамтамасыз ету болып табылады. Бір килограмм уран-235 теориялық тұрғыдан шамамен 20 тераджоуль энергия өндіре алады. Уранның радиоактивтілігінің ашылуы элементтің қосымша ғылыми және практикалық қолданылуына жол ашты. Уран-238 изотопының ұзақ жартылай шығарылу кезеңі оны ең ерте магмалық жыныстардың жасын бағалауда және радиометриялық анықтаудың басқа түрлерін, соның ішінде уран-торий, уранқорғасынды анықтауды қолдану үшін өте қолайлы етеді. Уран металы жоғары энергиялы рентгендік нысаналар үшін қолданылады [3].

Адамға әсер ету

Адамға уран аудағы шаңды жұту немесе ластанған су мен тағамды жұту арқылы әсер етуі мүмкін. Ауадағы уран мөлшері әдетте өте аз, дегенмен фосфатты тыңайтқыштарды өңдейтін зауыттарда жұмыс істейтін, ядролық қару жасаған немесе сынаған мемлекеттік мекемелердің жанында тұратын, таусылған уран қарулы қолданылған заманауи ұрыс алаңының маңында тұратын немесе жұмыс істейтін адамдар немесе көмір жағуға жақын жерде тұрады немесе жұмыс істейді. Электр станциясы, уран кенін өндіретін не өңдейтін не реактор отыны үшін уранды байытатын қондырғылар уранның әсерін арттыруы мүмкін. Уран шөгінділерінің үстінде орналасқан үйлер немесе құрылыстар радон газының әсер ету жиілігін арттыруы мүмкін. Еңбекті қорғау және қауіпсіздік басқармасы 8 сағаттық жұмыс күнінде жұмыс орнында уранның әсер етуінің рұқсат етілген шегін 0.25

мг/м³ деп белгіледі. Ұлттық еңбек қауіпсіздігі және еңбекті қорғау институты 8 сағаттық жұмыс күні ішінде 0.2 мг/м³ және қысқа мерзімді шекті 0.6 мг/м³ мөлшерінде ұсынылатын әсер ету шегін белгіледі. 10 мг/м³ деңгейінде уран өмір мен денсаулық үшін бірден қауіпті.

Жұтылған уранның көп бөлігі ас қорту кезінде шығарылады. Уранның ерімейтін түрлері мысалы, оның оксиді жұтқанда тек 0.5% сінеді, ал еритін уранил ионының сіңірілуі 5% дейін болуы мүмкін. Дегенмен, еритін уран қосылыстары дене арқылы тез өтеді, ал ерімейтін уран қосылыстары, әсіресе шаң арқылы өкпеге дем алғанда, әсер ету қауіпін арттырады. Қанға түскеннен кейін сіңірілген уран биоаккумуляцияға бейім болады және уранның фосфаттарға жақындығына байланысты сүйек тінінде ұзақ жылдар бойы сақталады. Біріктірілген уран уранилге айналады.

Уранның радиологиялық және химиялық уыттылығы жоғары атомдық нөмірі Z элементтерінің табиғи гамма және рентген сәулелерін сіңіру және уранның жоғары жақындығымен үйлесетін фотоэлектрондарды қайта шығару арқылы фантомдық немесе қайталама радиоуыттылық танытуымен біріктіріледі. ДНҚ-ның фосфатты бөлігіне бір және қос тізбекті ДНҚ үзілістерінің көбеюіне әкеледі [4].

Жанармай

Зерттеу реакторының отыны қуатты реактор отынына қарағанда жоғары (әдетте шамамен 20%) байытылған. Бұл жоғары талдауы төмен байытылған уран (HALEU), яғни оның құрамында U-238 аз, демек, пайдаланылған отынның актинидтері аз және радиоактивті ыдыраудан болатын жылу аз. Бөліну өнімдерінің үлесі пайдаланылған қуатты реактор отынынан айтарлықтай ерекшеленбейді. Отын жинақтары әдетте таза алюминиймен қапталған уран-алюминий қорытпасының (U-Al) тақталары немесе цилиндрлері болып табылады. Олар қуатты реакторларда қолданылатын Циркалой қаптамасымен қапталған керамикалық UO₂ түйіршіктерінен ерекшеленеді. Зерттеу реакторына отын құю үшін тек бірнеше килограмм уран қажет, бірақ қуатты реактордағы жүз тоннамен салыстырғанда әлдеқайда байытылған. Зерттеу реакторлары әдетте төмен температурада (салқындатқыш сұйықтық 100°C төмен) жұмыс істейді, бірақ жұмыс жағдайлары басқа жолдармен ауыр. Күшті реактордың отыны шамамен 5 кВт/3 қуат тығыздығында жұмыс істейтін болса, зерттеу реакторының отыны отын етінде 17 кВт/кк. Болуы мүмкін. Сондай-ақ жану өте жоғары, сондықтан жанармай бөлінуден болатын құрылымдық зақымға төтеп беріп, бөліну өнімдерін көбірек орналастыруы керек [5].

Пайдалану

Нейтрон сәулелері атомдық деңгейдегі материалдардың құрылымы мен динамикасын зерттеуге ерекше сәйкес келеді. Нейтрондардың шашырауы үлгілерді вакуумдық қысымның ауытқуы, жоғары температура, төмен температура және магнит өрісі сияқты нақты жағдайларда зерттеу үшін қолданылады.

Нейтронды активтендіру талдауын қолдана отырып, элементтің ең аз мөлшерін өлшеуге болады. Үлгідегі атомдар реактордағы нейтрондардың әсерінен радиоактивті болады. Содан кейін әр элемент шығаратын сипаттамалық сәулеленуді анықтауға болады.

Нейтронды белсендіру - тұрақты материалды радиоактивті етудің жалғыз кең таралған әдісі. Ол белгілі бір элементтерді нейтрондармен бомбалау арқылы өнеркәсіпте және медицинада кеңінен қолданылатын Радиоизотоптарды өндіру үшін қолданылады, осылайша мақсатты ядроға нейтрон қосылады. Мысалы, бауыр қатерлі ісігін емдеуге арналған иттрий-90 микросфералары иттрий-89 нейтронды бомбалау арқылы жасалады.

Нейтрондардың активтенуі бөлінуге әкелуі мүмкін. Ядролық медицинада ең көп қолданылатын изотоп-Технеций-99м, молибденнің ыдырау өнімі-99. Зерттеу реакторларын өнеркәсіптік өңдеу үшін де пайдалануға болады. Нейтронды трансмутациялық допинг (NTD) кремнийдің қасиеттерін өзгертіп, оны электр тогын өте өткізгіш етеді. Құйма тәрізді кремнийдің үлкен монокристалдары реактор рефлекторының корпусының ішінде сәулеленеді. Мұнда нейтрондар әр миллиардтан бір кремний атомын фосфорға айналдырады. Сәулеленген кремний чиптерге кесіліп, әр түрлі жетілдірілген компьютерлік қосымшалар үшін қолданылады. NTD электр энергиясының кремний өткізгіштігінің тиімділігін арттырады, бұл электроника өнеркәсібі үшін маңызды сипаттама.

Материалдарды сынау реакторларында (MTR) материалдар өзгерістерді зерттеу үшін қарқынды нейтрондық сәулеленуден өтеді. Мысалы, кейбір болаттар сынғыш болады және ядролық реакторларда сынғышқа төзімді қорытпалар қолданылуы керек. Францияның Кадараш қаласында қуаты 100 МВт Жюль Хоровиц реакторының құрылысы жөніндегі халықаралық жоба IV буын Атом станциялары үшін өмірлік маңызы бар материалдарды зерттеуге мүмкіндік береді. Ол нейтрондардың өте жоғары ағынын шығаруға арналған - Француз MTR Osiris-тен шамамен екі есе көп. 2014 жылдың соңындағы жағдай бойынша жалпы құрылыс жұмыстары 80%-дан астам аяқталды және қазір сынақ ілмектері жабдықталуда. Ол 2021 жылы пайдалануға берілуі керек. Қазіргі уақытта бельгиялық BR2 Еуропадағы ең үлкен MTR болып табылады [6].

3. Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау

Бүгінгі әлемдегі ядролық энергетика 2021-2023 жылдардағы жаңартылған ақпарат бойынша

- Әлемдегі көптеген ядролық реакторлар зерттеу және оқыту, материалдарды сынау немесе медицина мен өнеркәсіп үшін радиоизотоптар жасау үшін қолданылады. Бұл нейтрондық зауыттар.

- Олар энергетикалық реакторларға немесе кеме қозғалтқыштарына қарағанда әлдеқайда аз және олардың көпшілігі кампустарда.

- Мұндай реакторлар 53 елде шамамен 220-сы жұмыс істейді.

- Олардың кейбіреулері жоғары байытылған уран отынымен жұмыс істейді және халықаралық күш-жігердің арқасында олардың көпшілігі төмен байытылған, жоғары сынамалы отынмен ауыстырылды. Кейбір радиоизотоптар өндірісі нейтрондардың нысаны ретінде жоғары байытылған уранды пайдаланады және төмен байытылған уранның пайдасына біртіндеп жойылады.

Зерттеу реакторлары энергетикалық реакторларға қарағанда қарапайым және төмен температурада жұмыс

істейді. Олар әлдеқайда аз отынды қажет етеді және отын пайдаланылған кезде бөліну өнімдері әлдеқайда аз болады. Екінші жағынан, олардың отыны жоғары байытылған уранды қажет етеді, әдетте 20% U-235 дейін, төмен байытылған жоғары сынамалы уран (HALEU) деп аталады, Дегенмен кейбір ескілері әлі де 93% U-235 пайдаланады. Сондай-ақ, олар ядрода өте жоғары меншікті қуатқа ие, бұл арнайы дизайн ерекшеліктерін қажет етеді. Энергетикалық реакторлар сияқты, ядро салқындатуды қажет етеді, әдетте пассивті және тек жоғары қуатты сынақ реакторлары мәжбүрлі салқындатуды қажет етеді. Әдетте нейтрондарды бәсеңдету және бөлінуді күшейту үшін модератор қажет. Нейтрондарды өндіру олардың негізгі функциясы болғандықтан, зерттеу реакторларының көпшілігі белсенді аймақтан нейтрондардың жоғалуын азайту үшін рефлекторды қажет етеді.

Әлемдегі барлық дерлік зерттеу реакторлары жылу (баяу) нейтрондарда жұмыс істейді; Ресей Димитровградтағы БОР-60-бұл жылдам нейтрондардағы жалғыз зерттеу реакторы деп мәлімдейді. Ол 1969 жылы іске қосылды және оны 2020 жылдың аяғынан кейін төрт есе сәулелену қуатымен ауыстыру керек. Әлемде жылдам реакторлар үшін, әсіресе IV буын реакторларын жасау үшін жылдам нейтронды материалдарды сынау үшін зерттеу қуаты жетіспейді. 2018 жылдың ақпанында АҚШ Өкілдер палатасы қабылдаған екі жақты заң жобасы «2026 жылға қарай Ұлттық пайдаланушы нысаны ретінде жұмыс істейтін реакторға негізделген жылдам нейтрондардың әмбебап көзін» салуға 2 миллиард доллар бөлді. Бұл қуаты кемінде 300 МВт болатын «реакторлардың, материалдардың және ядролық отынның перспективалық конструкцияларын әзірлеу» үшін зерттеу реакторы болады.

2021 жылдың маусымындағы жағдай бойынша халықаралық Атом энергиясы агенттігінің зерттеу реакторларының дерекқоры 223 белсенді зерттеу реакторының, 11-і салынып жатқанын, 16-сы жоспарланғанын, 27-сі уақытша немесе ұзақ мерзімге тоқтатылғанын, 58-і біржола тоқтатылғанын және 511-і пайдаланудан шығарылғанын немесе пайдаланудан шығару процесінде екенін көрсетті. Белсенді және уақытша тоқтатылған зерттеу реакторларының көпшілігінің уақыты 40 жылдан асады.

Зерттеу реакторлары энергетикалық реакторларға қарағанда әлдеқайда кең құрылымдарды пайдаланады, мұнда әлемдегі станциялардың 80%-ы тек екі ұқсас түрге жатады. Олар сондай-ақ тұрақты немесе импульсті болуы мүмкін энергияны өндіретін әртүрлі жұмыс режимдеріне ие.

Зерттеу реакторларының қолдану аясы кең, соның ішінде материалдарды талдау және сынау және радиоизотоптар өндірісі. Олардың мүмкіндіктері көптеген салаларда, ядролық өнеркәсіпте, сондай-ақ термоядролық зерттеулерде, экологияда, озық материалдарды әзірлеуде, дәрі-дәрмектерді әзірлеуде және ядролық медицинада қолданылады.

Қазіргі уақытта төрт жоғары ағынды зерттеу реакторы жұмыс істейді: Петтендегі (Нидерланды) 45 МВт жоғары ағынды реактор, оның қызмет ету мерзімі аяқталады, Ок-Ридж ұлттық зертханасында (АҚШ) жаңартылған 85 МВт жоғары ағынды изотоптық реактор, 20 МВт Heinz Maier-Leibnitz FRM II (Германия) және

Санкт-Петербургтегі (Ресей) қуаты 100 МВт жоғары ағынды реактор.

Зерттеу реакторларының көпшілігі (160-тан астам) негізінен зерттеуге арналған, бірақ кейбіреулері радиоизотоптар шығаруы мүмкін. Қымбат ғылыми қондырғылар болғандықтан, олар көп мақсатты болып келеді және олардың көпшілігі 30 жылдан астам жұмыс істейді.

2020 жылы белсенді зерттеу реакторларының ең көп саны Ресейде, одан кейін АҚШ-та. Көптеген зерттеу реакторлары 1960-1970 жылдары салынған. Операциялардың ең жоғары саны 1975 жылы 55 елде 373 болған [7].

Атом энергиясы қазір 440-қа жуық энергетикалық реактордан әлемдегі электр энергиясының 10%-ға жуығын қамтамасыз етеді.

Ядролық энергия төмен көміртекті энергияның әлемдегі екінші ірі көзі болып табылады (2019 жылғы жалпы көлемнің 28%).

50-ден астам ел ядролық энергияны 220-ға жуық зерттеу реакторларында пайдаланады. Зерттеулерден басқа бұл реакторлар медициналық және өнеркәсіптік изотоптарды алу үшін, сондай-ақ оқыту үшін қолданылады.

Ядролық технология белгілі бір элементтердің атомдарын бөлу арқылы бөлінетін энергияны пайдаланады. Ол алғаш рет 1940 жылдары әзірленді, ал Екінші дүниежүзілік соғыс кезінде зерттеулер бастапқыда бомба өндіруге бағытталған. 1950 жылдары ядролық ыдырауды бейбіт мақсатта пайдалануға, оны энергия өндіруге бақылауға назар аударылды.

Азаматтық ядролық энергетика қазір 18 000 реакторлық жыл тәжірибесімен мақтана алады және атом электр станциялары әлемнің 32 елінде жұмыс істейді. Шын мәнінде, аймақтық электр жеткізу желілері арқылы көптеген елдер ішінара ядролық энергияға тәуелді. Мысалы, Италия мен Дания электр қуатының 10%-ға жуығын импортталған атом энергиясынан алады.

Ядролық технологияны қолдану төмен көміртекті энергиямен қамтамасыз етуден де асып түседі. Ол аурудың таралуын бақылауға көмектеседі, дәрігерлерге науқастарды диагностикалауға және емдеуге көмектеседі және ғарышты зерттеудегі ең өршіл миссияларымызға қуат береді. Бұл әртүрлі қолданулар ядролық технологияларды тұрақты дамуға қол жеткізуге бағытталған әлемдік күш-жігердің негізінде орналастырады.

Қазіргі қолданыстағы АЭС-тің ең негізгі бөлігі болып саналатын ядролық реакторлар типтері бойынша 4 жікке бөліп зерттеу жүргізілді. Олардың ерекшеліктері мен кемшіліктерін өзара салыстыра келе төмендегідей қорытындыдан Қазақстанға қай ядролық реактор қолайлы екенін тұжырымдадым:

Ауыр сулы реакторлар. Бұл типтегі реакторлар баяулатқыш ретінде ауыр суды D2O пайдаланады. Ал салқындатқыш ретінде қажетіне қарай ауыр су, жеңіл су және газды қолданады. Ауыр судың ең негізгі артықшылығы нейтрондарды жұтпайтындығында. Сондықтан бұл типтегі реакторларда ядролық отын ретінде байытылмаған табиғи уран қолданылады. Алайда, бұл типтегі реакторлардың ең үлкен кемшілігі бағасының өте қымбаттығы мен радиоактивтік қалдықтарды көп шығаратындығында. Яғни, салған ақша

тым көп болады десек те болады. Әдеттегі судың құрамындағы ауыр судың мөлшері 0.01557% болатындығын ескерсек оны 100%-ға жуық байытудың қаншалықты қиын және қаншалықты көп қаражат жұмсалатындығын түсіну қиын емес деп айтсақ болады. Ауыр сулы реактор қаржы мәселесі бойынша Қазақстанға тиімсіз деп қарастырдым.

Графитті реакторлар. Бұл типтегі реакторлар баяулатқыш ретінде графитті, ал салқындатқыш ретінде газды немесе жеңіл суды қолданады. Графиттің нейтронды баяулату қабілеті жеңіл суға қарағанда нашар болғанымен нейтрондарды жұтпайтындықтан ядролық отын ретінде табиға уранды пайдаланады. Бұл оның ең үлкен артықшылығы. Графитті реакторларда жеңіл сулы реакторларға қарағанда ядролық әскери қару — атом бомбаның материалы плутоний-239 көп пайда болады. Сондықтан қазірге дейін плутоний-239 өндірісінде осындай типтегі реакторлар қолданылып келді. Графитті реакторлардың жоғарыдағыдай артықшылықтарымен қатар кемшіліктері де жетерлік. Төтенше жағдайлар кезінде реакторды шұғыл тоқтату үшін тежегіш стержендерді бір уақытта реактордың белсенді аумағына енгізуге тура келеді. Бұл кезде реакторда орнықсыздық байқалып қауіпсіздікке қатер төндіруі мүмкін. Нейтронды баяулату қабілеті жеңіл суға қарағанда нашар болғандықтан реактордың белсенді аумағының көлемі жеңіл сулы реакторлардан үлкен болады. Бұл жеңіл сулы реакторларға қарағанда бірлік көлемдегі қуаты төмен дегенді білдіреді. Графиттің массасы ауаның құрамындағы оттегімен әсерлесу нәтижесінде біртіндеп азаятындықтан үнемі көңіл бөлуге тура келеді. Оның үстіне графит морт сынғыш (оңай сынады) болғандықтан үлкен көлемде қолдануға қолайсыздық тудырады. Ядролық қаруларды өндіруге шектеу қойылғандықтан бұл типтегі реакторлар бұдан бұлай жасалмауы да мүмкін. Графит реакторлар көміртегі, өзі жеңіл, баяулатуға күші жетпейді. Басқа Еуропа елдері сенімсіздік білдірген және де Чернобыль апаты да осы реакторға тікелей қатысты. Қазақстанға бұл реактор осындай себептерге орай келмейді деген тұжырымдамын.

Шапшаң нейтронды реакторлар. Бұл типтегі реакторлардың негізгі ерекшелігі баяулатқыш қолданбай шапшаң нейтрондар арқылы ядролық бөліну реакциясын жүргізе алатындығы. U235 шапшаң нейтрондар арқылы бөлінбейді, бірақ U238 шапшаң нейтрондарды қармау арқылы ядролық отын Pu239-ға айналады $U238+n \rightarrow U239(\beta^-) \rightarrow Pu239$. Pu239 шапшаң нейтрондар арқылы тізбекті ядролық реакцияға қатысады. Әрбір бөліну кезінде пайда болған 3 нейтронның екеуі U238-ді Pu239-ға айналдырса, қалған бір нейтрон арқылы Pu239 бөлініп тізбекті реакция жалғасады. Демек, жұмсалған отынға қарағанда жаңадан пайда болған отын мөлшері көп болады. Міне, бұл шапшаң нейтронды реакторлардың ең негізгі артықшылығы. Ғалымдардың есебі бойынша егер қазіргі қолданыстағы энергетикалық реакторлар арқылы U235 күйдіре берсек, алдағы 50 жылда уран қоры таусылып бітуі мүмкін. Ал шапшаң нейтронды реакторларды өндіріске енгізер болсақ, табиға уранның 99.3% үлесін алатын U238 қолдану арқылы уран қорын 2000 жылға дейін ұзартуға болар еді. Шапшаң нейтронды реакторларды салқындатқыш яғни, жылу тасымалдағышы ретінде сұйық күйдегі натрий

қолданылады. Сұйық натрийдың жылу өткізу қабілеті судан 100 есе жоғары, нейтрондарды аз жұтады және шапшаң нейтрондарды баяулатпайтын қасиеттерге ие. Шапшаң нейтронды реакторлардың жоғарыдағыдай артықшылығы болғанымен әлі күнге дейін энергетика өндірісінде қолданысқа түсен жоқ. Оның басты себебі жылу тасымалдағыш жүйесіндегі кемшіліктер. Натрий ауадағы оттегімен байланысқанда жоғарғы химиялық активтілік көрсетеді, ол технологиялық қатынасты күрделендіреді. Су мен натрий араласса, жарылыс тудыратындай қышқылдану процесі жүреді. Сондықтан онымен жұмыс жасау үшін өте жоғары техниканы және сол техниканы қауіпсіз басқару үшін бір тұтас жүйені қажет етеді. Егер техникалық қауіпсіздік мәселелері шешілсе, болашақта жеңіл сулы реакторлардың орнын шапшаң нейтронда реакторлар басуы мүмкін. Бірақ бұл мәселе оңай шешілмейтіндей. Және де дәл осы реактор Қазақстанда Ақтауда БН-350 болған. Пайдаланудан шығарылғанына 25 жыл болды. Ал оның радиациясы әлі күнге дейін бар. Яғни, олар қалың бетондармен жабылған. Оның радиациясы 1000 жылда тарайды. Яғни, бұл реактор түрі Қазақстанда болған, тек радиация қалды десек те болады бұл реактордан. Осындай себептерге орай бұл реактор да Қазақстанға қолайсыз деп қарастырсам болады [2].

Жеңіл сулы реакторлар. Бұл типтегі реакторлар баяулатқыш және салқындатқыш ретінде кәдімгі жеңіл суды H_2O пайдаланатындықтан, олар әлемде кең қолданысқа ие болып табылады. Судың құрамындағы сутегі атомының ядросымен ядролық бөліну кезінде пайда болған шапшаң нейтрон өзара әсерлесіп соқтығысу нәтижесінде шапшаң нейтрондардың жылдамдығы баяулайды. Көп реткі соқтығысқаннан кейін шапшаң нейтрондар баяу нейтрондарға айналады. Сондықтан осы типті реакторларда нейтрондары баяулатқыш қасиеті күшті жеңіл суды баяулатқыш ретінде қолданады. Ауыр сулы реакторлардың BWR және PWR реакторларын Қазақстанға қолдануға өте қолайлы дер едім. Өйткені, бұл реакторлар 2 және 3 циклды және су бұға, бу суға айнала отырып энергия алынатын реакторлар болып келеді. Дәл осы реакторлар өндірісте әлем бойынша 60 жылдан аса қолданылды. Тағы бір мән беретін факт Жапонияда осы реакторлардың қолданылған суын балық өндірісіне қолданды. 45 Яғни, радиациясы болса, балық шаруашылығына қолданбас еді. Осындай себептерге орай Қазақстан егер де болашақта ядролық реактор салуды жоспарласа екі реакторды ойланбастан ұсынар едім [8].

4. Қорытынды

Қорытындылай келетін болсам, мен ядролық реактор дегеніміз не? қазіргі қолданысы бойынша ядролық реакторды Қазақстанда салған жағдайда, қай реактор түрі қолайлы болар еді деген тұжырымдауға жауап қарастырып көрдім. Яғни, қысымды су реакторлары ең қолайлы деп қарастырсақ болады. Жеңіл сулы реакторлардың BWR және PWR реакторларын Қазақстанға қолдануға өте қолайлы дер едім. Өйткені, бұл реакторлар 2 және 3 циклды және су бұға, бу суға айнала отырып энергия алынатын реакторлар болып келеді. Тағы бір мән беретін факт Жапонияда осы реакторлардың қолданылған суын балық өндірісіне қолданды. Яғни, радиациясы болса, балық

шаруашылығына қолданбас еді. Осындай себептерге орай Қазақстан Балхашқа ядролық реактор салуды жоспарлап отыруына орай екі реакторды ойланбастан ұсынар едім.

References / Әдебиеттер

- [1] National Nuclear Security Administration. (2017). NNSA reaches milestone in developing new nuclear fuel for U.S. high-performance research reactors
- [2] Oldekop, W. (1982). *Electricity and Heat from Thermal Nuclear Reactors*, Primary Energy, Berlin, Heidelberg. Springer Berlin Heidelberg, 66–91. https://doi.org/10.1007/978-3-642-68444-9_5
- [3] University of Chicago. (2022). The first nuclear reactor, explained | University of Chicago News. Retrieved from: [News.uchicago.edu](https://news.uchicago.edu).
- [4] NRC. (2022). Status of Subsequent License Renewal Applications. Retrieved from: <https://www.nrc.gov/reactors/operating/licensing/renewal/subsequent-license-renewal.html>
- [5] Office of Nuclear Energy. (2020). What's the Lifespan for a Nuclear Reactor? Much Longer Than You Might Think. Retrieved from: <https://www.energy.gov/ne/articles/whats-lifespan-nuclear-reactor-much-longer-you-might-think>
- [6] Seacoast Anti-Pollution League (SAPL). (2017). The True Lifespan of a Nuclear Power Plant. Retrieved from: <https://saplnh.org/about-nuclear/nuclear-plant-lifespans/>
- [7] International Atomic Energy Agency (IAEA). (2017). Nuclear Power Reactors in the World – 2015 Edition. Retrieved from: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/RDS_2-36_web.pdf
- [8] National Nuclear Security Administration. (2017). NNSA reaches milestone in developing new nuclear fuel for U.S. high-performance research reactors. Retrieved from: https://www.legistorm.com/stormfeed/view_rss/1144607/organization/91705/title/nnsa-reaches-milestone-in-developing-new-nuclear-fuel-for-us-high-performance-research-reactors.html

Қазіргі қолданыстағы ядролық реакторларды зерттеу

С.Ж. Акмолдаева*

Satbayev University, Алматы, Қазақстан

*Корреспонденция үшін автор: saltanatak@gmail.com

Андатпа. Әлемдегі қазба байлықтардың азаюы және қоршаған ортаның ластануы, энергияның әртүрлі балама көздері энергетика тапшылығын қанағаттандыра алмауына байланысты туындаған энергетика дағдарысы ғалымдардың назарын аударуда. Осыған орай қазіргі кезде ядролық реактор арқылы энергия өндіретін АЭС энергетика тапшылығын түбегейлі шеше алады. Энергетика тапшылығын шеше алуына байланысты қазіргі қолданыстағы ядролық реакторлар бойынша мәліметтер және тұжырымдамалар қарастырылды. Әлемдегі көптеген ядролық реакторлар зерттеу және оқыту, материалдарды сынау немесе медицина мен өнеркәсіп үшін радиоизотоптар жасау үшін қолданылады. Бұл нейтрондық зауыттар болып келеді. Олар энергетикалық реакторларға немесе кеме қозғалтқыштарына қарағанда әлдеқайда аз және олардың көпшілігі кампустарда болады. Ядролық реакторлар атом электр станцияларында электр энергиясын өндіру үшін және ядролық теңіз қозғалысы үшін қолданады. Кейбір реакторлар медициналық және өнеркәсіптік мақсаттағы изотоптарды алу үшін немесе қару-жарақ плутонийін өндіру үшін қолданылады. Олардың кейбіреулері жоғары байытылған уран отынымен жұмыс істейді, олардың көпшілігі төмен байытылған жоғары сынамалы отынмен ауыстырылды. Кейбір радиоизотоптар өндірісі нейтрондардың нысаны ретінде жоғары байытылған уранды пайдаланады. Көпшілігі, әсіресе Қазақстан тұрғындары ядролық реакторға көзқарасы теріс пікірде. Теріс пікірде болса да, реакторлардың әр түрлі типтеріне қарай ең қолайлы түрін ұсынуға тырыстым. Яғни, бұл ғылыми мақалада ядролық реактор Қазақстанда салынған жағдайда қай түрі қолдануға ең тиімді екені туралы тұжырымдалды.

Негізгі сөздер: ядролық реактор, реакция, АЭС, энергия.

Исследование существующих ядерных реакторов

С.Ж. Акмолдаева*

Satbayev University, Алматы, Казахстан

*Автор для корреспонденции: saltanatak@gmail.com

Аннотация. Энергетический кризис, вызванный истощением минеральных ресурсов и загрязнением окружающей среды, неспособностью различных альтернативных источников энергии восполнить дефицит энергии, привлекает внимание ученых. В связи с этим АЭС, производящая энергию посредством ядерного реактора, может полностью решить проблему дефицита энергии. Информация и концепции используемых в настоящее время ядерных реакторов были рассмотрены с точки зрения их способности решать проблемы дефицита энергии. Многие из ядерных реакторов в мире используются для исследований и обучения, испытаний материалов или производства радиоизотопов для медицины и промышленности. Это нейтронные фабрики. Они намного меньше энергетических реакторов или корабель-

ных двигателей, и большинство из них расположены на территории кампусов. Ядерные реакторы используются для выработки электроэнергии на атомных электростанциях и в ядерных морских двигательных установках. Некоторые реакторы используются для извлечения изотопов для медицинских и промышленных целей или для производства оружейного плутония. Некоторые из них работают на высокообогащенном урановом топливе, большая часть которого заменена низкообогащенным топливом высоких испытаний. В некоторых производствах радиоизотопов в качестве источника нейтронов используется высокообогащенный уран. Многие люди, особенно жители Казахстана, отрицательно относятся к ядерному реактору. Несмотря на отрицательное мнение, я постаралась предложить наиболее подходящий тип в зависимости от типа реакторов. То есть в данной научной статье был сделан вывод, какой тип ядерного реактора наиболее эффективно использовать при строительстве в Казахстане.

Ключевые слова: ядерный реактор, реакция, АЭС, энергия.

Received: 27 April 2024

Accepted: 15 September 2024

Available online: 30 September 2024