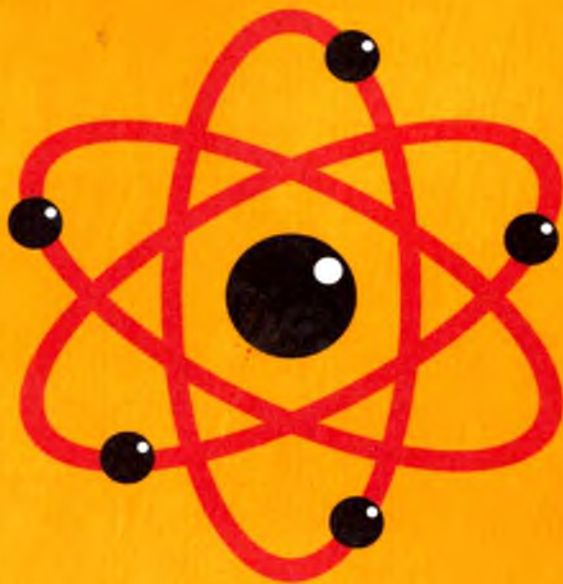


**YA.D.XODJAYEV, SH.A.KASIMOV,
K.A.TOXTAXUNOV**

YADROVIY ENERGETIKA ASOSLARI



TOSHKENT

**O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY VA O'RTA
MAXSUS TA'LIM VAZIRLIGI**

Y.D.XODJAYEV, SH.A.KASIMOV, K.A.TOXTAXUNOV

YADROVIY ENERGETIKA ASOSLARI

TOSHKENT–2019

UO'K: 334.716

KBK 31.4ya73

Ya 35

Ya 35

Y.D.Xodjayev, Sh.A.Kasimov, K.A.Toxtaxunov.
Yadroviy energetika asoslari. –T.: «Fan va tex-
nologiya», 2019, 140 bet.

ISBN 978–9943–6280–9–0

Kelajakda insoniyatning energiya iste'moli, ayniqsa, atrof-muhitga zarar yetkazmasdan ishlab chiqarilgan elektr energiyasining iste'moli sezilarli darajada oshishi kutilmoqda. Elektroenergiyaga bo'lgan talab tez o'sib bormoqda va 2040-yilga kelib, bugungi iste'molga qaraganda, deyarli ikki baravar ko'p elektr energiya kerak bo'ladi. Energiya iste'moli bo'yicha xalqaro ekspert tashkilotlari tomonidan ishlab chiqilgan barcha bashoratlarda atom energiyasining global energiya balansidagi ulushi o'sishi nazarda tutilmoqda. O'zbekistonda ham atom elektrostansiyasi bunyod etishga kirishildi. Shu munosabat bilan, xalqimizni ona tilimizda atom energiyasi bo'yicha asosiy ma'lumot, tushunchalar bilan tanishtirish bugungi kunning dolzarb vazifasidir. Ushbu risola, shu ma'noda, bu vazifani ado etish yo'lidagi dastlabki urinishdir. Risola 5 ta bobdan iborat bo'lib, ularda yadro fizikasi va energetikasini barpo bo'lishi, yadroviy yoqilg'i sikli va texnologiyasi asoslari, atom elektrostansiyalarining faoliyati xavfsizligi va ekologiyaga ta'siri hamda yadro energetikasining zamonaviy holati va rivojlanish istiqbollari bayon etilgan. Risola keng doiradagi kitobxonlarga mo'ljallangan bo'lib, u ayniqsa, fizika, energetika va texnika sohalari bo'yicha ta'lim olayotgan talabalar hamda mutaxassislarga foydali bo'ladi.

UO'K: 334.716

KBK 31.4ya73

Taqrizchilar:

R.P.Babaxodjayev – texnika fanlari doktori, professor;

B.A.Mirsalixov – fizika-matematika fanlari nomzodi.

Ushbu monografiya Toshkent temir yo'l muhandislar instituti ilmiy Kengashining 2019-yil 23-dekabr 5-sonli qaroriga asosan chop etildi.

ISBN 978–9943–6280–9–0

© «Fan va texnologiya» нашриёти, 2019.

KIRISH

Kelajakda insoniyatning energiya iste'moli, ayniqsa, atrof-muhitga zarar yetkazmasdan ishlab chiqarilgan elektr energiyasining iste'moli sezilarli darajada oshishi kutilmoqda. Elektroenergiyaga bo'lgan talab umumiy energiya iste'molidan ikki barobar tezroq o'sib bormoqda va 2040-yilga kelib, bugungi iste'molga qaraganda deyarli ikki baravar ko'p elektr energiya kerak bo'ladi.

Dunyo miqyosida energiya ishlab chiqarishning yangi quvvatlariga ehtiyoj bor, chunki birinchidan, ma'naviy va texnik juhatdan eskirgan korxonalarni, ayniqsa, qattiq yoqilg'ida ishlaydiganlarni almashtirish, ikkinchidan, elektr energiyasiga bo'lgan oshib borajotgan talabni qondirish zarur. Qayta tiklanadigan energiya manbalarini (quyosh, shamol, bioenergetika) sohasi kuchli qo'llab-quvvatlanishiga qaramasdan, so'nggi 10 yil ichida elektr energiyasi ishlab chiqarishda qazib olinadigan yoqilg'ilarning qo'shgan hissasi deyarli o'zgarmagan (2005-yilda - 66,5% va 2016-yilda - 65,0% elektr energiyasi qazib olinayotgan yoqilg'ini yoqish hisobiga hosil qilingan).

Energiya iste'moli bo'yicha xalqaro ekspert tashkilotlari tomonidan ishlab chiqilgan barcha bashoratlarda atom energiyasining global energiya balansidagi ulushi o'sishi nazarda tutilmoqda. Atom energiyasi iste'moli oshishining sabablari quyidagicha:

Birinchidan, ekologik inqiroz sharoitida va an'anaviy energiya manbalari zaxiralariining kamayishi sharoitida yagona, ishonchli va ekologik xavfsiz energiya manbai bo'lib yadroviy energiya hisoblanadi. Yadro yoqilg'isi narxi nisbatan kam o'zgaradi, shuningdek, uran zaxiralari butun dunyo bo'ylab neft, gaz va ko'mir zaxiralariidan ko'ra tekisroq taqsimlangan. Shu bois, yadro energetikasi mamlakatlarga, zamonaviy dunyo sharoitida juda muhim bo'lgan, energiya mustaqilligiga erishish imkonini beradi.

Ikkinchidan, insoniyat XXI asrda energiya va toza suv yetishmovchiligi muammosiga to'qnash keldi. Jahon aholisi va iqtisodiyotining o'sishi urbanizatsiya jarayonini jadallashtirish bilan birga (rivojlanayotgan mamlakatlarda) energiyaga bo'lgan talabning sezilarli darajada oshishiga olib keladi. BMT ma'lumotlariga ko'ra, dunyo aholisi 2017-yildagi 7,6 milliarddan 2050-yilga borib 9,8 milliardgacha oshishi mumkin, bunda dunyo aholisining uchdan ikki qismi shaharlarda (2014-yilda - 54 foiz edi) yashaydi. Zamonaviy dunyodagi asosiy muammo – ifloslantiruvchi moddalarning tabiatga zararini kamaytirish bilan birga, energiyaga bo'lgan tez o'sib borayotgan talabni qondirish vazifasidir. Butunjahon sog'liqni saqlash tashkiloti (VOZ) ma'lumotlariga ko'ra, havoning ifloslanishi eng katta ekologik xavf hisoblanadi, faqatgina 2012-yilda havo ifloslanish oqibatida dunyoda yetti millionga yaqin odam barvaqt olamdan o'tdi. Global miqyosda yoqilg'i "savati" ning hozirgi tarkibi bilan energiyaga bo'lgan o'sib borayotgan talabni qondirish atmosferaning ortiqcha chiqindilar, moddalar va zaharli gazlar bilan ifloslanishiga olib keladi. Faqat atom elektrostansiyalarigina biologik xilma-xillikni saqlash va atrof-muhitning tabiiy holatini hisobga olgan holda zamonaviy sivilizatsiyaning energiyaga bo'lgan ehtiyojlarini qondirish muammosini hal qilish imkoniyatiga ega. Aholini toza suv bilan ta'minlash masalasiga kelsak, atom stansiyalari ham suvni chuchuklashtiruvchi quvvatli qurilmalar sifatida ishlatilishi mumkin.

Uchinchidan, yadro energetikasining ravnaqi yadroviy tibbiyot, izotop sanoati, kosmik texnika va shu kabi yuqori texnologik va muhim sohalarni rivojlantirishga imkon beradi.

Atom energiyasining shubhasiz afzalliklari jahon hamjamiyati tomonidan tobora ko'proq e'tirof etilmoqda. 2017-yil boshida dunyo bo'ylab, umumiy quvvati 392521 MVt bo'lgan, 451 ta reaktor mavjud bo'lib, 61 ta reaktor qurilmoqda va yana 146 tasi loyihalashtirilmoqda. 2018-yilda to'qqizta yangi energobloklar tijorat maqsadlarida foydalanishga topshirildi (Xitoyda 7 ta, Rossiyada 2 ta), beshta energobloknı barpo qilish boshlandi (Rossiyaning VVER dizayni bo'yicha Turkiya, Rossiya va

Bangladeshda), shuningdek, Janubiy Koreya va Buyuk Britaniyada (Xitoy va Fransiyaning qo'shma loyihasi). Uchta blok to'xtatildi (biri AQSHda, ikkitasi Tayvanda). Dunyodagi jami atom energiya qurilmalarining umumiy ishlash muddati 17868 yilni tashkil qildi. Jahon yadro assotsiatsiyasi 2050-yilga qadar, atom sanoati jahonda elektroenergiya ishlab chiqarishining 25 foizini ta'minlaydigan, «Harmony» dasturini e'lon qildi. Unga ko'ra, jahonda 1000 GWt quvvatli yangi yadro qurilmalari barpo etilishi kerak. Qurilish rejasiga muvofiq, 2020-yilgacha har yili 10 GVt quvvatga ega, 2025-yilgacha 25 GVt va 2040-yilgacha yiliga 33 GVt quvvatga ega yadroviy qurilmalarni ishga tushirish lozim.

XX asrning 80-yillarida jahonda 218 ta (shu jumladan, 47 tasi AQSHda, 42 tasi Fransiya va 18 tasi Yaponiyada) yadroviy energiya reaktorining ishga tushirilganligi (ya'ni har 17 kunda o'rtacha hisobda bittadan), «Harmony» dasturining amaliy bajarilishi mumkinligi ehtimoli yuqori ekanligiga ishonch uyg'otadi.

Yadro energiyasi bilan bog'liq tushunchalar bizning hayotimizga jadal kirib bormoqda - ularsiz insoniyatning XXI-asrdagi taraqqiyotini tasavvur qilib bo'lmaydi. Dunyoning barcha yetakchi davlatlarida tibbiyot, robototexnika, kosmik texnologiyalar, qishloq xo'jaligi va boshqa sohalarda radioaktivlikni qo'llashda ochilayotgan keng imkoniyatlarni e'tiborga olib, atom energetikasini yanada rivojlantirishga kirishdilar. Shu bilan birga, yangi asrda radiofobiya - radiatsiya kabi murakkab va ko'p qirrali hodisadan qo'rquv va hadik asta-sekin yo'qolib bormoqda. Chunki radiatsiya yordamida xavfli o'smalarni aniqlash va muvaffaqiyatli davolash, kosmosda va dengiz tubida muhim tadqiqotlarni amalga oshirish mumkin ekanligi anglab yetildi. Atom elektr stansiyalarida ishlab chiqarilayotgan elektr energiyasi bizning uylarimizdagi yorug'lik va issiqlik manbai bo'libgina qolmay, balki yirik sanoat korxonalarining ish faoliyatini ham ta'minlaydi.

Boshqa tomondan, juda sodda va jo'n mushohada yuritib, atom energiyasini xavfsiz va zararsiz hodisa deb hisoblash xato bo'ladi: o'tkazilgan yadroviy qurol sinovlari radioaktiv yadrolarning ulkan vayronagarchilik potensialini namoyish etgan. Ammo zamonaviy fan va texnikaning darajasi, ayniqsa, paydo

bo'layotgan innovatsion texnologiyalar bu quvvatni ishonchli boshqarish, doimiy ravishda jilovlab turish, undan xavfsiz foydalanish uchun yangi imkoniyatlarni kashf etish imkonini beradi.

Shu sababli, bugungi yosh avlodning asosiy vazifalaridan biri – bu oldingi avlodlarning ulkan va mashaqqatli mehnatlari natijalarini e'zozlash va Vatanimizda barpo etilayotgan yadro energetikasi sohasidagi mavqeimizni mustahkamlash uchun, bu sohadagi bilimlarni o'rganish, saqlash va kengaytirishdir. Fikrimizcha, bu vazifani ado etish Siz – yoshlarning kelajakda muhandis yoki olim sifatidagi vatanparvarlik burchingizdir.

Ushbu risola Atex-2018-437-sonli davlat loyihasi doirasida chop etilmoqda.

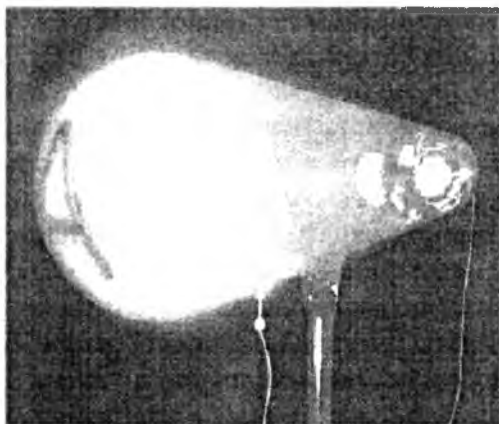
1-bob. YADRO FIZIKASI VA ENERGETIKASINING BARPO BO'LISHI

Yadro tarmog'i bilan tanishuvni an'anaviy tarzda, tarixiy chekinishdan (moziyga qaytishdan) boshlash maqsadga muvofiq, chunki u atom fani va texnikasiga xos zamonaviy shart-sharoitni yaxshiroq anglab yetish, uning ichiga kirib borish imkonini beradi. Bundan tashqari, rivojlanish tarixi bilan tanishish jarayonida yadro va yadroviy texnologiyalar to'g'risida tasavvur shakllanib boradi. XX asr yadro energetikasi davriga aylandi. Bu energiya insoniyat tomonidan uning butun tarixi davomida qo'llab kelingan har qanday yoqilg'i energiyasidan minglab barobar kuchli. Masalan, trotil molekulasi parchalanishida 10 eV energiya, uran yadrosi parchalanishida esa - 200 MeV, ya'ni 20 mln marta ko'proq energiya ajralib chiqadi. Shu bilan birga XX asr ilm-fan uchun hal qiluvchi ahamiyat kasb etdi: «materiya va energiya», «zamon va makon» kabi o'ta muhim tushunchalarga bo'lgan qarash tubdan o'zgardi. Klassik mexanika o'rnini M. Plank, A. Eynshteyn, E. Shredinger, N. Bor, V. K. Geyzenberg va shu kabi boshqa buyuk olimlar tomonidan taraqqiy ettirilgan tasavvurlar egalladi. Bu hodisa fan falsafasida «paradigmalar almashinuvi» nomini olib, u doim hukmron nazariya doirasiga sig'maydigan, izohlab berish mumkin bo'lmagan eksperimental faktlar paydo bo'lishi bilan bog'liq. 1896-yilda radioaktivlik hodisasining kashf etilishi ham ana shunday noqulay faktlardan biriga aylandi. Biroq biz tarix bo'ylab ortga chuqurroq qaytishimizga to'g'ri keladi. Nima uchunligini hozir tushunib olasiz. 1858-yilda nemis shisha ustasi va hunarmandchilik ustaxonasi egasi Genrix Geyssler (1815-1879) ikkita elektrod payvandlangan, ichi siyraklashgan gaz bilan to'ldirilgan shisha trubkani tayyorlaydi (geyssler trubkasi deb nom olgan). Bu elektrodlar doimiy tok manbaining turli qutblariga ulanganida, zanjir bo'ylab tok o'tadi va gaz o'zidan yorug'lik chiqara boshlaydi. Taxminan XIX asrning o'rtalarida gaz

razryadlari masalasi bilan nemis fizigi Yulius Plyukker qiziqib qoldi. U gaz o'tkazuvchanligi uning trubka ichidagi zichligiga bog'liqligini aniqladi: gazning bir qismi trubkadan chiqarib yuborilsa, u ortib boradi. Bunda har gal gaz o'ziga xos o'zgacha rang bilan yonishi ma'lum bo'ldi. Shu tarzda Plyukker 1858-yilda yonuvchan trubkalarni ixtiro etdi. Bugungi kunda ular turli reklama va shoularda keng qo'llanadi. Trubkadagi siyraklashish darajasi ortsa, katod yaqinida qorong'u bo'shliq – "katod dog'i" paydo bo'ladi va u gazning chiqarib yuborilishida kengayib, so'ng butun trubka ichini to'ldiradi. Shunda u nurlanmay, o'zidan yorug'lik chiqarishni to'xtatadi. Plyukker tadqiqotlari (1859 y.) bu qorong'u bo'shliqni keyinroq «katod nurlari» deb nom olgan, ko'z bilan ko'rib bo'lmaydigan qandaydir «nurlar» kesib o'tishini ko'rsatdilar (1.1-rasm).

1895-yili nemis fizigi Vilgelm Konrad Rentgen (1.2-rasm) katod nurlari bilan ishlar ekan, ular trubkaning shishasiga to'qnashishida hatto moddiy to'siqlardan ham o'ta oladigan g'aroyib nurlanish yuzaga kelishini aniqladi. Rentgen bu qanday nur ekanligini aniqlay olmaganligi bois, ularni «X-nurlar» deb atadi. Nurlanishning yangicha tipi g'aroyib xususiyatlarga ega edi: u buyumlarning ichki tuzilishini ko'rish imkonini berib, tez orada tibbiyot sohasida qo'llanadigan bo'ldi.

Muvaffaqiyatdan ruhlangan fiziklar har yerdan rentgen nurlarini izlay boshladilar. Fransuz fizigi Antuan Anri Bekkerel yorug' joyga qo'yilgan uran sulfati, so'ng qorong'uda yorug'lik tarqata boshlashini sezib qoldi. Bekkerel bu birikma o'zidan «X-nurlar» chiqarish-chiqarmasligini aniqlashga qaror qildi: bu aynan shunday ekanligi ma'lum bo'ldi. Bundan keyingi tadqiqotlar jarayonida, 1896-yili, Bekkerel uran sulfati uni quyosh nuriga chiqarmasa ham, o'zidan doimiy ravishda ko'zga ko'rinmaydigan, rentgen nurlariga o'xshash nur tarqatishini aniqladi. Olim bu nurlar hatto qora qog'ozga o'ralgan fotoplastinkani ham qoraytirib yuborishiga e'tibor berdi. Bekkerel bu hodisani radiatsiya deb nomladi.



1.1-rasm. Katod nurlarini namoyish etish.



1.2-rasm. Vilgelm Konrad Rentgen (1845-1923).

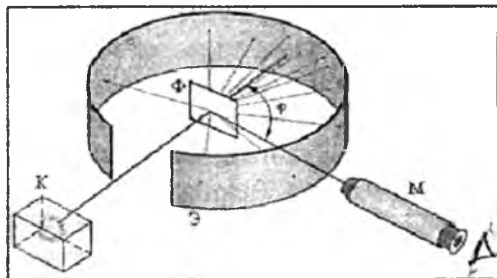
1898-yili asli polshalik bo'lgan fransuz fizigi Mariya Sklodovskaya-Kyuri turmush o'rtog'i Pyer Kyuri bilan radiatsiya manbai aynan uran atomi ekanligini isbotlab berdi, ya'ni uranning har qanday birikmasi o'zidan nurlanish tarqatadi. Madam Kyuri uranning o'zi kashf etgan xossasini radioaktivlik deb nomladi. Tez orada olimlar bu nurlanish tarkibiga ko'ra bir xil emasligini

aniqladilar. 1899-yilda Bekkerel va boshqa olimlar magnit ta'sirida nurlanishning bir qismi chetga og'sa, uning qolgan qismi to'g'ri chiziq bo'ylab tarqalishini ko'rsatib berdilar. Bundan tashqari, magnit maydonida og'adigan nurlar elektr maydonida ikki oqimga ajralishi, ya'ni musbat va manfiy zaryadlangan nurlanishdan iborat ekanligi aniqlandi. Asli Yangi Zelandiyalik, ingliz fizigi Ernest Rezerford (1.3-rasm) radiatsiyaning birinchi turini «alfa-nurlar», ikkinchi turini esa «beta-nurlar» deb atadi. Magnit maydonida og'maydigan nurlanishni esa tez orada «gamma-nurlar» deb atadi. Biroz vaqt o'tgach, gamma-nurlar oddiy yorug'likka o'xshashi, ammo ularning to'lqinlari rentgen nurlaridan qisqaroq ekanligi ma'lum bo'ldi. Rezerford 1900-yili beta-nurlar – bu shunchaki elektronlar oqimi ekanligini isbotlagan bo'lsa; 1906-yili yana uning o'zi alfa-nurlar – bu elektron qobiqsiz geliy yadrolari oqimlari ekanligini ko'rsatib, bu zarrachalar ustida faol tadqiqotlarini boshlab yubordi.

Radioaktivlik hodisasining kashf etilishi atom fizikasi rivojlanishi uchun qudratli turtki bo'lib xizmat qildi. 1906-yili Ernest Rezerford tilla zarni (folgani) alfa-zarrachalar bilan nurlantirish tajribasini o'tkazib (1.4-rasm), bu unga 1911-yilda fiziklarga atomning yadroviy modelini taqdim etish imkonini berdi (atomning deyarli butun massasi markaziy, musbat zaryadlangan yadroda jamlangan bo'lib, atomning qolgan bo'shlig'i esa juda yengil elektronlar bilan to'lgan).



1.3-rasm. Ernest Rezerford (1871-1937).



1.4-rasm. Rezerfordning alfa zarrachalarni yoyib yuborish bo'yicha o'tkazgan tajribasi sxemasi (K-ichiga radioaktiv modda joylangan qo'rg'oshin konteyner, E – oltingugurtli sink bilan qoplangan ekran, F-tilla zar (folga), M-mikroskop).

Rezerford modelida, faqat 1932-yilga kelib kashf etilgan neytronlar bo'lmaganligiga qaramay, bu model bugunga kelib ham prinsipial jihatdan to'g'ri deb hisoblanadi. Rezerford tajribasi quyidagilardan iborat edi. Qo'rg'oshin konteyner ichiga joylangan radioaktiv manbadan, a-zarrachalar yupqa tilla zar qog'ozga (folgaga) yo'naltirilgan. Tarqoq zarrachalar esa tez zaryadlangan zarrachalar zarblari ostida nurlanishga qodir bo'lgan sink sulfidi kristallari qatlami bilan qoplangan ekranga tushadi. Ekrandagi portlashlar (vspishki) mikroskop yordamida ko'z orqali kuzatilgan. Rezerford tajribasida tarqoq a-zarrachalarni kuzatish mojno bilo provodit pod razlichnimi uglami f k pervonachalnomu napravleniyu puchka. a-zarrachalarning aksariyati yupqa metall qatlamidan deyarli og'ishmay o'tishi aniqlangan. Biroq zarrachalarning kichik qismi 30° dan ortiq bo'lgan kattagina burchakka og'adilar. O'ta kam uchraydigan a-zarrachalar (o'n mingtaga taxminan bitta) 180° ga yaqin burchaklarga og'ishi kuzatilgan. Bu kabi kam miqdordagi zarrachalarning og'ishi tufayli Rezerford atom deyarli bo'sh ekanligi, uning butun musbat zaryadi esa kichik hajm – yadroda jamlanganligi to'g'risidagi fikrga keldi. 1902-1907-yillarda Ernest Rezerford va uning xodimi Frederik Soddi (ingliz radioximigi) radioaktiv qatorlar, ya'ni har bir keyingi elementi avvalgisidan o'zidan alfa- yoki beta-zarracha chiqarish bilan hosil bo'ladigan radioaktiv elementlar

ketma-ketligi mavjudligini isbotlab berdilar. Ana shu qatorlarni tadqiq etishda kimyoviy xossalarga ko'ra ma'lum kimyoviy markalar bilan bir xil, ammo ulardan ancha tez yoki aksincha, sekinroq parchalanadigan atomlar mavjudligi aniqlandi. 1913-yili Soddi elementlar Davriy jadvalining bir joyida joylashgan, ammo turlicha radioaktiv xossalarga ega bo'lgan atomlarni izotoplar (yunoncha «bir joy» so'z birikmasidan) deb atadi. 1935-yili Kanada-amerikalik fizik Artur Jefri Dempster (1886-1950) uran yadrolarining tabiiy aralashmasida 0,7 % ^{235}U izotopi borligini aniqladi.

Fiziklar atom yadrosi tarkibini aniqlashga intilib, unda «musbat elektronlari»ni izlagan edilar, biroq ularning barcha harakatlari zoye ketdi. Nihoyat, 1914-yilda Rezerford, vodorod yadrolari massasidan musbat elektr zaryadni urib chiqarishga harakat qilayotib, buning iloji yo'qligini anglab yetdi va fikrini isbotlab ham berdi. Radioaktiv qatorlar (o'sha davrda uran, toriy va aktiniylardan boshlanadigan faqat uchta radioaktiv turkum ma'lum edi) cheksiz emas hamda qo'rg'oshin yoki vismutning stabil izotopi hosil qilish bilan tugallanadi. Bugunga kelib uran-235, uran-238, toriy-232 va neptuniy-237 lardan boshlanadigan to'rt radioaktiv turkum ma'lum. Demak, musbat zaryad vodorod atomi yadrosi bilan uzviy bog'liq. Rezerford vodorod yadrolarini protonlar (yunoncha «birinchi») deb nomlab, qolgan element yadrolari ham protonlardan iborat deb faraz qildi. Ana shu tarzda fiziklar tomonidan neytron kashf etilishiga qadar deyarli o'zgarishsiz ishlatib kelingan atom tuzilishining proton-elektron nazariyasi yaratildi. O'sha davrga kelib yadrolar o'z-o'zicha o'zgarishga qodir ekanligi ma'lum bo'ldi. Ammo bu ehtimoliy va boshqarib bo'lmaydigan jarayon. Fiziklarni quyidagi savol qiziqtirib qoldi: xo'sh, insonning yadro strukturasi (tuzilmasini) o'z ixtiyori bilan o'zgartira olmaydimi? 1919-yili Rezerford, alfa-zarrachalar bilan azot yadrolarini bombardimon qilar ekan, yadro azot yadrosini kislorod yadrosiga aylantirish bilan tarixda ilk marotaba ongli tarzda atom yadrolari tarkibini o'zgartira oldi. 1934-yili fransuz fiziklari Frederik va Iren Jolio-Kyuri tabiiy fosfor (100% fosfor-31 dan tashkil topgan)ni alfa-zarrachalar bilan bombardimon qilish uslubi yordamida fosfor-30 ning dastlabki sun'iy izotopini olishga

muvaffaq bo'ldilar. 1934-yildan boshlab, turli mamlakatlarning fizika laboratoriyalarida tabiatda aslida mavjud bo'lmagan minglab yadrolar olishga erishildi. Ularning bari oxir-oqibatda radioaktiv bo'lib chiqdi. Atomning tuzilish nazariyasiga qaytamiz: 1920-yillarda u yadro spini kashf etilishi bilan bog'liq qiyinchiliklarga duch keldi. Nazariy jihatdan, muammo uchinchi turdagi atomga proton massasiga teng bo'lgan massali hamda nol zaryadli zarrachalarni kiritish bilan hal etilishi mumkin bo'lib, olimlar mana shu zarrachani (neytron) izlaganlar ham. Neytronning xossalari shundayki, u muhit bilan deyarli o'zaro aloqaga kirishmaydi, shu sababli uni aniqlash, sezish juda qiyin. Biroq, neytronlar yengil yadrolardan protonlarni urib chiqarishga qodir bo'lib, bu er-xotin Julio-Kuyrilarning 1932-yilgi tajribalarida qayd etildi. Afsuski, ular protonlar paydo bo'lishini gamma-nurlarning yangi xossasi sifatida izohladilar. Olimlar fikriga ko'ra, yuksak energiyali gamma-kvantlar yengil yadrolardan protonlarni urib chiqarishga qodir bo'lgan. Faqat Rezerfordning shogirdi, ingliz fizigi Jeyms Chedvik shu yilning o'zida massaga ega bo'lmagan gamma-nurlar, protonni uning yadrodagi o'rnidan siljita olmasligini aniqlab berdi, bu yerda gap ko'pchilik tomonidan kutilgan neytronlar haqida bormoqda edi. 1932-yilda neytronning kashf etilishi atomning yadroviy modelini modifikatsiyalash imkonini berdi.

Hatto kichik energiya zaxirasiga ega bo'lsalar ham, aniq yo'naltirilgan bo'lganligi sababli, ular albatta yadroga yetib borib, unga urilganlar (porajali). Kashf etilganidan so'ng oradan bor-yo'g'i bir necha oy o'tishi bilan neytronlarni yadroviy reaksiyani qo'zg'atish maqsadida laboratoriyalarda keng qo'llay boshladilar.

1934 va 1935-yillarda italiyalik fizik Enriko Fermi (1.5-rasm) hamkasblari bilan uran atomlarini mos ravishda harakatchan hamda sekin harakatlanuvchi neytronlar bilan bombardimon qilishga urinib ko'rdi. Ammo na Rezerford, na Fermi bu yangi davr boshlanishi ekanligini anglab yetmadilar. Xususan, Rezerford hayoti so'ngida yadroviy energiya hech qachon amaliyotda qo'llanmaydi deb fikr bildirib o'tdi. Keyingi yillarda neytronlar bilan bombardimon qilish yordamida texnetsiy (AQSH, 1937-yil, Emilio Segre - Enriko Fermining yordamchisi, italyan fizigi),

neptuniy (AQSH, 1939-yil, Edvin Makmillan va Filipp Abelson), plutoniy (AQSH, 1940-yil, Glenn Siborg va yordamchilari), prometi (1945-yil) va boshqa sun'iy elementlar kashf qilindi. 1939-yilning yanvarida uran yadrolarini neytronlar bilan bombardimon qilish orqali ulardan ulkan miqdordagi energiya hamda va 2-3 ta neytron ajratib chiqarish bilan ikkita «yarimta»ga ajratish mumkinligi to'g'risidagi xabar butun fizika olamini larzaga keltirdi (Liza Meytner, Otto Frish, Otto Xan, Frits Shtrassman).

Bu esa portlash ko'rinishiga ega bo'lgan zanjirli yadro reaksiyasini amalga oshirish imkoni paydo bo'lganidan dalolat berardi. Ilk marotaba bunday yadro reaksiyasi to'g'risidagi mulohaza 1934-yildan boshlab Buyuk Britaniyada ishlagan, 1937-yilda esa AQSHga ko'chib o'tgan venger fizigi Leo Ssillard (1898-1964) xayoliga keldi.



1.5-rasm. Enriko Fermi (1901-1954).



1.6-rasm. Albert Eynshteyn (1879-1955).

Ssillard «atom bombasining» vayronkor kuchini yaqqol tasavvur qilar hamda Gitler unga birinchi bo'lib ega chiqishidan hayiqqan edi. Aynan Ssillardning harakatlari bilan 1940-yildan boshlab AQSH olimlari har qanday axborot Germaniyaga ma'lum bo'lishining oldini olish maqsadida o'z tadqiqotlari natijalarini ko'ngilli ravishda kodlab, yashirish yo'liga o'tdilar. Nihoyat, aynan Ssillard va uning hamkasblari (u kabi venger qochoqlari Yudjin Vigner (1902 - 1955) va Edvard Teller (1908 - 1999) natsistlar Germaniyasidan AQSHga ko'chib ulgurgan Albert Eynshteynga (1.6-rasm) AQSH prezidentiga xat yozishini so'rab murojaat qildilar. Eynshteynning 1939-yilning 2-avgustida Amerika prezidenti Franklin Delano Ruzveltga yozgan xatida atom bombasining imkoniyatlari haqida xulosa bitilgan bo'lib, uni zudlik bilan yaratish zarurati to'g'risida aytilgan edi. Bu xat o'ta salohiyatli olimlardan tashkil topgan qudratli tadqiqotchilar guruhi tashkil etilishiga sabab bo'ldi. Atom bombasining tarixi ana shu vaqtdan boshlandi, deb aytilish mumkin. 1940-yili rus fizigi Georgiy Nikolayevich Flyorov (1913-1997) va uning hamkasbi Konstantin Antonovich Petrjak (1907-1998) – ikkovi ham I. V. Kurchatovning shogirdlari edi – uran yadrolarining betartib bo'linishini aniqladilar. Bu kashfiyot yadroviy portlash keltirib chiqarish uchun zarur bo'lgan uranning kritik massasini aniqlash imkonini berdi. Biroq daniyalik fizik Nils Bor (1885-1962) faqat uran-235 izotopi bo'linishga qodirligini ko'rsatib, uran-238 yadrolari esa “sust” neytronlarni bo'linishsiz “yutib yuborishini” hamda o'zidan beta-zarrachalar chiqarishini ko'rsatib berdi. Demak, uran izotoplarini ajratish (parchalash), aniqrog'i – uran yadrolarining tabiiy aralashmasini uran-235 izotopi bo'yicha maksimal darajada boyitish talab etilardi.

Albatta, yadroviy zaryadni yaratishdan avval olimlar yadroviy reaksiya mexanizmini sinchiklab o'rganib chiqishlari talab etilardi. Ana shu maqsadda 1942-yil oxirida Chikago universitetining futbol stadioni tribunallari ostida Enriko Fermi (Mussolinining fashist rejimini qo'llab-quvvatlashni istamay, 1938-yilda AQSHga ko'chib o'tgan) ishtirokida dunyodagi birinchi, boyitilmagan metall uran bloklari bilan birga grafit bloklaridan iborat bo'lgan yadroviy

reaktor qurildi. 1942-yilning 2 dekabrda soat 3.45 da uranning bo'linishi o'z-o'zicha ro'y beradigan (chekkan ta'sirsiz) ko'rinish oldi. Artur Kompton (yadroviy qurol yaratish bo'yicha Manxetten loyihasining rahbarlaridan biri) shu zahoti oddiy liniya bo'yicha Oq uyg qo'ng'iroq qilib: «Italiyalik uchuvchi Yangi Dunyoga kelib qo'ndi» deb ma'lum qildi, «Bu hodisaga mahalliy aholi qanday munosabat bildirdi?» degan savolga: «O'ta do'stona» deb javob berdi. Reaktor quvvati (u paytda uni «atom uyumi» deb atardilar) 40 Vt – ya'ni yonib turgan gugurt cho'pi quvvatiga teng bo'lgan. 28 daqiqadan so'ng unda boshlangan yadroviy reaksiya reaktorga kadmiy tasmlari kiritish yo'li bilan so'ndirildi.

Boyitilgan uran olish bo'yicha tajribalar ham muvaffaqiyatli tugallandi. 1945-yilning 16-iyulida Alamogordo shaharchasi (Nyu-Meksiko shtati) yaqinidagi sahroda joylashgan poligonda tarixdagi dastlabki yadroviy portlash amalga oshirildi.

Bu vaqtga kelib, natsistlar Germaniyasi yengilgan, biroq Yaponiyadagi harbiy harakatlar hali davom etayotgan edi. 1945-yilning 6-avgustida soat 8.15, ogohlantirishdan so'ng, 21 kilotonna quvvatli atom bombasi Yaponiyaning Xirosima shahri ustida, 1945-yilning 9-avgustida esa – Nagasaki ustida portlatildi. 180 mingdan ortiq odam halok bo'ldi. Keyingi o'n yilliklar davomida 2408 ta portlash amalga oshirildi (541 ta atmosferada va 1867 ta yer ostida, eng ko'p sinov - 176 ta – 1961-yilda o'tkazildi).

1940-yillar boshidan L.P. Beriya va Igor Vasilyevich Kurchatov (12.01.1903-7.02.1960) rahbarligida atom quroli yaratish g'oyasi ustida sovet olimlari ham ish olib bordilar. Ana shu davrda sovet atom sanoati: uran qazib olish va uni boyitish, shuningdek nurlantirilgan uranni qayta ishlashga ixtisoslashgan korxonalar tiklanib, ishga tushirildi. Atom bombasini yaratish jarayonidagi sovet razvedkachilarining tutgan o'rni haqida ham ancha narsa ma'lum. Nima bo'lganda ham, 1949-yilning 29-avgustida Semipalatinsk poligonida sovet olimlari dastlabki atom bombasini portlatdilar (amerikaliklar ruslar uni faqat 1954-yilda yarata oladilar deb taxmin qilgan edilar). Ular ortidan inglizlar (1952-yil), fransuzlar va xitoyliklar (1964-yil), Hindiston (1974-yil), Pokiston (1998) va ehtimol, KXDR (2006) bordi. Shunga

bog'liq holda I. V. Kurchatovning (1.7-rasm), sinovdan qaytgani-
dan so'ng o'z hamkasbi Anatoliy Petrovich Aleksandrovga
(13.02.1903-3.02.1994) aytgan so'zlarini eslatib o'tish joiz: «Ana-
tolius! O'ta dahshatli manzara bo'ldi! Bu qurolni qo'llashlariga aslo
yo'l qo'yib bo'lmaydi» (1.8-rasm).

XX asr oxirida yadro quroliga ega bo'lgan eng yirik davlatlar
yadroviy sinovlar o'tkazilishiga to'liq taqiq e'lon qildilar.

Birinchi sovet yadroviy reaktori SSSR FA (Moskva sh.) № 2
laboratoriyasida 1946-yilning 25-dekabrida soat 19 da I.V. Kur-
chatov rahbarligida ishga tushirildi. 1948-yilning 15-dekabrida esa
Parij yaqinida er-xotin Kyurilar boshchiligidagi dastlabki fransuz
yadroviy reaktori ishlay boshladi.



1.7-rasm. Igor Vasilyevich Kurchatov (1903-1960).



1.8-rasm. Birinchi sovet atom bombasi RDS-1 maketi.

Biroz vaqt o'tib, yadro energiyasidan suv osti va suv usti floti kemalarida foydalanish g'oyasi paydo bo'ldi. Suv osti kemasiga yadroviy reaktor o'rnatilishi suv ostida qo'shimcha zaryad olmagan holda minglab dengiz mil masofa bosib o'tish imkonini beradi. Bu narsa avvallari faqat ilmiy-fantastik romanlardagina mumkin bo'lgan.

1954-yili AQSHda dunyoda birinchi atom suv osti kemasi «Nautilus»ni suvga tushirdilar (Jyul Vernning mashhur «Suv ostida 20000 lye» romani yodingizda bo'lsa kerak). 1957-yilda dastlabki sovet atom suv osti kemasi - «Leninskiy komsomol» foydalanishga topshirilib, uning sinovlari 1958-yilda boshlandi (1.9-rasm). 1959-yili SSSR va AQSHda yadro dvigatelli suv usti kemalari suvga tushirildi («Lenin» atom muzyorar kemasi (1.10-rasm) va «Savanna» yuk tashuvchi kemasi).



1.9-rasm. K-3 «Leninskiy komsomol» atom suv osti kemasi.



1.10-rasm. «Lenin» atom muzyorar kemasi.

1954-yilda Sovet Ittifoqida dunyodagi birinchi atom elektrostansiyasi (AES) ishga tushirilgan bo'lib, uning yaratilish tarixi to'g'risida biz batafsil to'xtalib o'tamiz. Gap shundaki, portlash ko'rinishidagi zanjirli reaksiyani ishga tushirib yuboradigan atom bombasini ishlab chiqish jarayonida fundamental va amaliy tadqiqotlar amalga oshirilgan hamda yadro energetikasi uchun materiallar ishlab chiqarishga qodir bo'lgan sanoat uchun fundament tayyorlandi. Misol uchun, 1944-yili AQSHda birinchi gaz-diffuziya zavodlari qurildi (masalan, K-25 zavodi, unda 1945-yilning mart oyida tarixda ilk marotaba boyitilgan uran partiyasi

olingan edi); 1949-yilda esa Angliyada gaz-diffuziya boyitish zavodi qurilishi boshlandi (o'z atom bombasini yaratish maqsadida).

Eng birinchi AESning ishga tushirilish vaqtiga kelib, dunyoda bir necha yadro reaktori qurilib ishga tushirildi. Ularni ishlatishning asosiy maqsadi yadro bombasini yaratish uchun plutoniy ishlab chiqarishdan iborat edi. Reaktorning ish jarayonida ajralib chiqadigan issiqlik shunchaki suv havzalariga chiqarib yuborilgan. Keyinroq bu issiqlikdan boshqa maqsadlar uchun foydalanish g'oyasi paydo bo'ldi.

1940-yillarning ikkinchi yarmida, yadro qurolini yaratish ishlari tugallanib ulgurmay, sovet olimlari yadro energiyasidan tinchlik maqsadlarida foydalanishga qaratilgan dastlabki loyihalar ustida ish boshlab yubordilar. Elektroenergetika bu faoliyatning bosh yo'nalishiga aylandi. Xorijda, shu bilan birga sovet olimlari orasida ham AES yaratish g'oyasiga, uning amaliy ahamiyatga ega bo'lishiga ishonmaganlar anchagina ekanligiga qaramay, I.V. Kurchatov taklifiga binoan (hamda partiya va hukumatning vazifasiga muvofiq) bu yo'nalishdagi dastlabki ishlar 1948-yilda boshlab yuborildi.

Olimlar oldida nisbatan yirikroq sanoat AES lari yaratish bilan bog'liq ilmiy-texnik muammoni hal qilish maqsadida mo'jaz tajriba-sanoat stansiyasini loyihalashtirish va qurish vazifasi qo'yildi. Birinchi navbatda, ana shu stansiya uchun reaktor tipi va uning quvvatini tanlab olish zarur edi. Reaktorsozlikning deyarli barcha yo'nalishlari bo'yicha izlanish ishlari va tadqiqotlar amalga oshirilgan, texnik yechimlar muayyan majmui ishlab chiqilib, ixtisoslashtirilgan sanoat tarmoqlari yaratilgan 1940-yillarda sovet mutaxassislari orttirgan tajriba tufayli bu maqsadni ro'yobga chiqarish imkoni paydo bo'ldi.

1948-yildan boshlab qator ilmiy tadqiqot jamoalar - «raqamli laboratoriyalarda» – bir necha energetika reaktorlarining loyihalari muhokama qilinib, ishlab chiqildi va ular orasida ikkitasi asosiy edi: «Sharik» (10 megavatt) va «Tinch atom (Atom mirniy)» - «AM» (5 megavatt). 1949-yilning oxiriga kelib «AM» reaktori, Kurchatov institutida ana shu kabi tizimlarni ishlab chiqish bo'yicha yig'ilgan ish tajribasidan kelib chiqqan holda, yaqqol

ustunlikka ega ekanligi bilinib qoldi. Bugungi kunda bu laboratoriyalar dunyoga tanilgan va RIM «Kurchatov instituti», «Fizika-energetika instituti» hisoblanadi. 1954-yilning 5-mayida AES reaktorida fizik tajriba va o'lovlar boshlandi. 9-mayda reaktor muvaffaqiyatli tarzda ishga tushirildi va bu stansiyaning energetika qurilmalarini ishlatishga tayyorgarlik ko'rish imkonini yaratdi. 1954-yilning iyunida AESni ishga tushirish va uni ekspluatatsiyaga qabul qilish bo'yicha Davlat komissiyasi tuzilib, u atom elektr stansiyasining ekspluatatsiyaga tayyorligi to'g'risida xulosa chiqardi. «Komissiya tarkibi taxminan 10 kishidan iborat edi, - yozgan edi uning a'zolaridan biri akademik A. P. Aleksandrov – Bizga I. V. Kurchatov rahbarlik qilardi. Ikki oy atrofida mutaxassislar stansiyaning bevosita ishga tushirishga tayyorgarlik ko'rdilar. Taniqli olimlar va yoshgina muhandislar yelkama-yelka ishlab, barcha uzellar ishonchligini ko'p marta tekshirardilar. Kurchatov barcha ikir-chikirlarga ham aralashib, barcha ishchi tizimlar aniq muhandislik hisob-kitoblari bilan himoyalangan bo'lishini talab qilardi». Nihoyat, 1954-yilning 26- iyunida turbogeneratorga bug' uzatadigan to'siq ochilib, u yadro reaktoridan elektr energiyasini ishlab chiqara boshladi.

Navbatchi ilmiy rahbarlar smenalar bo'yicha o'tkazilgan eksperimentlarning borishini qayd etib boradigan ishchi operativ jurnalida shu kuni Fizika-energetika instituti direktori D. I. Bloxinsev qo'li bilan bitilgan qayd paydo bo'ldi: «17 soat 45 daqiqa. Bug' turbinaga uzatildi».

Birinchi AES sanoat yuklamasi bilan ishlay boshladi. Elektrogenerator quvvati 1500 kVt ga yetdi. Dunyodagi birinchi AES ana shu tarzda ishga tushirildi.

1954-yilning 30-iyunida TASS agentligi SSSRda yadro energiyasida ishlaydigan eng birinchi sanoat elektrostansiya ishlay boshlaganidan xabar berdi. Stansiya loyiha quvvatiga chiqishi uchun 4 oy kerak bo'ldi – bu ko'rsatkichga 25-oktabr kuni erishilib, u avvaldan rejalashtirilgan 5000 kVt ni tashkil qildi. Bu og'ir va to'xtovsiz mehnat davri bo'lib, atom stansiyasi ishlashi sinchiklab o'rganildi, uning ayrim qismlar va tizimlarga zarur

takomillashtirishlar kiritilib, undan qay tarzda foydalanish o'zlashtirildi.

1951-yilning dekabrda AQSHda EBR-1 mo'jaz eksperimental tezkor reaktori ishga tushirildi. 1953-yilning avgust oyida Kolder-Xoll shahrida (Angliya) sanoat-energetika reaktori qurilishi boshlanib, u 1956-yilning 27-avgustida elektr energiyasini bera boshladi.

Dunyodagi birinchi AES bilan bor-yo'g'i to'rt yarim yil ichida yaratilib, ishga tushirildi va u sovet ilm-fani, texnikasi va sanoati erishgan yuksak natijalar, yutuqlar isboti bo'lib xizmat qildi. Yadro energetikasi sohasi muvaffaqiyatlarini sanoat va fanning boshqa tarmoqlari (mashinasozlik, rangli va qora metallurgiya, elektronika, asbobsozlik, issiqlik energetikasi, geologiya, tog' ishi, fizika, kimyo, matematika va sh.k.) yutuqlarisiz tasavvur qilib bo'lmaydi va ular ushbu o'ta noyob qurilmaning yaratilishini nazariy va texnik jihatdan ham bevosita, ham bilvosita tayyorlab berdilar.

Obninsk AESi energetika tarixida yangi asr – yadroviy energetika asrini ochib, insoniyat yanada taraqqiy etishi uchun zarur bo'lgan energiya ta'minoti va energiya resurslari sohasida ilmiy-texnik inqilob sodir etilishiga olib keldi.

«Yillar o'tib, - deb yozgan edi Obninsk AES ning esdaliklar kitobida akademik N.A. Dollejal, – bo'lg'usi avlod kishilariga birinchi AES xuddi hozirda Polzunov mashinasi yoki Mojayskiy samolyoti kabi zamonadan ortda qolgan bo'lib ko'rinadi, ammo insoniyat uchun ular umrbod ilm-fan va texnika yodgorligi, ijodiy tafakkur g'alabasi ramzi bo'lib qoladilar».

2002-yilning 29-aprelida dunyodagi dastlabki AES reaktori deyarli 48 yil davomida muvaffaqiyatli ishlaganidan so'ng to'xtatib qo'yildi. Stansiya ishini to'xtatish faqat iqtisodiy nuqtayi nazardan kelib chiqib amalga oshirildi, chunki uni xavfsiz holda saqlash yildan-yilga tobora qiyinlashib hamda qimmatlashib borayotgan edi. Hozirda Obninsk AESi asosida (1.11-rasm) yadroviy energetika muzeyi faoliyat yuritmoqda. Dastlabki AES ishga tushganidan so'ng butun dunyoda yadroviy energetika jadal taraqqiy eta boshladi. Bu yo'nalishdagi yutuqlar shu ko'lamga borib yetdiki, atom energiyasidan tinchlik yo'lida foydalanish

sohasidagi faoliyatni muvofiqlashtirish uchun maxsus tashkilot yaratish kerak bo'ldi.

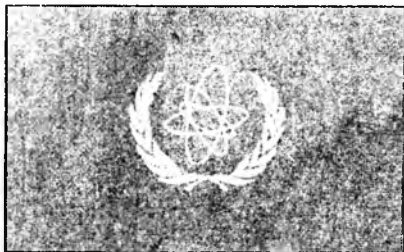
1957-yilda Atom energiyasi bo'yicha xalqaro agentlik (MAGATE, IAEA, 1.12-rasm) yaratilib, uning asosiy vazifasi sifatida barcha mamlakatlarda yadro va radiatsion xavfsizlik ta'minlanishiga ko'maklashish, yadro qurolining tarqalishiga yo'l qo'ymaslik hamda insoniyat ehtiyojlarini qondirish maqsadida yadroviy texnologiyalarni rivojlantirish belgilandi.

Bu o'ta nufuzli tashkilot bo'lib, hozirgi paytda tarkibida 146 ta a'zo-mamlakat bor. 2005-yilda MAGATE va uning Bosh direktori Muhammad al-Baradai (1.13-rasm) yadroviy energiyadan tinchlik maqsadlarida foydalanish sohasidagi faoliyati uchun Nobel mukofoti bilan taqdirlandi. M. al-Baradai 1997-yildan 2009-yilga qadar MAGATE Bosh direktori vazifasini bajarib kelgan bo'lsa, 2009-yilning 1-dekabrida esa bu lavozimni Yaponiya vakili Yukio Amano egalladi.

Shubhasiz, uning zimmasida juda mashaqqatli vazifa yotibdi, chunki dunyoning ko'plab davlatlari yadro quroliga ega bo'lishni istaydilar (ba'zan bu niyat pinhona, yashirin bo'lsa ham). Agentlik, o'z navbatida, butun dunyodagi xavfsizlik manfaatlarini ko'zlagan holda yadro qurolining tarqalib ketmasligini ta'minlashi kerak.



1.11-rasm. Dunyodagi eng birinchi AES (Obninsk).



1.12-rasm. MAGATE bayrog'i.



1.13-rasm. Muhammad al-Baradai.

Kitobimizda xorijiy yadro energetikasining 1960-yildan keyingi taraqqiyotining batafsil tartibini keltirib o'tishning foydasi yo'q, chunki shu paytdan boshlab har yili jahonda yangi va yangi quvvatlar ishga tushirildi. Yadroviy energetika geografik jihatdan, milliy loyihalar hamda texnik jihatdan yaxshiroq taraqqiy etgan mamlakatlardan import qilish hisobiga, kengayib bordi. Yadroviy energetikani jadal rivojlantirish uchun mo'ljallangan dastlabki dasturlar 50-60-yillardayoq AQSH, Buyuk Britaniya, SSSR, Fransiya keyinroq esa Germaniya, Yaponiyada ishlab chiqildi. Biroq turli sabablarga ko'ra, ularning ayrimlari amalga oshmay qoldi.

2-bob. YADROVIY YOQILG'I SIKLI

An'anaviy issiqlik stansiyalari ishlashi uchun yoqilg'i (gaz, ko'mir, mazut, torf va b.) zarur bo'ladi. Atom elektrostansiyalarida ham maxsus yoqilg'i – uran ishlatiladi. Biroq uranda energiya «jamlangan, konsentratsiyalangan» holda bo'ladi, sodda qilib aytganda, u o'ta energiya sig'imli material hisoblanadi. Masalan, to'liq yonish paytida 1 kilogramm uranning bo'linayotgan izotop (235U) bo'yicha boyishi bilan to'liq yonib tugashida 100 tonna ko'mir, 60 tonna mazut yoki 75 ming kubometr gaz yoqilishiga teng ekvivalent energiya ajralib chiqadi. 2015-yilda butun dunyo bo'yicha tabiiy (boyitilmagan) uran iste'moli bor-yo'g'i 65,4 ming tonnani tashkil qilib, biroq shu bilan birga yadro energetikasi dunyoda ishlab chiqarilgan elektr energiyasining 15% ta'minlab berdi. Ko'mirda ishlaydigan elektroenergetikasi ulushi bundan kattaroq bo'ldi - 41%, ammo bu miqdordagi elektr energiyasini ishlab chiqarish uchun taxminan 5 milliard tonna ko'mir sarflandi. Shunday qilib, jahonda ishlab chiqarilayotgan elektr energiyasining 1% ta'minlash uchun 4360 tonna boyitilmagan uran yoki 122000000 tonna ko'mir talab etiladi. Agar energiya tashuvchilarni qazib olish va ularni tashish masalalari ko'rib chiqiladigan bo'lsa, kam yoqilg'i sarf qilishi - yadro energetikasining, raqobat nuqtayi nazaridan, ustun jihati bo'lib hisoblanadi. Zamonaviy AESlarda asosan ajraladigan izotop (235U) bo'yicha boyitiladigan uran dioksidi UO_2 ishlatiladi. Yadro yoqilg'isini ishlab chiqarish maqsadida yadro yoqilg'i sikli (YAYOTS) deb nom olgan korxonalar majmui yaratilgan. U uranli rudani qazib olish va uni qayta ishlash, uranni turli aralashmalardan tozalash, uranni izotoplar bilan boyitish, yadro yoqilg'isini ishlab chiqarish, undan elektr energiya ishlab chiqarish uchun foydalanish va ishlatilgan yadroviy yoqilg'ini qayta ishlash uchun mo'ljallangan ishlab chiqarish quvvatlarini o'z ichiga oladi.

Ushbu bobda biz yadro yoqilg'i siklining asosiy bosqichlarini qisqacha ko'rib chiqamiz. Uran - Mendeleyev Davriy elementlar tizimining 92-elementi, aktinoidlar oilasi (turkumi)ga kiradi, atom massasi 238,029 va zichligi 19 g/sm^3 bo'lgan metall (1 litr metall uran massasi 19 kg!). Uran atomining radiusi 0,14 nm ni tashkil etadi. Tabiiy uranning izotoplari tarkibi: ^{238}U (period poluraspada $T_{1/2} = 4,5$ mlrd. let) - 99,27%, ^{235}U ($T_{1/2} = 0,7$ mlrd. yil) - 0,72% i ^{234}U ($T_{1/2} = 0,25$ mln. let) - 0,0057%. Qadim zamonlardayoq (miloddan avvalgi I asr) uranning tabiiy oksidlari keramika maqsadlarida sirlash uchun sariq rang modda tayyorlashda ishlatilgan. 1789-yilda nemis fizigi va kimyogari Martin Genrix Klaprot rudadan qora metallsimon moddani ajratib chiqardi va uni kashf etilgan yangi element hisoblab, o'sha paytda ma'lum bo'lgan sayyoralaridan eng uzoqda joylashganining nomi bilan uran deb atadi. Ana shu xulosaning noto'g'riligi faqat 1841-yilga kelib ma'lum bo'ldi. Shunda fransuz kimyogari Ejen Melikyor Peligo olim Klaprot tomonidan ajratilgan modda uran oksidi UO_2 ekanligini ko'rsatib berdi. Peligo metall uranning o'zini ham olishga muvaffaq bo'lib, uni Dmitriy Ivanovich Mendeleyev elementlar jadvalining eng chekka katagiga joylashtirdi. Haqiqatan ham, elementlarning Davriy jadvalida urandan keyin joylashgan birona element ham Yerd ahamiyatli miqdorda uchramaydi. Uran – tabiatdagi mavjud so'nggi radioaktiv element. XIX asr oxiriga qadar urandan faqat Bogemiyada (Chexiyaning qadimgi nomi), mashhur bogem shishasini ishlab chiqarish uchun, foydalanar edilar: shishaga chiroyli tutunsimon rang berish maqsadida uning tarkibiga uran tuzlari qo'shilar edi.

1896-yili fransuz fizigi Antuan Anri Bekkerel uran nurlarini kashf etgan bo'lsa, biroz vaqtdan so'ng Mariya Sklodovskaya-Kyuri bu hodisaga radioaktivlik deb nom berdi va nurlarni aynan uran atomi chiqarayotganini ko'rsatdi.

1939-yilda nemis fiziklari Otto Frish va Liza Meytner uran yadrolari neytronlar ta'sirida bo'linishini aniqlab, bu jarayon ulkan miqdordagi energiya ajralib chiqishi bilan zanjirli reaksiya shaklida kechishi mumkinligini ko'rsatib berishdi. Ana shu vaqtdan boshlab, uran eng muhim sanoat metallaridan biriga aylandi.

Uran tabiatda juda keng tarqalgan. Qalinligi 20 km li litosferadagi uranning umumiy miqdori 1,31014 tonnaga teng deb baholanadi. Uning yer qobig'idagi tarkibi esa – 0,003%. Uranning tabiatdagi asosiy shakli – kislorod bilan aralashma (oksidlar va tuzlar) ko'rinishida bo'lib, bunda rudalar tarkibida uran bilan birga: molibden, vanadiy, qo'rg'oshin kabi yerda kam uchraydigan elementlar, ba'zan, hatto qimmatbaho metallar ham uchraydi. Qator hollarda, ularni uranli rudalar tarkibidan ajratib olish iqtisodiy jihatdan maqsadga muvofiq bo'lib, ular uran bilan birga chiqarib olinadi. Rudalar tarkibidagi mavjud eng muhim uranli minerallardan uraninit (uran va toriy oksidlari aralashmasi), nasturan (uran oksidlari), karnotit ($K_2(UO_2)_2(VO_4)_2 \cdot 3H_2O$) va koffinit (uran silikatlari) kabilarni ko'rsatish mumkin. Tabiatda uran turli rudalar tarkibida uchraydi. Ruda tarkibiga asos – ya'ni asosiy jins va tarkibida uran bo'lgan mineral kiradi.

Ja'mi, taxminan, 300 ga yaqin uranli va tarkibida uran bo'lgan minerallar ma'lum bo'lib, biroq ularning ozroq qismi (taxminan 15 tasi) sanoat maqsadida ishlov berishning asosini tashkil etadi (2.1-rasm).

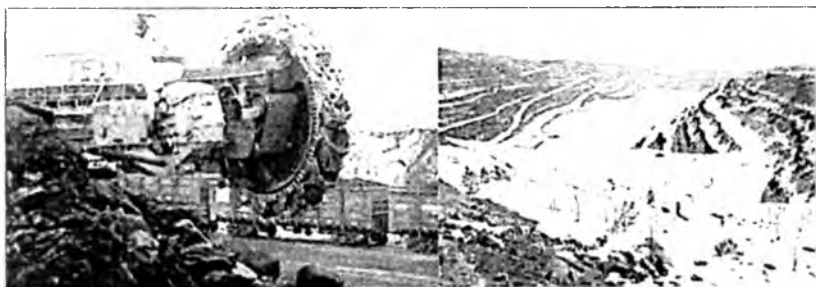


2.1-rasm. Uranli minerallar.

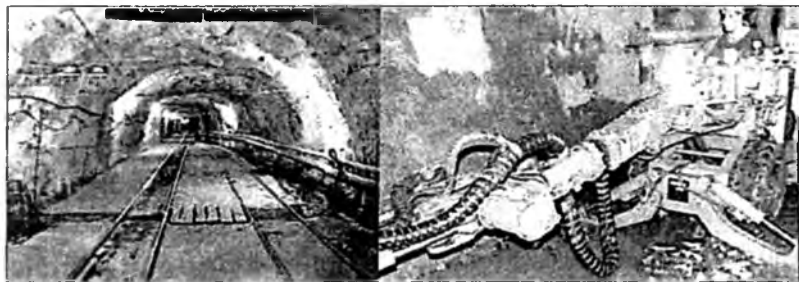
Uranli konlar rudalarini mineral tipiga, undagi uran miqdoriga va uni uranli jinsning kimyoviy tarkibiga ko'ra farqlaydilar. Masalan, rudalarning quyidagi sanoat navlarini farqlaydilar: boy (uran miqdori 1% dan ko'p bo'lgan), oddiy (0,1-1%), kambag'al (0,03-0,1%) va o'ta nochor (0,03% dan kam). O'zida uran bo'lgan

jins tarkibiga ko'ra rudalar silikatli (qum), karbonatli, uglerodli (kaust-bolitli), sulfidli, fosfatli va temir-oksidli turlarga bo'linadi. Uranli jinslarning kimyoviy tarkibi rudaga ishlov berish va undan uranni chiqarib olish texnologiyasini belgilab beradi.

Uranli rudalar ham karyer (2.2-rasm), ham shaxta usulida ham qazib olinadi (2.3-rasm). Qazib olinish usuli rudaning joylashish chuqurligiga bog'liq bo'lib, u 50 m dan 2 km oraliqda bo'lishi mumkin. Yer yuzasiga yaqin joylashgan konlarga ochiq (karyer) usulida ishlov beriladi. Afsuski, ulardagi uran tugashi sababli bunday konlar somi tobora kamayib bormoqda. 2006-yili dunyo bo'yicha barcha uranning taxminan 40% karyer usulida qazib olinadigan konlardan olingan bo'lsa, 2017-yilda bu ko'rsatkich 19% ga tushgan.



2.2-rasm. Rudani karyer usulida qazib olish.



2.3-rasm. Rudani shaxta usulida qazib olish.

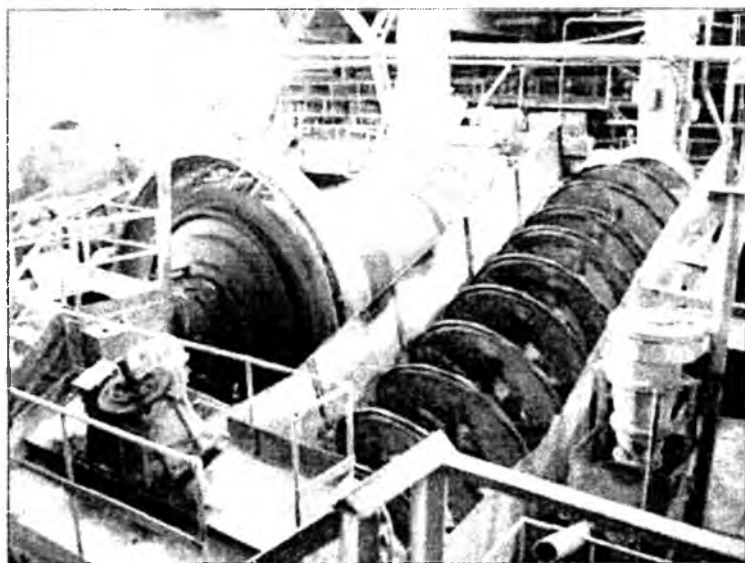
Yer yuzasiga nisbatan chuqur joylashgan rudalar shaxta usulida qazib olinadi (2015-yildagi jahon bo'ylab barcha uranning 36%). Biroq bu har ikkala usul ham atrof-muhitga zarar yetkazadi: bu maqsad uchun ulkan hududlar ajratilib, yerdan qazib chiqarilgan jins, tuproqning juda katta uyumlari hosil qilinadi.

Yuqoridagi sabablar tufayli quduq usulida 1967-yildan boshlab yer ostida uranni ishqor yordamida ajratib olish (eritish) faol qo'llanib keladi (dunyo bo'ylab ishlab chiqarilgan uranning 15% qismi). Bu usul ayniqsa AQSH, Qozog'iston va O'zbekistonda ko'proq tarqalgan. Uranli rudalarni yer ostida ishqor yordamida ajratib olish ilg'or texnologiyalardan hisoblanib, bunda jins qatlamiga haydab kiritiladigan maxsus kimyoviy reagent uranning tabiiy qorishmalarini rudaning o'zida topib, uni eritadi.

Bu reagent havodagi kislorod bilan to'yintirilgan olingugurt kislotasi H_2SO_4 suvli aralashmasi, shuningdek havo kislorodiga ega bo'lgan ammoniy bikarbonati NH_4HCO_3 yoki natriy bikarbonati $NaHCO_3$ bo'lishi mumkin. Umumiy holda ishqorlaydigan aralashma iqtisodiy hisob-kitoblar asosida amalga oshirilib, tarkibida uran bo'lgan jins tarkibi va uran minerali tipiga bog'liq bo'ladi. Ishqorlovchi aralashma, rudali jins orqali o'tib, uran birikmalari va u bilan birga kelgan metallarni eritib yuboradi, va shundan so'ng u rudali jins chekka qismida joylashgan quduq (skvajina)lar orqali yer ustiga haydab chiqariladi. Bitta ana shunday haydash qudug'iga 2-3ta tortib chiqaruvchi skvajina (quduq) to'g'ri keladi. Oqibatda yer yuzasiga uran aralashmasi va u bilan birga keladigan moddalar chiqarib olinadi. Karyer va shaxta usulida ishlov berishda chiqishda asosdan (ichida uran bo'lgan yoki bo'sh jins) va ozroq miqdordagi uran mineralidan iborat bo'lgan ruda bo'laklari olinadi. Rudani qo'shimcha tarzda maydalab (2.4-rasm), saralaydilar. Saralash uran mineralini bo'sh jinsdan ajratib olish imkonini beradi. Bunga maydalangan rudani suvda chayqatib aralashtirish bilan erishish mumkin. Uran minerallari va uni tarkibiga olgan jins turli tezlik bilan cho'kadi va shu tarzda ularning ajralishi yuz beradi. Yana bir usul – uranning tabiiy radioaktivligi bilan bog'liq bo'lgan radiometrik usul. Oxirida burib yuboradigan pichoq o'rnatilgan konveyer bo'ylab ruda bo'laklari siljib boradi.

Radiometrik datchik uning ostidan tarkibida uran bo'lgan ruda bo'lagi o'tgan holdagina yuqori darajadagi radioaktivlikni qayd etadi. Ana shunda maxsus avtomatik tizim pichoqni buradi va ruda maxsus idishga borib tushadi. Agar qayd etilayotgan faollik (aktivlik) tabiiy fon darajasida bo'lsa, demak, datchik ostida bo'sh jins mavjud va uni pichoq chiqindi sifatida chiqarib tashlaydi. Biz shu tarzda «konsentratsiyalangan ruda»ga ega bo'lamiz.

Rudaning ba'zi turlari – sulfidli, karbonatli, uglerodli rudalar – suvini qochirish (ketkazish), organik moddalar, karbonatlarini parchalash, sulfidlarni oksidlash va shu kabi maqsadda kuydiriladi. Kuydirish ruda tarkibidagi uranning eruvchanligini oshirish, kaustobolit rudalar bilan ishlashda esa – uranni jamlash (konsentratsiyalash) imkonini beradi, chunki uranni tarkibiga olgan organik jinslar bu holda shunchaki yonib ketadi.



2.4-rasm. Uranli rudani maydalash uchun mo'ljallangan barabanlar.

Nihoyat, «konsentratsiyalangan» ruda uranni ishqorlab olish sexiga kelib tushadi. Bu amaliyot uranli minerallarni ochish deb nomlanadi. Ochishning turli usullari mavjud: kislotali, karbonatli, mikrobiologik va b. Kislotali uslub silikatli rudalarga ishlov berish uchun to'g'ri keladi. Kislotali ishqorlashda rudaga anchagina arzon oltingugurt (H_2SO_4) yoki azot (HNO_3) kislotasi, yoki ana shu kislotalar aralashmasi bilan ishlov beriladi.

Yuqori harorat, bosim va kislorod bilan "puflash" eritish jarayonini jadallashtirish imkonini beradi, ya'ni ochish jarayonini avtoklavda amalga oshirish maqsadga muvofiq. Oqibatda, uranil sulfati UO_2SO_4 va u bilan birga keladigan yo'ldosh moddalari aralashmasi olinadi. Karbonatli rudalar bilan ishlashda kislotali ochish uslubi yaramaydi, chunki bunda ko'p miqdordagi kislota karbonat bilan reaksiyaga sarflanadi. Bu holda karbonatli ochish uslubi qo'llanadi, ya'ni rudaga karbonat va natriy bikarbonati aralashmasi ($Na_2CO_3 + NaHCO_3$) bilan ishlov beriladi. Shundan so'ng uran erigan holatga – natriy uraniltrikarbonat ko'rinishiga o'tadi.

To'yinmagan rudalar uchun mikrobiologik ishqorlash usuli istiqbolli bo'lib hisoblanadi. Bakteriyalarni qo'llash rudadagi mavjud uran birikmalarining eruvchanligini oshirish imkonini beradi. Shundan so'ng baribir unga kislota bilan ishlov beriladi, biroq bu holda kislota sarfi, demak, ishlab chiqarish xarajatlari ham ancha qisqaradi (taxminan 100 barobar). Mikrobiologik uslubni qo'llashda nisbatan kambag'al rudalar bilan ishlash foydaliroq bo'ladi.

Rudani ochish yoki yer osti ishqorlash usulida olinadigan aralashma tarkibida uran va boshqa elementlar (Na, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Ni, Cu va b.) mavjud bo'ladi. Ularni urandan ajratib olish talab etiladi. Bu bosqich ionli almashinuv, ekstraktsiya yoki uranning yaxshi erimaydigan birikmalarini cho'ktirish uslublarini qo'llagan holda amalga oshiriladi. Shundan keyin uran yuqori haroratga qadar qizdirilib, bunda u sariq rangli, shu sababli "sariq kek" deb nom olgan, oksidlangan U_3O_8 holatiga o'tadi (2.5-rasm).



2.5-rasm. «Sariq kek».

Uranning oksidlangani texnik mahsulot bo'lib, reaktorning normal ishlashiga xalal berishi mumkin bo'lgan elementlardan yana tozalanadi (affinaj). Bu B, Cd, Li hamda yerda kam uchraydigan elementlar (lantanoidlar) bo'lib, ular neytronlarni juda yaxshi yutadilar va shundan kelib chiqib, ^{235}U yadrolari bo'linishi zanjirli reaksiyasini "so'ndirib", reaktorning ish samaradorligini pasaytirib yuboradilar. Ulardan tashqari, uranni uning plastikligini yomonlashtiradigan va yadro yoqilg'isining termik kengayish koeffitsiyentini ko'taradigan, bu bilan issiqlik ajratadigan yig'malar yemirilishiga va atom elektrostansiyasida radiatsiya foni ko'tarilib ketishiga sabab bo'ladigan elementlardan (yerda kam uchraydigan elementlar, W, Mo, Si, P) yaxshilab tozalanadi.

Uranni ana shu «xalal beradigan» elementlardan tozalash uchun, uranning texnik oksidlanganini azot kislotasida eritilib, bu bilan uran eruvchan - uranilnitrat $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ shaklga o'tkaziladi va ekstraksiya uslubida tozalanadi. Shundan so'ng, tozalangan aralashmalardan suvni bug'latish yordamida olti-suvli (shes-tivodniy) uranilnitrat $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ kristallashtirib, yoki vodorod peroksidi H_2O_2 yordamida uran peroksidi $\text{UO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ni cho'ktiradilar. Cho'kindilar ehtiyotkorlik bilan oksidlar (UO_3 , UO_2) yoki boshqa birikmalar hosil bo'lguniga qadar qizdiriladi.

Tabiiy uran uchta izotop aralashmasidan tashkil topadi: ^{238}U (yarim parchalanish davri $T_{1/2} = 4,5$ mlrd. yil) - 99,27%, ^{235}U ($T_{1/2} = 0,7$ mlrd. yil) - 0,72% va ^{234}U ($T_{1/2} = 0,25$ mln. yil) - 0,0057%. Bu izotoplar orasida faqat ^{235}U bo'linadigan material

bo'lib, zamonaviy yadro reaktorlarida aynan u bo'linadi. Xo'sh, ^{235}U ning bu qadar kichik miqdori o'z-o'zicha ro'y beradigan zanjirli reaksiyani amalga oshirish uchun yetarli bo'ladimi? Eslatib o'tamiz, bo'linish sekin neytronlarda amalga oshirilib, shu sababli yuqoridagi savolning javobi qo'llangan neytronlar sekinlashtirgichining samaradorligi bilan belgilanadi. Tadqiqotlar ko'rsatishicha, sekinlashtirgich sifatida og'ir suv D_2O qo'llanganida, 0,7% miqdori yetarli bo'lar ekan. Bu kabi qurilmalar Kanadada sanoat ko'lamida amalga oshirilib, (CANDU reaktorlari) tabiiy izotopli tarkibga ega bo'lgan urandan foydalanish imkonini bergan. Biroq og'ir suv olish ko'p energiya talab qiladigan va qimmatbaho jarayon bo'lgani sababli, bir litr D_2O taxminan \$600-700 ga tushadi, shuning uchun aksariyat ko'pchilik zamonaviy yadro energetika qurilmalarida kamroq samarali sekinlashtirgichlar - oddiy (yengil) suv H_2O yoki grafit ishlatiladi. Bundan kelib chiqib, reaktordagi neytronlarning umumiy oqimida «sust» neytronlar ulushi (bo'linish aynan ularda ro'y beradi) masalan, CANDUga nisbatan pastroq bo'lib, yadro ^{235}U ning ana shunday neytron bilan "uchrashish" ehtimoli ham kamayadi. Reaktordagi bo'linayotgan yadrolar hajmini (miqdorini) ko'paytirish bilan to'qnashish ehtimolini oshirish mumkin bo'ladi. Bu maqsadga erishish yo'llaridan biri izotop aralashmadagi ^{235}U ulushini 0,7% dan 3-5% gacha, hatto undan ham ko'proq ko'paytirish, ya'ni uranni bo'linayotgan izotopga ko'ra boyitishdan iborat.

Boyitishni amalga oshirish anchagina murakkab ilmiy-texnik vazifa hisoblanadi, chunki bu yerda so'z massa sonlari bir-biriga juda yaqin (235 va 238) bo'lgan og'ir izotoplarni bo'lish (ajratish) to'g'risida bormoqda. Bundan tashqari, bu maqsadlar uchun kimyoviy uslublarni qo'llab bo'lmaydi, chunki kimyoviy xossalalar yadrolar bilan emas, balki har ikkala izotopda bir xil bo'lgan elektron qobiqlar bilan belgilanadi. Bu, o'z navbatida, ^{235}U izotopi bilan bo'lgan har qanday kimyoviy birikma barcha kimyoviy reaksiyalarda o'zini mutlaq xuddi shunga o'xshash ^{238}U birikmasi kabi tutishini anglatadi.

Biroq ^{235}U va ^{238}U lar bo'linishi uchun ular yadrolari mas-salaridagi farqning o'zi yetarli ekanligi ma'lum bo'ldi. Masalan, turli massaga ega bo'lgan, bir xil zaryadlangan ionlarni magnit

maydonida ajratish mumkin. Ionlar kuchli magnit maydonida ularning massasiga proporsional radius bilan aylantiriladi va turli qabul qilgichlarga tushib, shu yerda yig'iladilar. Uslub o'ta samarali bo'lib chiqdi, ammo ko'p energiya sarflagani, narxi qimmat bo'lganligi sababli sanoat ko'lamlarida uni ro'yobga chiqarishning imkoni yo'qligi ma'lum bo'ldi. Tarixdan 1946-yilga qadar ishlatilgan, Ok-Rij shahrida (AQSH) o'rnatilgan shu tipdagi Y-12 sanoat qurilmasi ma'lum.

Navbatdagi urinishni gazlarning molekular-kinetik nazariyasi asosida amalga oshirishga harakat qilindi. Haqiqatan ham, gaz molekulari bir xil o'rtacha kinetik energiyaga ega. Shu sababli og'irroq molekular yengillariga nisbatan sekinroq harakatlanadi. Agar gaz molekulari oqimini juda ham ingichka, molekular undan faqat bittalab harakatlana oladigan darajada ingichka trubkadan yo'naltirilsa, yengilroq zarrachalar og'irlaridan o'zib ketadi. Trubkadan chiqish joyida tarkibida yengil molekulari ko'p bo'lgan gazga ega bo'lamiz.

Bu jarayonni amalga oshirish ko'plab ilmiy-texnik vazifalar bajarilishi talab qilib, ulardan asosiylari quyidagi ikkitasidir:

- bu qadar ingichka trubkani izlab topish;
- uranning gazsimon birikmasini izlash.

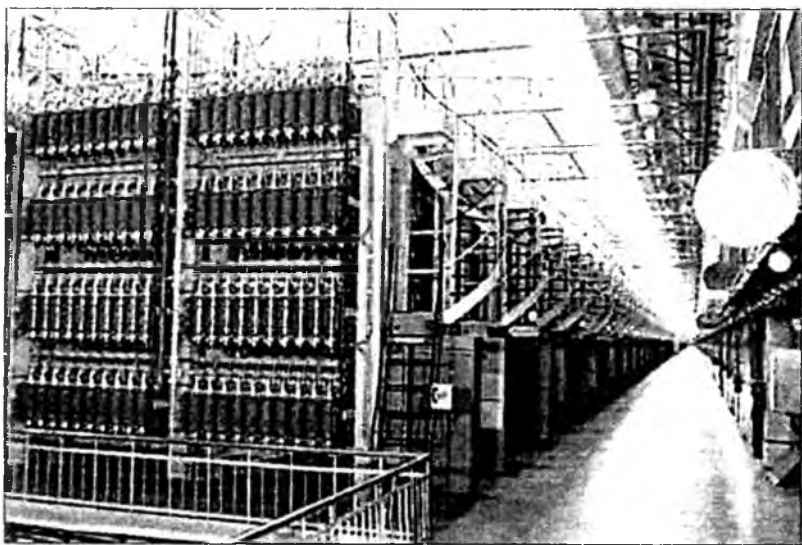
Biroq bu masala yechimi avvalroq topilganligi ma'lum bo'ldi. Gazlarni g'ovakli to'siqlardan foydalanib ajratish uslubiga (g'ovaklar ingichka trubkalar o'rnida keladi) – Gollandiyaning Eynxoven shahridagi «Fillips» lampa zavodida 1920-1925-yillarda ishlagan paytida Genrix Gersning jiyani Gustav Gers tomonidan patent olingan ekan. Uranni boyitish maqsadida ishlatiladigan to'siqlar u qadar qalin emas (taxminan 5 mm), ulardagi g'ovaklar diametri esa uran atomi diametridan bor-yo'g'i o'nlab marotaba katta, xolos. Bunday g'ovakli membranalarni ishlab chiqarish o'ta murakkab texnik vazifa bo'lib hisoblanadi. Uranning uchuvchan birikmalari - uran geksaftoridi UF_6 va geksaxloridurani UCl_6 – avvalroq ham ma'lum bo'lgan. Ammo tabiiy xlor atom massalari 35 va 37 bo'lgan ikki izotop aralashmasidan tashkil topib, uranni samarali tarzda boyitish uchun esa ajratilayotgan birikmalar massasidagi farq faqat uran atomlari bilan belgilanishi muhim

ahamiyatga ega. Shu sababli, tabiatda faqat bitta izotop - ^{19}F bilan uchraydigan fluor tanlab olindi. Shunday qilib, $^{235}\text{UF}_6$ massasi $235 + 6 \cdot 19 = 349$ a.b.m. (a.ye.m.) ga teng bo'lib, $^{238}\text{UF}_6$ esa - 352 a.b.m., ular orasidagi farq (3 a.ye.m.) faqat uran bilan belgilanadi. Gazlarning turli jismlar ichiga kirib borishi va ular orqali o'tishi jarayoni diffuziya deb ataladi. Aynan shuning uchun, uran geksaftoridining g'ovakli to'siqlar (ular yana membranalar ham deyiladi) orqali o'tish tezliklari farqiga asoslangan uranni boyitish jarayonlari gazodiffuzion boyitish jarayonlari deb nomlanadi. Bunday yirik (keng) ko'lamli ishlab chiqarishlar yadro quroliga ega bo'lgan barcha mamlakatlarda mavjud bo'lgan, ammo bugunga kelib bu kabi obyektlar faqat Fransiya va AQSHda ishlab turibdi. Gap shundaki, gazodiffuzion boyitish o'ta katta miqdordagi energiya talab qiladigan jarayon hisoblanadi. Misol tariqasida, uranni boyitish bilan shug'ullanadigan Angarsk elektroliz kimyo kombinatini (Irkutsk viloyati, Rossiya) keltirish mumkin. 1970-yillarda diffuzion texnologiya bo'yicha ishlagan kombinat sobiq Sovet Ittifoqida ishlab chiqarilgan barcha elektr energiyasining taxminan 1% qismini iste'mol qilgan. Uning uchun zarur energiyani esa Bratsk va Irkutsk GESlari yetkazib bergan. Aslini olganda, bu kombinat SSSRda elektr energiyasi eng yirik iste'molchisi bo'lgan. Bundan tashqari, gazodiffuzion ishlab chiqarish – bu qo'pol, katta joy egallaydigan uskunalar, ajratish uchun mo'ljallangan minglab va o'n mingab apparatlar, kilometrlab cho'zilgan sex korpuslari, yuzlab kilometr quvurlar demakdir. Xullas, yangicha yechim izlash vaqti kelgan edi.

Gaz bilan sentrifugalash uran izotoplarini ajratishning nisbatan samarali va kam energiya talab qiladigan usuli bo'lib chiqdi. Haqiqatan ham, agar sentrifugada $^{235}\text{UF}_6 + ^{238}\text{UF}_6$ aralashmasi katta tezlikda (bir soniyada 300-500 marta aylanish) aylantirilsa, bunda nisbatan og'ir birikma sentrifuga devoriga «qapishib», yengilrog'i esa aylanish o'qi yaqinida qoladi. O'q yaqinida joylashgan gazni navbatdagi sentrifugaga yo'llab, bu yerda $^{235}\text{UF}_6$ yengil birikmasi bo'ylab yana ham ko'proq boyitish imkoni tug'iladi. Agar ko'p sonli ana shunday sentrifugalalar o'zaro birlashtirilsa (2.6-rasmdagi kabi minglab va o'n minglab),

bo'linadigan izotop bo'yicha zarur unumdorlikka va boyitish darajasiga erishish mumkin bo'ladi.

Bugungi kunda sentrifuga yordamida ajratish uranni boyitishdagi asosiy uslub bo'lib, bu texnologiya gazodiffuzion uslubga qaraganda kamroq (o'nlab marotaba) energiya talab qiladi. Bundan tashqari, sentrifugalarga nisbatan kamroq joy egallab, bu ishlab chiqarish hajmini tezroq va osonroq ko'paytirish imkonini yaratadi. Sentrifugalash uslubi Rossiya, Buyuk Britaniya, Germaniya, Niderlandiya va Yaponiyada qo'llanadi.



2.6-rasm. Gaz sentrifugalari kaskadi
(sex uzunligi - bir kilometrga yaqin).

Rossiya uran izotoplarini ajratish uchun gazli sentrifugalarni ishlab chiqish va ishlab chiqarish sohasi bo'yicha dunyoda yetakchi mamlakat bo'lib hisoblanadi. Rossiyada ishlab chiqariladigan sentrifugalarga parallel ulangan, 20 tadan mashina bloklariga jamlanib, ular agregat deb ataladi. Agregatlar balandligi 7 qavatgacha bo'lgan stellajlarga montaj qilinadi (2.6-rasm).

Uranni boyitishning boshqa usullari: aerodinamik separatsiya, lazerli ajratish, ionli jarayon kabilar ham mavjud bo'lib, biroq ular deyarli hech qayerda qo'llanmaydi.

Boyitish maqsadida ishlab chiqarish uchun uran oksidlari yetkazib kelinib, izotoplar esa uran geksافتوريدidan foydalangan holda boyitiladi. Shu sababli, dastlab oksidlar, masalan, ularga molekular fluor bilan ishlov berilib, UF_6 holatiga o'tkaziladi. CaF_2 flyuoritga H_2SO_4 oltingugurt kislotasi bilan ishlov berilib, fluor olinadi. Reaksiya jarayonida plavik kislotasi HF hosil bo'lib, undan elektroliz uslubida (elektr toki ta'siridagi kimyoviy o'zgartirish) generatsiyalab F2 chiqariladi.

Aynan ana shu fluor UF_6 olish uchun ishlatiladi. Shundan so'ng geksافتوريد sentrifuga kaskadlari o'rnatilgan ajratish sex-lariga boyitish uchun uzatiladi. Chiqishda, bo'linayotgan izotop bo'yicha, zarur hajmda boyitilgan mahsulot olinadi. Eslatish lozimki, zamonaviy atom elektrostansiyalari ishlashi uchun, ko'pincha, tarkibida ^{235}U miqdori 3 dan 5% gacha bo'lgan uran talab etiladi.

Tayyor boyitilgan uran geksافتوريد maxsus konteynerlarga joylanib, yakuniy mahsulot – yadro yoqilg'isini ishlab chiqaradigan zavodlarga jo'natiladi. Biroq boyitilgan uran bilan birga ajratuvchi ishlab chiqarishlarda boyitilmagan uran geksافتوريد (OGFU) ham hosil bo'ladi. Uning tarkibida taxminan 0,3% ^{235}U , uran izotoplari aralashmasi tarkibida, va 99,7% ga yaqin ^{238}U ham bo'ladi. Masalan, agar uranning zarur bo'lgan boyitilish darajasi 3,5% bo'lsa, bu holda tabiiy izotop tarkibiga (0,7% ^{235}U) ega bo'lgan 8 kg UF_6 dan bor-yo'g'i 1 kg boyitilgan mahsulot va 7 kg OGFU olinadi. Ajratish (bo'linish) ishlab chiqarishlari faoliyati davomida ularning maydonlari va maxsus konteynerlarda 1,5 mln. tonnadan ortiq OGFU yig'ilib qolgan. Dunyoda bu moddaga munosabat har xil bo'lishiga qaramay, biroq OGFU to'g'risida bu – qimmatbaho strategik xomashyo degan fikr ustuvor. Haqiqatan ham, boyitilmagan UF_6 dan uran oksidlarini fluorlash yoki boshqa maqsadlarda fluor, tezkor neytronlarda ishlaydigan istiqbolli reaktorlar ishi yoki radioaktiv chiqindilarni saqlash uchun konteynerlar yaratish maqsadi uchun uran (ular OGFU asosini

tashkil qilgan ^{238}U ni qo'llash imkonini beradilar) olish mumkin. Yadro yoqilg'isini tayyorlash jarayoni boyitilgan uran geksافتoridini kimyoviy usulda uran dioksidi UO_2 ga kimyoviy aylantirishdan boshlanadi. Bu jarayonni ikki xil asosiy usul bilan amalga oshirish mumkin.

Ulardan dastlabkisi «nam» texnologiya nomini olgan bo'lib, u geksافتoridni suvda eritishdan, ishqor ta'sirida poliuranatlarni cho'ktirishdan va vodorod atmosferasida ularni qizdirishdan iborat. Ikkinchi, «quruq» texnologiya – nisbatan ma'qulroq deb topilgan: uran geksافتoridi vodorod alangasida yoqib yuboriladi. Har ikkala holda ham UO_2 kukuni olinib, u kichikroq tabletkalar (2.7-rasm) ko'rinishida presslanadi hamda pechlarda, taxminan, 1750°C haroratda ularga mustahkamlik berish maqsadida pishiriladi. Chunki tabletkalar o'ta yuqori harorat va radiatsiya sharoitlarida «ishlashi» talab etiladi. Shundan so'ng, tabletkalarga olmos asboblarda yordamida sayqallash dastgohlarida ishlov beriladi. Bu bosqich o'ta zarur bo'lib, chunki tabletkalar o'lchamlariga va uning yuzasi sifatiga aniq rioya qilinishi shart. Alohida tabletkani tayyorlashdagi xato va kamchiliklar reaktordagi yoqilg'i termik kengayishida uning shikastlanishiga va atom elektr stansiyasidagi radiatsion vaziyat yomonlashuviga olib kelishi mumkin. Shu sababli, barcha uran dioksidi tabletkalari sinchiklab nazoratdan o'tkazilib, undan so'ng maxsus boksga tushadilar. Bu yerda avtomat ularni ozroq niobiy aralashmasi qo'shilgan sirkoniydan tayyorlangan trubkalar ichiga joylaydi. Ichiga tabletkalar solingan trubka issiqlik ajratib chiqaruvchi element yoki qisqacha qilib - tvel deb nomlanadi (2.8-rasm). Shundan keyin tvel vakuumlanib, ichi inert gaz – o'ta sof geliy bilan to'ldiriladi va payvandlab berkitiladi. Yadro yoqilg'isini hosil qilish jarayonining so'nggi bosqichi – masofa saqlaydigan panjaralar yordamida tvellarni issiqlik ajratib chiqaruvchi yig'imga (TVS) yig'ish bilan bog'liq.

Shunday qilib, TVS sirkoniydan tashkil topgan, ichida yadro yoqilg'isi (boyitilgan uran dioksidi) bo'lgan tvellar «tutami»dan iborat bo'ladi. Bu kabi materiallar tanlanishiga izoh berib o'tamiz.



2.7-rasm. Yadro yoqilg'isi tabletkalari.



2.8-rasm. Tvellar (chapda) va issiqlik ajratib chiqaruvchi to'plam.

Yadro reaktorida issiqlik ajratib chiqaruvchi to'plam (TVS) yuqori harorat (300°C ga yaqin), radiatsiya sharoitlarida bo'lib, tashqi tarafidan bosim ostidagi juda issiq suv bilan yuvib turiladi. Shuning uchun yadro yoqilg'isi elementlari kimyoviy jihatdan inert, korroziyaga chidamli, radiatsiyaga bardoshli (ionlashtiruvchi nurlanish ta'sirida yemirilmaslik) bo'lishi, qiziganda juda oz kengayishi (aks holda tvel darz ketishi mumkin), shuningdek, issiqlikni yaxshi o'tkazishi shart. Uran dioksidi va sirkoniy ana shu xossalarga (shuningdek, qator boshqa foydali xossalarga bilan birga) ega. Qo'shimcha izoh tariqasida eslatib o'tish joizki, UO_2 tabletkalari tvellar ichida joylashadi va suv bilan bevosita emas, balki faqat tvel qobig'i orqali kontaktga kirishadi. Suv bilan bevosita aloqaga kirishish o'ta nomaqbul bo'lib, bu faqat sirkoniy qobiqlar yemirilganida (masalan, ularda darzlar paydo bo'lganida)

yuz beradi, xolos. Bu holda yadro yoqilg'isidagi mavjud uran parchalanishining radioaktiv hosilalari suvda eriy boshlaydi va bu uning radioaktivligi ortishiga hamda atom elektrostansiyasidagi radiatsion vaziyatning yomonlashuviga olib keladi. Xulosa sifatida, VVER-1000 reaktorlarida ishlaydigan Rossiya AESlarida ishlatiladigan issiqlik ajratib chiqaradigan yig'imlarning asosiy parametrlarini keltiramiz. Yoqilg'i tabletkasi uran dioksididan tashkil topib, uranning boyitilish darajasi 3,3-4,4%, tabletkada diametri 7,53 mm. Tabletkalar sirkoniydan tayyorlanib, ular tarkibida 1% moddiy ham bo'ladi, ular uzunligi 3840 mm va diametri 9,1 mm bo'lgan tvelga joylangan. Tvel devori qalinligi bor-yo'g'i 0,65 mm, uzunligi esa 3,8 m bo'lganligi bois, u o'ta ehtiyotkor muomala talab qiladi. Tvel tabletkalar bilan to'liq to'ldirilmagan bo'lib, tabletkalar qatlami balandligi 3530 mm (3,5 m), ularning umumiy massasi esa taxminan 1,6 kg. Issiqlik ajratib chiqaruvchi yig'ma (TVS) 306 ta tveldan iborat. TVS balandligi 4570 mm (4,6 m), uning massasi esa - 710 kg, shu bilan birga uran dioksidi massasi 490 kg, qolgani sirkoniyga to'g'ri keladi. Shakliga ko'ra, TVS - oltiburchakli bo'lib, qirralari bo'yicha o'lchami 234 mm. Reaktorga 163 ta TVS joylanib (bu 80 tonna uran dioksidiga to'g'ri keladi), bu miqdor reaktorning 4 yil ishlashiga yetadi. Chiqishdagi sifat nazoratidan so'ng issiqlik ajratib chiqaruvchi yig'imlar atom elektrostansiyalariga yo'llanadi. Ular yadroviy reaktorning aktiv zonasiga joylanib, uranli yoqilg'ida zanjirli ajralish (bo'linish) reaksiyasi boshlanadi. Buning natijasida bo'linish (ajralish) hosilalari - ^{235}U yadrosi parchalari to'plana boradi.

Bu sinkdan disproziygacha bo'lgan elementlar izotoplari, ko'pincha radioaktiv bo'ladi. Bo'linish (parchalanish) hosilalari orasida eng ma'lumlari ^{90}Sr , ^{131}I , ^{137}Cs radionuklidlari hisoblanadi.

Bundan tashqari, neytronlar ta'sirida, ^{238}U yadrosi "sust" neytronlarda bo'linish xususiyatiga ega bo'lgan ^{239}Pu ga aylanadi.

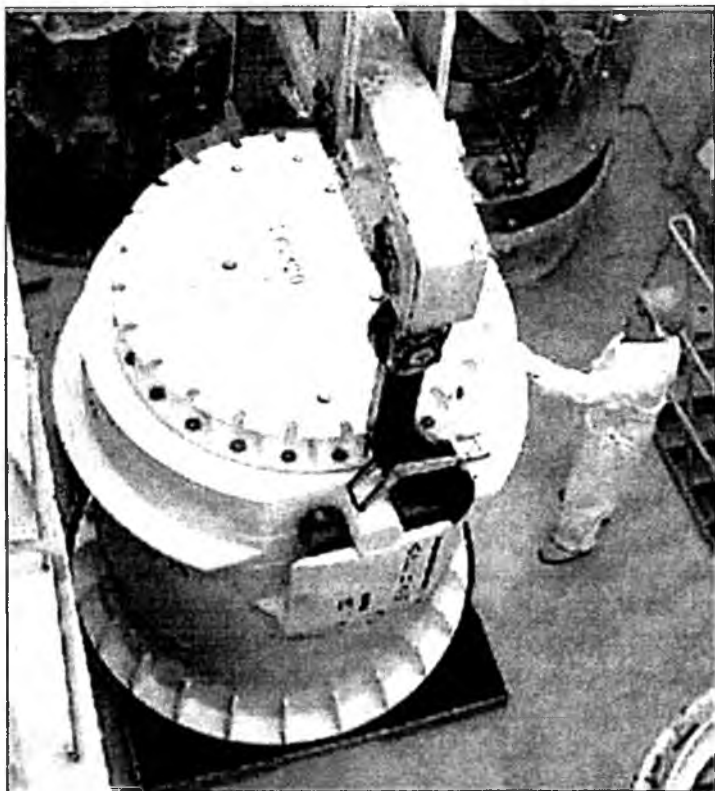
Ana shu tarzda yoqilg'ida massasining soni 238 dan 242 gacha bo'lgan plutoniyni boshqa izotoplari ham yig'ilib qoladi. Yoqilg'idagi bo'linish hosilalari va plutoniyni miqdorini quyidagi

tarzda baholash mumkin: agar uranni ^{235}U bo'yicha boyitish 5% ni tashkil qilsa (qolgani - ^{238}U), reaktorda 4-5 yil ishlaganidan so'ng, uning tarkibi o'zgaradi – taxminan 1% ^{235}U , 1% plutoniy izotoplari, 4% bo'linish hosilalari (qolgani - ^{238}U).

Shu tarzda, reaktorda «ishlab chiqqan», ya'ni neytronlarning qudratli oqimi ta'sirida nurlangan yoqilg'i o'ta radioaktiv bo'ladi. Endigina reaktordan chiqarib olingan issiqlik ajratib chiqaruvchi yig'im yuzasidagi doza quvvati taxminan 1000 Zv/soat atrofida bo'lib, bu tabiiy radiatsion fondan besh milliard marotaba yuqori demakdir. Inson bu kabi kuchli ionlovchi nurlanish manbai yonida bo'lishi mumkin emas, shu sababli, ishlatilgan yadro yoqilg'i (IYAYO-OYAT) bilan barcha operatsiyalar masofadan turib bajariladi. Shuningdek, ishlatilgan yoqilg'ining o'zidan qoldiq issiqlik ajratish kabi tavsifini ham yodda saqlash kerak. Haqiqatan ham, bo'linish hosilalari parchalanganida yuqori (yuksak) energiyali zarrachalar (α , ν) ajralib chiqadi. Ular yoqilg'i materiali (uran dioksidi) orqali o'tib, issiqlikka aylanadigan energiyasini asta-sekin yo'qotib boradilar. Agar, masalan, TVS ni suv bilan sovutish orqali bu issiqlik ketkazilmasa, u holda yoqilg'i tez orada qizib, hatto erib ketishi ham mumkin. Shu sababli, reaktordan chiqarib olingan OYAT, shu zahoti reaktor yonidagi maxsus basseynga joylanadi. Basseyn ichiga suv to'ldirilgan bo'lib, u yoqilg'ini sovutib, nurlanishni yutadi, ya'ni biologik muhofaza vazifasini ham bajaradi.

Asta-sekin qisqa yarim parchalanish davriga ega bo'lgan radionuklidlar parchalanishi tufayli (qisqa muddat yashaydigan radionuklidlar) yoqilg'i faolligi va uning issiqlik ajratib chiqarishi pasaya boshlaydi. OYAT basseynda 3-5-yil davomida saqlanganidan so'ng, yoqilg'i, nurlanishdan asraydigan qalin devorli, maxsus transport qadoqlash komplektlariga (TQK-TUK) joylashtiriladi. TUKlar (2.9-rasm) turli favqulodda ta'sirlarga (10 m dan balanddan tushish, uchli temirga tushish, yuqori harorat ta'siri, suvda cho'kish), germetikligini yo'qotmagan holda, chidash imkoniyatiga ega. Qadoqlash komplektlari o'ta ishonchli, biroq shunday bo'lsa ham, ularni temir yo'ldan tashish uchun tashish xavfsizligini qo'shimcha tarzda oshiradigan maxsus vagonlar

ishlab chiqilgan. Bu vagonlar qat'iy qo'riqlanib, sun'iy yer yo'ldoshidan kuzatib turiladi. Qadoqli OYAT joylangan temir yo'l tarkibi ular saqlanadigan yoki qayta ishlanadigan maxsus kombinatlarga jo'natiladi.



2.9-rasm. Transport qadoqlash komplekti.

Ishlatilgan yadro yoqilg'isini tashish xavfsizligi eng yuqori darajada ta'minlanadi: Rossiya temir yo'llari bo'ylab OYAT tashish bilan bog'liq 25 yillik tarixida bironta ham avariya holati yuz bermagan. Terrorchilar uchun esa bu kabi tashishlarning qizig'i yo'q: vagonni radioaktivlik tarqalib ketadigan qilib portlatishning iloji yo'q, og'irligi 80-100 tonna keladigan yoqilg'i solingan

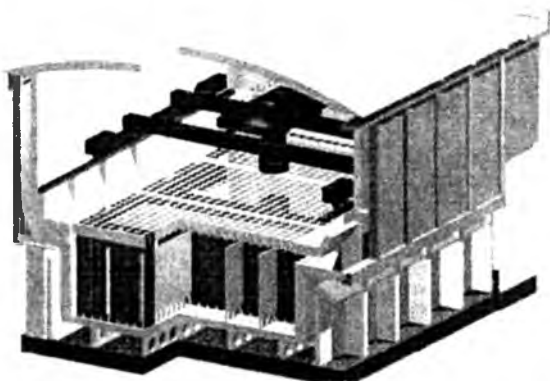
komplektni o'g'irlash to'g'risida esa gapirmasa ham bo'ladi. Bundan tashqari, yoqilg'ining o'ta radioaktivligi ularga TUKni ochish imkonini bermaydi.

OYAT oxirgi mo'ljallangan punktiga yetkazilganidan so'ng u radioaktivligi va issiqlik ajratib chiqarish darajasini pasaytirish maqsadida yana ombor – saqlash joyiga joylashtiradilar. Bu qayta ishlashga jo'natiladigan yoqilg'i bilan bajariladigan zarur ish bosqichi bo'lib, bunda radioaktivlik darajasini pasaytirish, OYATni qayta ishlashda yuqoriroq xavfsizlik darajasiga ega bo'lishni ta'minlaydi.

Ombor – ichiga suv to'ldirilib, OYAT joylashtirilgan basseyn-dan («nam» ombor) iborat bo'lishi mumkin, shu bilan birga, unda yoqilg'ini sovitish sovituvchi gazni (masalan, azot yoki havo) tabiiy sirkulatsiya qilish yordamida «quruq» usulda amalga oshiriladi. Barcha «nam» omborlar – bu atrofi zanglamaydigan po'lat bilan o'rab olingan temir-beton konstruksiyalardir. Yoqilg'i ularda yo basseyn tubida, yo metall to'siqda osilgan holda saqlanadi. Ishlatilgan yadro yoqilg'isini «quruq» usulda saqlash, uning aktivligi va issiqlik ajratib chiqarishini kamaytirish maqsadida, uni dastlab suvda saqlanishini istisno etmaydi.

«Quruq» omborlar (2.10-rasm) OYAT uchun yaxshiroq saqlanish sharoitlarini ta'minlaydi, chunki sovituvchi suv yo'qligi turli radioaktiv oqib ketishlarning oldini olib, inert gazlar (azot) yoki havo esa korroziya keltirib chiqarmay, tvellarning uzoq muddat bus-butun bo'lishini ta'minlaydi.

OYAT aktivligi va issiqlik ajratib chiqarishi maqbul darajaga qadar tushirilganidan so'ng yoqilg'ini qayta ishlashga jo'natish mumkin bo'ladi. Ishlatilgan yadro yoqilg'isi fan, tibbiyot, qishloq xo'jaligi, sanoat sohalarida qo'llanadigan butun bir qator radioaktiv izotoplar (parchalanish hosilalari) yangi yadro yoqilg'isi (235U, plutoniy izotoplari, 238U) komponentlarini olish uchun o'ta qimmatbaho ikkilamchi xomashyo bo'lib hisoblanadi. TVSGa ishlov berish maqsadida uni qismlarga kesib, tvellardagi mavjud yoqilg'i (uran dioksidi), masalan, azot kislotasiga solib eritiladi.



2.10-rasm. «Quruq» tipli OYAT omborining kesimi.

Uran, plutoniy nitratlari va bo'linish hosilalari aralashmalari ekstraktsiya uslublarini qo'llagan holda ishlovdan o'tkaziladi. OYAT ni qayta ishlash jarayonida alohida uran aralashmasi, plutoniy aralashmasi va bo'linish hosilalaridan iborat aralashma ham alohida olinadi. Qo'shimcha tozalashdan so'ng olingan urandan (qator hollarda, plutoniydan) atom elektrostansiyalari uchun yangi yadro yoqilg'isini tayyorlash mumkin. Bo'linish hosilalarining yuqori darajadagi aktiv aralashmasi (undan fan, tibbiyot, qishloq xo'jaligiva sanoat uchun qimmatli izotoplar chiqarib olinganidan so'ng) shisha bilan qoplanadi, ya'ni bo'linish hosilalari ularning inson va atrof-muhit uchun uzoq muddat davomida xavfsizligini ta'minlab beradigan shisha matritsa ichiga olinadi. Tarkibida radioaktiv bo'linish hosilalari bo'lgan shisha bloklar so'ng maxsus omborga joylanib, istiqbolda ular bir necha yuz metr chuqurlikda, qalin granit qatlami ichida joylashgan chuqur yer ostida atrof-muhitdan butunlay ajratib, muhofazalaydi.

OYATni qayta ishlash va bo'linish hosilalari aralashmalarini shisha bilan qoplangan holiga keltirish jarayonida barcha operatsiyalar avtomat tarzda yoki manipulatorlar yordamida amalga oshirilib, jarayonni boshqarib turgan odamlar esa yoqilg'idan

radiatsiyadan ishonchli himoya qiladigan qalin beton devor bilan ajratib turiladi. Operatsiyalarning borishi ortidan maxsus videokameralar yordamida yoki qo'rg'oshin shishasidan tayyorlangan qalin oynalar orqali kuzatib turiladi. Albatta, yoqilg'ini bunda qayta ishlash shart emas. OYATni ma'lum vaqt saqlash, so'ng undan qimmatbaho komponentlarini chiqarib olmagan holda uni atrof-muhitdan, chuqur o'rada uzil-kesil ajratib, qoldirish mumkin. Bunday yadroviy yoqilg'i sikli ochiq (ajratilgan) sikl deb ataladi.

Agar yoqilg'i qimmatbaho komponentlarini chiqarib olish bilan qayta ishlanayotgan bo'lsa hamda tozalangan uran va plutoniy yadroviy yoqilg'ini ishlab chiqarish bosqichiga yo'llanayotgan bo'lsa, u holda bunday YATS yopiq (tutashgan) sikl deb nomlanadi. U ochiq YATSGa nisbatan qator ustuvor jihatlarga ega: urandan samaraliroq foydalanilib, fan, sanoat va tibbiyot sohalarida qo'llanadigan kamyob va qimmatbaho izotoplar chiqarib olinadi.

Yadroviy yoqilg'i sikli (YAYOTS-YATS) – bu yadro reaktorlari uchun yoqilg'ini qazib olish va tayyorlash, yoqilg'ini yadro reaktorlarida ishlatish, uni saqlash va qayta ishlash uchun mo'ljallangan operatsiyalar va texnologiyalar majmuasidir.

Rossiyada yadroviy yoqilg'i sikli korxonalari «Rosatom» atom energiyasi bo'yicha Davlat korporatsiyasi tarkibiga kirgan «Atomenergoprom» OAJ tarkibida birlashtirilgan. «Atomenergoprom» dunyodagi eng yirik «yadroviy» kompaniyalardan bo'lib, barcha turdagi «yadroviy» xizmatlar: uran rudasini qazib olish va uni qayta ishlash, uranni boyitish, yadro yoqilg'isini fabrikatsiyalash, AES da elektr energiyasi ishlab chiqarish va AES qurish kabilarni taqdim etadi. Bugungi kunda jahon bozorida yadro yoqilg'i sikli xizmatlarini to'liq hajmda taqdim etadigan bor-yo'g'i ikkita kompaniya mavjud – «Atomenergoprom» (Rossiya) va «Areva» (Fransiya).

«Atomenergoprom» divizionlarga bo'lingan. Ruda qazib olish divizioniga «Uranoviy xolding ARMZ» yetakchilik qilib, u Rossiyadagi uran qazib olish bilan shug'ullanadigan barcha korxonalarni boshqarib, shu bilan birga qo'shma korxonalaridagi ulushi hisobiga Qozog'iston uran zaxiralarning 20% ini nazorat

qiladi («Zarechnoye» QK, «Akbastau» QK va «Karatau» QK). «Uranoviy xolding ARMZ», shuningdek, boshqa mamlakatlarda ham keng faoliyat yuritadi: kompaniya Mongoliya, Namibiya, Kanada, Armaniston va Ukrainada geologiya-razvedka ishlari va uran qazib chiqarish ishlari bo'yicha birgalikdagi loyihalarni amalga oshirishda qatnashgan.

RF hududidagi qazib chiqaruvchi korxonalar - OAJ «Priargunskoye ishlab chiqarish tog'-kimyo birlashmasi» (Krasnokamensk sh., Chita viloyati), «Xiagda» OAJ (Buryatiya) va «Dalur» YOAJ (Kurgan viloyati)lardir. 2018-yilgi ma'lumotlarga ko'ra, qazib olinayotgan asosiy uran rudalari zaxiralariga Avstraliya, Qozog'iston, Rossiya, JAR va Kanada kabi mamlakatlar egalik qilmoqdalar.

Eng yirik uran ishlab chiqaruvchi mamlakatlar – Kanada, Avstraliya, Qozog'iston, Rossiya va Niger. Dunyo bo'yicha umumiy qazib olingan uran rudasi 2008-yilda 44500 tonnaga teng bo'lib, shundan 3687 tonna (dunyo bo'yicha qazib olingan uranning 8%) Rossiya tomonidan olingan. Rivojlanish dasturiga binoan, 2025-yili Rossiya yiliga 20000 tonna uran qazib olib, bu ko'rsatkich bo'yicha dunyoga birinchi o'ringa chiqib oladi.

Uran boyitish divizioniga «Obyedinennaya kompaniya» «Razdelitelno-sublimatniy kompleks» OAJ yetakchilik qilib, uning tarkibiga to'rt korxona kirgan – «Angarsk elektroliz kimyo kombinati» OAJ (Angarsk sh., Irkutsk viloyati), «Proizvodstvennoye obyedineniye «Elektroximicheskiy zavod» OAJ (Zelenogorsk sh., Krasnoyarsk o'lkasi), «Uralskiy elektroximicheskiy kombinat» OAJ (Novouralsk sh., Sverdlovsk viloyati), «Sibirskiy ximicheskiy kombinat» OAJ (Seversk sh., Tomsk viloyati). Rossiya uran boyitish bo'yicha eng ilg'or – gaz-sentrifugali texnologiyaga ega bo'lib, dunyoning boshqa mamlakatlari barcha urinishlariga qaramay, ulardan birontasi ham Rossiyadan o'tib keta olmadi. Ana shu sababli Rossiya boyitish xizmatlari jahon bozorida yetakchi o'rinlarni egallab (bozorning 40% ini nazorat qiladi), bu yo'nalishdagi harakatlarini tobora kuchaytirib borish niyatida.

Uranni boyitish xalqaro markaziga (UBXM – MSOU) 120 tonna miqdorida oz boyitilgan (3-5%) uran zaxirasini saqlash

vazifasi topshirilgan. Bu kafolatli zaxirani biron-bir sabablarga ko'ra erkin bozorda uran xarid qilish imkoniyatidan mahrum bo'lgan mamlakat sotib olishi hamda undan yangi yadro yoqilg'isini tayyorlab, o'z yadroviy energetikasining uzluksiz ishlashini ta'minlashi mumkin. Shunday qilib, MSOU xalqaro xavfsizlikni ta'minlaydigan muhim vositalardan biridir. Yaqin vaqt ichida tegishli hukumatlararo hujjatlarni imzolagan Armaniston va Ukraina ham MSOU loyihasi tarkibiga a'zo bo'lib kiradilar. MSOU da ishtirok etish borasida Finlyandiya, Janubiy Koreya va Belgiya kabi mamlakatlar bilan muzokaralar olib borilmoqda. «Sentr po obogasheniyu urana» (SOU) Rossiya-Qozog'iston loyihasi esa MSOUdan farqli ravishda, sof tijorat xarakteriga ega – korxona Angarsk elektroliz kimyo kombinati ishlab chiqarish maydonida joylashtiriladigan uranni boyitish uchun yangi quvvatlar qurilishi uchun yaratilgan. Natijada, Angarsk kombinati quvvati ikki barobar ortadi, Rossiya esa jahon boyitish xizmatlari bozorida o'z mavqeini mustahkamlab oladi.

Uran boyitish divizioni bilan birga tashqi bozorda boyitish xizmatlari va boyitilgan uran savdosi bilan shug'ullanadigan divizion («Texsnabeksport» OAJ) hamda uran boyitish uchun mo'ljallangan uskunalar ishlab chiqarish divizioni («Russkaya gazovaya sentrifuga» Injineriing markazi OAJ) joylashgan. Yadro yoqilg'isi ishlab chiqarish divizioni – bu «TVEL» korporatsiyasi bo'lib, uning asosiy korxonalari - «Mashinostroitel'nyy zavod» («Mashinasozlik zavodi») OAJ (Elektrostal sh., Moskva viloyati) va «Novosibirsk kimyoviy konsentratlar zavodi» OAJ (Novosibirsk sh., Novosibirsk viloyati) lardir.

Tabletkalarni presslash uchun uran dioksidi kukuni ham ana shu zavodlarning o'zida tayyorlanadi. Tvellar ishlab chiqarish uchun sirkoniy «Chepetsk mexanika zavodi» OAJda ishlab chiqarilib (Glazov sh., Udmurtiya Respublikasi), u Rossiyadagi yakkayu-yagona va dunyoda sirkoniy hamda uning qotishmalari-dan mahsulotlar ishlab chiqaradigan uchta eng yirik korxonadan biri hisoblanadi.

«TVEL» korporatsiyasi Rossiyaning barcha AESlarini, shuningdek barcha transport, sanoat va tadqiqotchilik reaktorlarini

yadro yoqilg'isi bilan ta'minlaydigan monopol yetkazib beruvchi hisoblanadi. Shuningdek, «TVEL» kompaniyasi mahsuloti xorijda ham keng tanilgan - u tomonidan ishlab chiqarilgan yadro yoqilg'isi jahonning 14 mamlakatidagi 76 yadro reaktoriga yetkazib berilib, ular geografiyasi yil sayin kengayib bormoqda. Masalan, «TVEL» Bolgariya, Vengriya, Ukraina va Slovakiya AESlari uchun yangi yadro yoqilg'i yetkazib beradigan yagona korporatsiya bo'lib, shuningdek, Rossiya konstruksiyasi asosidagi reaktorlar ishlab turgan Yevropa mamlakatlaridagi barcha AES larga ham yetkazib beradi. Bugungi kunda «TVEL» korporatsiyasi g'arb dizayni bo'yicha ishlangan AESlarga xizmat ko'rsatish uchun mo'ljallangan yangi tipdagi yoqilg'i yig'ilmasi bilan jahon bozoriga chiqmoqda. Kompaniyaning yillik eksporti hajmi \$1 mlrd. dan ortiq bo'lib, jahon yadro yoqilg'isi bozoridagi ulushi – 17% ni tashkil qiladi, kelgusida uni 25-30% ga qadar ko'paytirish rejalashtirilgan.

Tayyor issiqlik ajratuvchi yig'ilmalardan tashqari, «TVEL» korporatsiyasi, shuningdek, yadro yoqilg'isi qismlarini, masalan, yoqilg'i tabletkalarini eksport qiladi. Bundan tashqari, «TVEL» butkul yangicha, uran-plutoniylar aralashmasi ko'rinishidagi yoqilg'i yaratish ustida ish olib bormoqda. Bu yoqilg'i yadro energetikasi sohasida xomashyo ta'minoti va chiqindilarni kamaytirish muammosini yechishni osonlashtiradi.

«Rosenergoatom» konserni OAJ atom elektrostansiyalarida elektr energiyasini ishlab chiqarish bo'yicha divizion bo'lib, Rossiyaning barcha 10 ta AESi, shuningdek, yangi qurilayotgan stansiya direksiyalarini birlashtirgan. Har yili Rossiya atom elektrostansiyalari 158 mlrd. kVt-s ga yaqin elektr energiya ishlab chiqaradilar (mamlakatda ishlab chiqariladigan elektr energiyasining 16 % qismi). Shu bilan birga, AES larda ishlatilgan yadro yoqilg'isining yillik miqdori, bor-yo'g'i, 850 tonnani tashkil etadi.

Bugungi kunda IYAYO (OYAT) ni qayta ishlash bo'yicha zavodlar dunyoning bor-yo'g'i to'rt mamlakati – Rossiya, Fransiya, Buyuk Britaniya va Yaponiyada ishlab turibdi. Rossiyada faoliyat ko'rsatayotgan yagona zavod - «Mayak» ICHB dagi RT-1 –

loyihaga ko'ra, yiliga 400 tonna IYAYO ni qayta ishlash quvvatiga egaligiga qaramay, uning yuklamasi bir yilda 150 tonnadan ortmaydi; Tog'-kimyo kombinatidagi RT-2 zavodi (bir yilda 1500 tonna) qurilishi vaqtincha to'xtatib qo'yilgan. Fransiyada hozirda, umumiy ishlab chiqarish quvvati yiliga 1600 tonnaga teng bo'lgan, ikkita ana shunday zavod (UP-2 va La Ag ko'rfazidagi UP-3) ishlatiladi. Aytmoqchi, ana shu zavodlarda Fransiya AESlari yoqilg'isini qayta ishlashdan tashqari, Germaniya, Yaponiya, Shveysariya va boshqa mamlakatlarning energiya kompaniyalari bilan ham yadroviy yoqilg'ini qayta ishlash bo'yicha, ko'p milliardli kontraktlar tuzilgan. Buyuk Britaniyada quvvati yiliga 1200 tonnaga teng «Torp» («Thorpe») zavodi faoliyat yuritmoqda. Yaponiyada Rokkase-Murada joylashgan, yiliga 800 tonna OYATni qayta ishlab chiqaradigan korxona ishlab turibdi; shuningdek Tokai-Murada ham tajriba zavodi bor (yiliga 90 tonna).

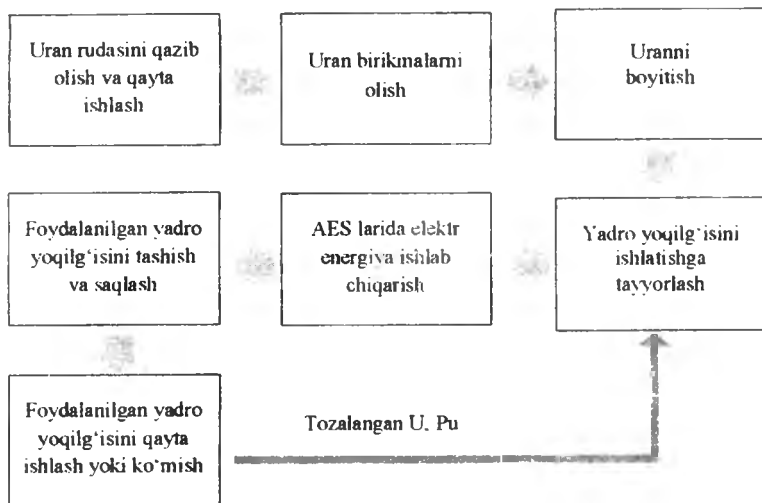
Shunday qilib, dunyoning yetakchi yadroviy davlatlari yadro yoqilg'i siklini «tutashtirish» g'oyasiga amal qilib, bu g'oya, ruda tarkibida uran miqdori kam bo'lgan, nisbatan «kambag'al» konlarga ishlov berishga o'tish tufayli uran qazib olishning qimmatlashishi sharoitlarida, iqtisodiy jihatdan tobora foydali bo'lib bormoqda.

Ushbu bobda biz tadqiqotchilik reaktorlari, shuningdek, atom suv osti kemalari va suv usti kemalarida o'rnatilgan reaktorlar yadro yoqilg'isini ishlab chiqarish va uni qayta ishlash masalalari haqida so'z ochmadik. Bizning muhokama to'lig'icha atom elektrostansiyalarida qo'llanadigan yadro yoqilg'isiga bag'ishlandi. Biroq bu tasodif emas. Gap shundaki, AES hamda masalan, atom suv osti kemalari uchun yoqilg'i ishlab chiqarish ketma-ketligi orasida jiddiy farq mavjud emas. Albatta, kema hamda tadqiqotchilik reaktorlarining o'ziga xos jihatlari bilan bog'liq texnologiyadagi chetlashishlar bo'lishi mumkin. Masalan, ulardan birinchilari o'lchami kichik, shu bilan birga quvvatli bo'lishi talab etiladi (muzyorar kema, ayniqsa tezyurar atom suv osti kemasi uchun tabiiy talab deb aytish mumkin). Bunga uran boyitilishini ko'paytirish, ya'ni bo'linayotgan yadrolar konsentratsiyasini oshirish bilan erishish mumkin. Kema reaktorlari yoqilg'isi sifatida

ishlatiladigan uranning boyitilish darajasi bir necha o'nlab foizni tashkil qiladi. Tadqiqotchilik reaktorlarida neytron oqimining maksimal quvvatiga erishish oddiy talablardan biri bo'lib, reaktordagi neytronlar soni ham bo'linayotgan (parchalanayotgan) yadrolar soni bilan bevosita bog'liq. Shu sababli, ilmiy izlanishlar uchun mo'ljallangan reaktorlarda ham yuqori darajada boyitilgan uran qo'llaniladi. Biroq bunda boyitish texnologiyasi o'zgarmaydi. Reaktor konstruksiyasi yoqilg'ining kimyoviy tarkibini va tvel tayyorlanadigan materialni belgilab berishi mumkin. Hozirga kelib yoqilg'ining asosiy kimyoviy shakli – bu UO_2 uran dioksidi.

Tvellar, asosan, sirkoniydan yasaladi, biroq, masalan, tezkor neytronlardagi BN-600 reaktori uchun zanglamaydigan po'latdan tvellar ishlab chiqariladi. Bu BN reaktorlarida, issiqlik tashuvchi sifatida suyuq natriydan foydalanish bilan bog'liq bo'lib, unda sirkoniy zanglamaydigan po'latga nisbatan tezroq yemiriladi (zanglaydi, korroziyaga uchraydi). Shunday ekanligiga qaramay, yadro yoqilg'isini yaratish jarayoni mohiyati avvalgidek bo'lib qolaveradi - boyitilgan uran geksافتoridi UF_6 dan uran dioksidi UO_2 kukuni sintezlanib, ular so'ng tabletkalarga presslanib, so'ng pishiriladi. Tabletkalar tvellarga joylashtirilib, tvellar issiqlik ajratib chiqaradigan yig'ilmalarga yig'iladi.

Shu bilan birga, turli mamlakatlarning yadro yoqilg'i sikllari ko'rib chiqilganida, tafovutlar mavjud, masalan, Rossiyada uran oksidlari molekular fluor bilan to'g'ridan-to'g'ri fluorlanishi ma'lum. Xorijda esa, avval unga plavik kislotasi bilan ishlov berib, so'ng fluor qo'llaydilar. Yoqilg'ini qayta ishlash uchun qo'llanadigan ishqorlovchi reagentlar va ekstragentlarning kimyoviy tarkibida, jarayonlarning amalga oshirilish parametrlari va shu kabilarda farq mavjudligi ham aniqlanishi mumkin. Ammo yadro yoqilg'i sikli bu tufayli o'zgarib ketmaydi. Tub farq uning ochiq (ajralgan) va tutashgan variantlari orasida mavjud bo'ladi, xolos: dastlabki holda biz yoqilg'ini atrof-muhitdan shunchaki qazilgan chuqur tubiga yashirsak, so'nggi holda – undagi qimmatbaho komponentlarini chiqarib olib uni qayta ishlaymiz (2.11-rasm). Qayd etish lozimki, quyida keltirilgan sxema anchagina universal bo'lib, butun dunyoda qo'llanadi.



2.11-rasm. Yadroviy yoqilg'i siklining soddalashtirilgan sxemasi.

3-bob YADROVIY TEXNOLOGIYA ASOSLARI

1-bobda biz neytronlarni yutadigan materiallarni qo'llab, bo'linishning nazorat qilinadigan zanjirli reaksiyasini amalga oshirish mumkinligi to'g'risida aytib o'tgan edik. Uran yadrosining bo'linishida (parchalanishida) hosil bo'ladigan tezkor neytronlarni sekinlashtirish talab etiladi – buning uchun sekinlashtirgichdan foydalanish zarur. Sekinlashtirgich sifatida grafit, suv (H_2O), og'ir suv (D_2O), berilliy (Be) ishlatish mumkin. Ajralish reaksiyasi jarayonida issiqlik ko'rinishida katta miqdordagi energiya ajralib chiqadi – yadro yoqilg'isini sovutish uchun suvni (yoki biron-bir boshqa moddani) qo'llash mumkin. Dastlabki reaktorlar yadro qurolining ichki negizi – plutoniyni (^{239}Pu) ko'paytirish uchun mo'ljallangan. Sekinlashtirgich sifatida ular ichida grafit qo'llanib, issiqlik tashuvchi sifatida esa suv tanlab olingan. Bu reaktorlar sanoat uran-grafitli reaktorlar (PUGR) deb atalgan. «Sanoat» so'zi bunday reaktorlarni ishlatishdan maqsad plutoniyni ishlab ko'paytirishdan iborat ekanligini anglatadi.

Dastlabki yadroviy reaktorlarda issiq suv shunchaki yaqin atrofdagi suv havzalariga to'kib yuborilgan bo'lsa, biroq tarmoq rivojining boshlang'ich bosqichidayoq yadroviy parchalanish reaksiyasi issig'idan tinchlik yo'lida foydalanish g'oyasi yuzaga kelib, u taraqqiy ettirildi va bu atom elektrostansiyasi yaratilishiga olib keldi.

Sobiq SSSRda atom elektrostansiyasi loyihasi ustidagi ishlarni sovet atom bombasining "otasi", shu bilan birga to'liq ishonch bilan yadroviy energetikaning "otasi" deb atash mumkin bo'lgan – akademik I. V. Kurchatov boshchilik qildi. Shunday qilib, 1954-yilning 27-iyunida Obninsk shahrida ishga tushirilgan atom elektrostansiyasi dunyodagi dastlabki AES bo'ldi.

Ushbu bobda yadroviy energetika uskunalari (YAEU) tuzilishi ko'rib chiqiladi. YAEU (yoki yadroviy energoblok) – bu parchalanish (bo'linish) zanjirli reaksiyasi energiyasini

elektroenergiyasiga aylantirish uchun mo'ljallangan texnologik uskunarlar majmuasidir (bosh uzeli sifatida yadroviy energetika reaktoriga ega bo'lgan).

O'z navbatida, AES – ishlashidan asosiy maqsad elektroenergiya ishlab chiqarish va sotishdan iborat bo'lgan korxona hisoblanadi. Odatda, AES tarkibiga bir necha energoblok (YAEU), ulardan tashqari, kommunal xizmatlar, ilmiy tadqiqot bo'limi, ma'muriyat va shu kabilar kiradi (3.1-rasm). Joriy bobda «yadroviy» elektroenergiyani ishlab chiqarishning texnik jihatlarini yoritilgan, ya'ni YAEU tuzilishi muhokama qilinadi.



3.1-rasm. Balakovo AESi.

Yadroviy energiya uskunarining tuzilishini va ularning ishlash tamoyilini ko'rib chiqishdan oldin biz aktiv zona - reaktorning yadro yoqilg'isini o'z ichiga olgan va boshqariladigan zanjirli bo'linish reaksiyasi kechadigan qismini batafsil ko'rib chiqamiz.

Aksariyat hollarda bo'linadigan izotop ^{235}U bo'yicha boyitilgan uran dioksididan (UO_2) iborat bo'lgan yadro yoqilg'isini tabletkalar ko'rinishida tayyorlaydilar (3.2-rasm). Yangi tayyorlangan yoqilg'i tabletkalarini hatto qo'lda tutib turish mumkin bo'lib, ular bu ko'rinishda radiatsion xavf tug'dirmaydilar.

Ana shu tabletkalar sirkoniy qotishmasidan ishlangan trubka ichiga joylashtiriladi. Sirkoniy, birinchidan, erish harorati

yuqoriligi (1845°C), ikkinchidan, uning kichik qamrab olinish kesimiga egaligi (ya'ni u uran, parchalanish zanjirli reaksiyasi uchun «mo'ljallangan» issiqlik neytronlari bilan deyarli ta'sirlashmaydi) sababli tanlab olingan. UO_2 tabletkalari bo'lgan bu trubka tvel – issiqlik ajratib chiqaruvchi element (issiqlik ajratib chiqaruvchi (teplovıdelyayushiy) element) deb ataladi (3.3-rasm).



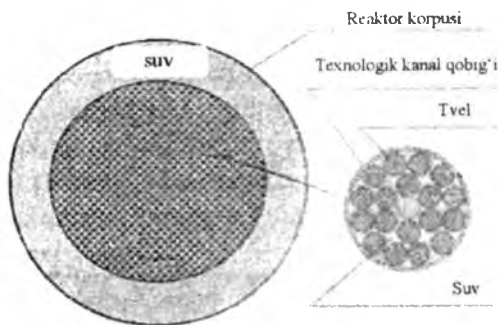
3.2-rasm. Uran yoqilg'isi tabletkalari.



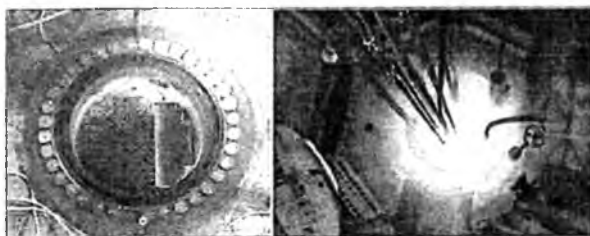
3.3-rasm. Tvel.

Biroq reaktorga alohida tvellar joylanmaydi. Ular o'zaro issiqlik ajratib chiqaradigan to'plamlarga (TVS) birlashtiriladi (3.4-rasm).

Aslini aytganda, TVS to'plami (aniqrog'i, ularning yadro yoqilg'isi joylashgan qismi), aktiv zonani shakllantiradi (3.4, 3.5-rasmlar).



3.4-rasm. Aktiv zona va issiqlik ajratib chiqaruvchi to'plam (yig'ma)ning tuzilishi (yuqoridan ko'rinishi).



3.5-rasm. Reaktorlarning aktiv zonalari.

Shunday qilib, tvellar ichida UO_2 tabletkalari mavjud bo'lib, ana shu bo'linish (parchalanish) zanjirli reaksiyasi ana shu tabletkalarda yuz berib, katta miqdordagi issiqlik energiyasi ajralib chiqadi, ularning tashqi tarafi esa tvellar qobiqlarini uzluksiz sovutib turadigan issiqlik tashuvchi (bu ko'pincha suv bo'ladi) bilan yuvilib turadi. Tvellarga qo'yiladigan muhim talablardan biri – qobig'ining germetik bo'lishi (agar tvelningsirkoniyli qobiq nogermetik bo'lsa, u holda radiatsion xavf paydo qiladigan bo'linish (parchalanish) radioaktiv mahsulotlari, issiqlik tashuvchi ichiga tushishi ham mumkin).

«Aktiv zona», «TVS», «tvel» atamaları yadro reaktori va umuman atom stansiyasi ishini to'g'ri va to'liq tushunib olish uchun kerak bo'ladi.

Yadroviy reaksiyani nazorat qilish va boshqarishning asosiy vositasi boshqarish va himoya qilish tizimidir (SUZ). SUZning ish tamoyili quyidagicha: neytronlarning yadroviy portlash keltirib chiqarishi mumkin bo'lgan juda tez ko'payib ketishining oldini olish maqsadida aktiv (faol) zonaga neytronlarni yutadigan materiallar (ya'ni "yutuvchilar") kiritiladi. Ana shunday keng tarqalgan yutuvchilardan biri bor (V), aniqrog'i, uning izotopi ^{10}V hisoblanadi. Shuningdek zamonaviy energetika reaktorlarida yutuvchi (poglotitel) sifatida yer yuzida kam uchraydigan elementlar: gadoliniy (Gd), erbiy (Er), yevropiy (Eu) ham ishlatiladi. Konstruktiv jihatdan yutuvchilar aktiv zona bo'ylab maxsus mexanizm yordamida yuqoriga va pastga harakatlanib turadigan vertikal sterjenlar ko'rinishida bajarilgan. Mos ravishda, agar reaktorning quvvatini oshirish kerak bo'lsa, SUZ sterjenlari aktiv zonadan ko'tariladi. Bu holda yutuvchilar miqdori kamayib, ularni boyib, neytronlar oqimi kattalashishiga, demak, uran yadrolarining bir vaqt birligi davomidagi bo'linish harakatlari soni ko'payishiga olib keladi. Bu holda, reaktor quvvati (ya'ni aktiv zonadan vaqt birligi davomida olinadigan issiqlik) ortib boradi.

Agar, aksincha, quvvatni pasaytirish yoki umuman reaktorni to'xtatib qo'yish zarur bo'lsa, bu holda SUZ sterjenlari aktiv zonaga kiritiladi. Bunda neytronlar oqimi neytronlar soni zanjirli reaksiyani davom ettirish uchun yetarli bo'lmay qoladigan butkul so'nish darajasiga qadar kamayib ketadi.

SUZ tarkibiga shuningdek favqulodda himoya sterjenlari ham kiradi: avariya vaziyat yuzaga kelganida yoki favqulodda himoya tugmasi bosilganida ular zanjirli reaksiyaning, ya'ni reaktorning ham shu zahoti to'xtashini ta'minlab, aktiv zonaga tushadilar.

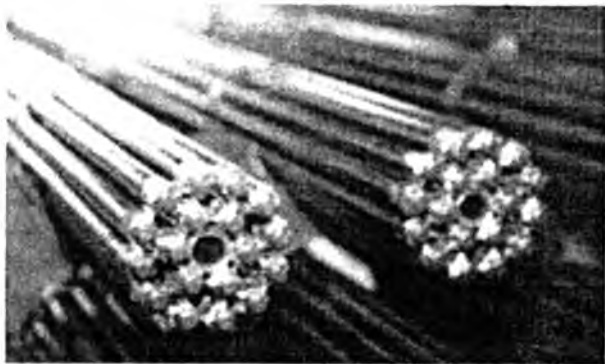
Dunyodagi dastlabki AESda konstruksiyasiga ko'ra yuqorida nomi keltirilgan PUGRga o'xshash uran-grafitli AM-1 reaktori o'rnatildi. AM-1 dunyodagi dastlabki energetika reaktori, ya'ni asosiy maqsadi elektr energiyasi ishlab chiqarishdan iborat bo'lgan reaktor bo'lib qoldi. Uning uchun yoqilg'i sifatida uran, aniqrog'i, izotop ^{235}U bo'yicha boyitilgan uran dioksidi UO_2 dan foydalanildi. Sekinlashtirgich vazifasini, PUGR dagi kabi, grafit

bajardi. SSSRda uran-grafitli reaktorlarni bundan keyin ham rivojlantirish to'g'risida qaror qabul qilindi. Natijada Beloyarsk AESida mos ravishda 1964 va 1967-yillarda AMB-100 va AMB-200 reaktorli energobloklar ishga tushirildi. Biroq bu qurilmalar ham bor-yo'g'i oraliq bosqich vazifasini o'tadilar. 1973-yilda Leningrad AESida RBMK-1000 reaktori bo'lgan dastlabki energoblok ishlatib yuborildi. RBMK ma'nosi «Reaktor Bolshoy Moshnosti Kanalniy» («Katta quvvatli kanalli reaktor») bo'lib, 1000 esa—uning megavatlarda (MVt) o'lchanadigan elektr quvvatini bildiradi. RBMK-1000 birinchi yirik ko'lamli energetika reaktori bo'ldi: u AMB-100 reaktoriga nisbatan 10 barobar hamda dunyodagi dastlabki AM-1200 energetika reaktoridan (uning quvvati bor-yo'g'i 5 megavattga teng bo'lgan) (!) 200 marta ko'proq energiya ishlab chiqargan. Xo'sh, 1000 megavatt —bu ko'pmi yoki kam? Buni tushunish uchun, tasavvur qilaylik: to'liq quvvat bilan ishlayotgan RBMK-1000 har birining quvvati 50 Vt bo'lgan 20 million lampochkani energiya bilan ta'minlashi mumkin. Leningrad AES ining to'rtta RBMK-1000 energobloki Sankt-Peterburg kabi yirik shaharning elektr tokiga bo'lgan ehtiyojini to'liq qondirishi mumkin.

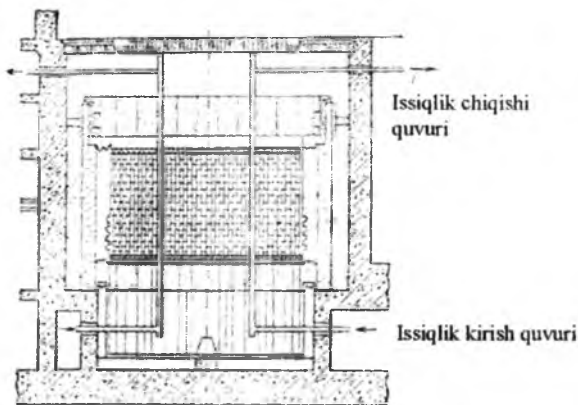
Shuni ham qayd etish lozimki, chto RBMKning prinsipial qurilmasi eng birinchi sanoat reaktorlari— PUGR dagi, AMB qurilmalari kabiligicha qoldi. RBMK esa, xuddi PUGR kabi, uran-grafitli reaktor bo'lib hisoblanadi. Unda yoqilg'i bo'lib bo'lingan (parchalangan) izotop ^{235}U bo'yicha boyitilgan uran dioksidi UO_2 xizmat qiladi. Neytronlarni sekinlashtirish va qaytarish vazifasini esa grafit bajaradi. Reaktor, g'ishtlar kabi $250 \times 250 \times 600$ mm o'lchamli grafit bloklaridan yig'ilgan bo'lib, ularning umumiy massasi—taxminan 2000 tonna. Albatta, reaktor uchun oddiy grafit ishlatilmaydi. Bu yerda o'ta toza material —yadroviy tozalikka ega bo'lgan, neytronlarni yutadigan aralashmasi deyarli bo'lmagan grafit talab etiladi. Reaktorni ana shu grafit bloklaridan tiklashda o'ta ehtiyotkorlik talab etilgan: hatto, yon tomonida o'ta kichik, deyarli sezilmas sinig'i bo'lgan «g'isht»larni ham chiqindiga chiqarib tashlashga to'g'ri kelgan. Har bir grafitli blokda unga texnologik kanal joylanadigan tirqish mavjud. Texnologik kanalga

esa, o'z navbatida, ichiga uran yoqilg'isi to'ldirilgan issiqlik ajratib chiqaruvchi kasseta qo'yiladi (3.6, 3.7-rasmlar).

Demak, RBMK tipidagi reaktor birmuncha sodda tuzilgan bo'lib chiqadi (bu uning asosiy fazilatlaridan biri); u bir xil elementlar to'plamidan iborat - grafit g'ishtlardan terilgan qismi va ular orqali o'tkazilgan texnologik kanal orqali).



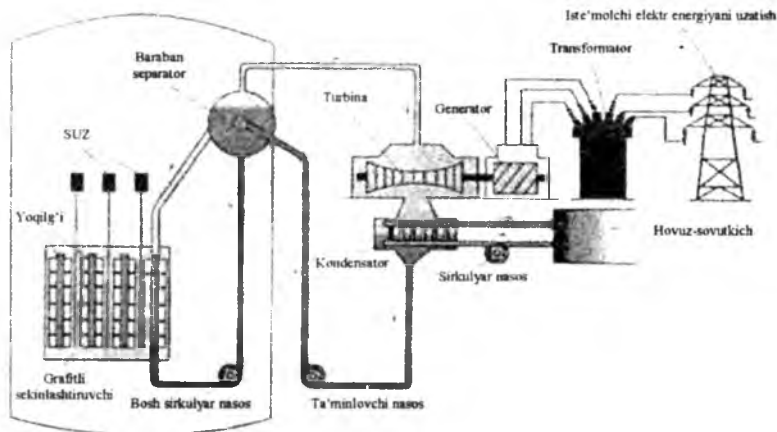
3.6-rasm. RBMK tipli reaktorning issiqlik ajratib chiqaruvchi to'plami (TVS).



3.7-rasm. RBMK tipidagi reaktorning tuzilishi.

Reaktor biologik himoya vazifasini (ya'ni xodimlarni radiatsiya ta'siridan himoya qilish funksiyasi) bajaradigan beton shaxtasida joylashtirilgan.

RBMK reaktorida yadroviy reaksiya energiyasining elektr energiyasiga aylantirish jarayonini batafsil ko'rib chiqamiz. Tuzilishi yuqorida keltirilgan aktiv zonada uran yadrolari bo'linishining zanjirli reaksiyasi kechib, buning natijasida ulkan miqdordagi energiya ajralib chiqadi va yadroviy yoqilg'i qiziy boshlaydi. Ammo bu elektr energiyasi emas, balki issiqlik energiyasi; uni to'g'ridan-to'g'ri tokka aylantirish mumkin emas. Shu sababli aktiv zonada issiqlik energiyasi issiqlik tashuvchi – ya'ni suvga uzatiladi. Suv aktiv zonaga pastdan uzatilib, qiziydi (isiydi) va bug'ga aylanadi (3.8-rasm). Ammo suv to'lig'icha bug'ga aylanmaydi – aktiv zonadan suvning bug' bilan aralashmasi chiqadi. Bug'ni suvdan ajratib olish uchun bu aralashmani maxsus apparat – baraban-separatorga kiritadilar. Bug' suvdan ajratilishi shart, chunki u bug' turbinasiga boradi: kirish soplolari orqali turbina ichiga kirib, bug' turbina parraklariga urilib, ularni aylanishga majbur qiladi (3.9-rasm) – mos ravishda, agar bug'dagi suv miqdori juda ko'p bo'lsa, turbina «tiqilib qoladi» va ishdan chiqadi. Barcha parraklar turbina valida mahkamlangan. Turbina vali elektrogenerator vali bilan ilashgan: demak, turbina vali aylanganida, shu vaqtning o'zida elektrogenerator vali ham aylanadi. Bunda uning chulg'amlarida elektrmagnit maydoni yuzaga kelib, unda iste'molchilar – sanoat korxonalariga, kommunal xizmatlarga, aholiga yetkazib beriladigan elektr toki ishlab chiqariladi. Xo'sh, shundan keyin bug' bilan nima bo'ladi? Turbinada ishlatilgan bug' sovutilib, bunda u kondensatsiyalanadi – ya'ni yana qaytadan suvga aylanadi. Bu suv (ta'minot suvi) tozalanadi va baraban-separatorga uzatilib, bu yerda esa aktiv zonadan kelib tushgan, separatsiyalangan (bug'dan ajratilgan) suv bilan aralashib ketadi. Shundan so'ng bu suv bosh sirkulatsiya nasosi bilan yana reaktorga uzatilib, sikl qaytadan takrorlanadi (3.8-rasm).



3.8-rasm. RBMK tipidagi reaktorli energoblok sxemasi.



3.9-rasm. Bug' turbinasining ish tamoyili.

Qayd etish lozimki, RBMK tipli energoblokning texnologik sxemasi yopiq konturdan iborat bo'lib, u, reaktor ichidagi radioaktiv bug' va radioaktiv suv tashqariga chiqib ketmaydigan va shu tarzda aholi va atrof-muhit uchun radiatsion xavf tug'dirmaydigan qilib tuzilgan. RBMK-1000 da suv bevosita reaktorning o'zida qaynab, shu yerda bug'ga aylanadi va undan olingan bug', shu zahoti turbinaga yetib boradi. Shu sababli RBMK li qurilmani bir konturli deb nomlaydilar. RBMK tipli reaktor–Rossiyada ishlatiladigan asosiy reaktorlardan biri. Jami 31 yadroviy energobloki ishlab, ulardan 11 tasi–bu Rossiyadagi butun

«yadroviy» elektr energiyasining taxminan 47% ishlab chiqaradigan RBMK-1000 bloklardir(2016y).

RBMK-1000 reaktori–yaxshi, ammo u birgina mumkin bo‘lgan variant emas. AQSHda 1954-yilda dunyodagi dastlabki atom suv osti kemasi suvga tushirilganida, SSSRda o‘z yadroviy submarinasini yaratish ustida qizg‘in ish borardi (Loyiha № 627). Dastlabki atom suv osti kemasining bosh konstruktori qilib V.N. Peregudov tayinlangan bo‘lsa, energetika qurilmasini yaratish bo‘yicha ishlar Kurchatov bilan birga jangovar plutoniylar olish uchun dastlabki reaktorlarni ishlab chiqishda qatnashgan olim – N.A.Dollejal rahbarlik qilgan NII-8 tashkilotida o‘tkazildi. Reaktorni suv osti kemasining cheklangan bo‘shlig‘ida joylashtirish uchun butunlay o‘zgacha yondashuvlar, o‘zgacha texnik yechimlar kerak bo‘ldi. Birinchidan, neytronlar sekinlashtirgichi sifatida grafit o‘rniga issiqlik tashuvchi – ya‘ni suvdan foydalanishga qaror qilindi.

Shu sababli, bunday reaktorlar suv-suv reaktorlari deb ataladi – chunki suv bir vaqtning o‘zida sekinlashtirgich va issiqlik tashuvchi vazifasini bajaradi. Ikkinchidan, radiatsion xavfsizlik nuqtayi nazaridan, aktiv zona atrofi juda qalin po‘lat korpus bilan o‘ralgan (shuning uchun bu reaktorlar korpusli deb nomlanadi). Uchinchidan, 235U bo‘yicha yuqoriroq darajada boyitilgan yadroviy yoqilg‘i olingan. Nihoyat, to‘rtinchidan, yana xavfsizlik nuqtayi nazaridan, qurilma ikki konturli qilib ishlangan. Bu nimani anglatishi quyida keltirilgan. Umuman olganda, kema yadroviy energetika qurilmasi–yer usti qurilmasi kabi, turbinaga uzatilib, turbina valini aylantiradigan bug‘ ishlab chiqaradi. Turbina val asosiy turbo-tishli agregat (GTZA) bilan ilashgan. Bu qurilma avtomobildagi uzatmalar qutisining xuddi o‘zi, faqat bu holda g‘ildiraklar emas, balki kema (grebnoy) vinti aylantiriladi.

O‘z davriga mos ravishda «Leninskiy komsomol» deb nom berilgan K-3sovet atom suv osti kemasi 1957-yilda - AQSHning«Nautilus»idan keyin bor-yo‘g‘i uch yil o‘tib, suvga tushirildi. K-3 harakat sinovlaridan 1958-yilda o‘tkazildi. 1958-yilning 4-iyuli – ana shu kuni mahalliy flot tarixida kemani harakatga keltirish uchun ilk marotaba yadroviy reaksiya

energiyasidan foydalanildi. K-3 «dvigateli» vazifasini ikkita VM-A tipidagi suv-suv korpusli reaktori bajardi.

627 loyihasi bilan birga boshqa, tinchlik yo'lidagi loyiha ishlab chiqildi – gap dunyodagi «atom kuchi bilan harakatlanadigan» dastlabki suv usti kemasi, «Lenin» muzyorar kemasi haqida bormoqda. Bu kening yadroviy energetika uskunasi I. I. Afrikantov rahbarligida loyihalashtirildi va ishlab chiqildi. Kema «Leninskiy komsomol» suv osti kemasi bilan bir yilda suvga tushirilib, uning suvdagi harakatlanish sinovlari esa bir yil o'tganidan keyin (1959) o'tkazildi. Dastlabki paytda muzyorar kema uchta OK-150 tipidagi suv-suv korpusli reaktori ishlagan bo'lsa, so'ng ular quvvati ancha katta bo'lgan ikkita OK-900 bilan almashtirildi. Muzyoraning yadroviy uskunalari elektrodvigatellarni doimiy tok bilan ta'minlab turadigan turbogeneratorlar uchun bug' ishlab chiqarib tursa, ular esa, o'z navbatida, uchta kema vintini harakatga keltirib turadi. Dastlabki olti yil davomida «Lenin» qutb muzlari orqali 400 ga yaqin kemani o'tkazib qo'ygan bo'lsa, jami u 30 yil davomida faoliyat ko'rsatdi. Umuman SSSRda to'qqizta atom muzyorar kemasi qurildi (3.10, 3.11-rasmlar).



3.10-rasm. «Vaygach» atom muzyorari.

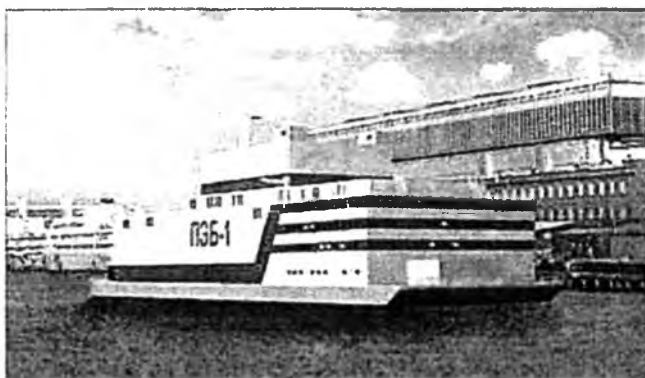


3.11-rasm. «Yamal» atom muzyorari.

Yadroviy reaktorli kemalarni loyihalashtirishda qo'llangan istiqbolli texnologik tamoyillardan birini qo'llash varianti to'g'risida aytib o'tamiz. Aytaylik, mamlakatning kam o'zlash-tirilgan mintaqasida, masalan, Chukotka yoki Yoqutistonda joylashgan poselka yoki sanoat korxonasi mavjud. U yerlarda issiqlik va elektr ta'minotini yo'lga qo'yish ko'pdan beri muammo bo'lib keladi. Chunki u yerlarga oddiy uglevodorod yoqilg'isini (ko'mir yoki gaz) yetkazish juda qimmatga tushadi. Bu vaziyatda ana shu poselka dengiz qirg'og'iga yoki kema qatnaydigan daryoga yaqin joylashgan deb faraz qilamiz. Ana shunda eng maqbul yechimlardan biri PATES – ya'ni Suzib Yuruvchi Atom Issiqlik Elektrostansiyasi (Plavuchaya Atomnaya Teplovaya Elektro Stansiya) bo'ladi (3.12-rasm).

PATESda esa, muzyorar reaktorli energoblok suzib yuradigan platformaga o'rnatilib, u suv orqali o'z «ish joyiga» keltiriladi; elektr uzatish liniyalari jihozlansa, bo'ldi, energiya ta'minoti muammosi hal qilindi. Yoqilg'i yetkazib berish masalasi ancha oson hal qilinadi, chunki PATES ko'mir yoki gazda ishlaydigan stansiyalarga nisbatan yuz minglab marotaba kamroq yoqilg'i yoqadi. Shu bilan birga, suzib yuradigan atom stansiyasi o'ziga alohida hudud ajratilishini talab qilmaydi – uning uchun o'rmon kesish, maydon tayyorlash, yo'llar o'tkazish kerak emas, demak,

tabiatga zarar yetkazilmaydi. Xizmat muddati tugagan PATES esa to'g'ridan-to'g'ri utillashtirishga jo'natiladi, xolos.



3.12-rasm. Suzib yuradigan energoblok.



3.13-rasm. Dengizda joylashgan PATES.

Suzib yuradigan atom stansiyasi dengizda neft qazib chiqaradigan platformalarni elektr energiya va issiqlik bilan ta'minlash masalalarini hal qilish bilan birga (3.13-rasm), shuningdek dengiz suvini chuchuklashtirishi ham mumkin bo'lib (3.14-rasm), bu

chuchuk suv resurslari tobora kamayib borayotgan sharoitlarda o'ta muhim bo'lib hisoblanadi.



3.14-rasm. Suvni chuchuklashtiradigan qurilmasi bo'lgan PATES (rasmda o'ng tarafda).

Shunday qilib, kanalli uran-grafit reaktori suv usti va suv osti kemalarida ishlatish uchun yaroqsizligi ma'lum bo'ldi. Suv-suv reaktori esa buning butkul aksi: dastlab kemalar uchun yaratilgan bo'lib, u hozirga qadar quruqlik sharoitlarida ham ishlatilib keladi.

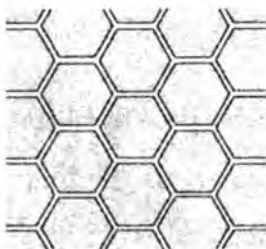
Yangi maqsadlarga muvofiq ravishda reaktor kattalashib, quvvatliroq bo'lganiga qaramay, uning ishlash tamoyili o'zgarmay qoldi. Uning «VVER» nomi - suv-suv energetika reaktori (водо-водяной энергетический реактор) degan ma'noga ega. VVER «Gidropress» tajriba konstruktorlik byurosi tomonidan ishlab chiqildi. 3VVER-210 reaktorli dastlabki yer usti qurilmasi 1964-yilda Novovoronej AESida ishga tushirilgan. «210» soni, RBMK-1000 uchun bo'lgani kabi, uning megavattlardagi elektr quvvatini aks ettiradi. VVERli qurilmalar istiqbolli deb e'tirof etilib, shuning uchun tez orada yana o'sha Novovoronej AESida avval VVER-365, undan keyin esa – VVER-440 reaktori ishga tushirildi. Ammo

440 megavatt ham quvvat chegarasi bo'lib qolmadi. 1980-yilning 30-mayida VVER-1000 reaktori ishga tushirildi.

VVER-1000 reaktori RBMK-1000 bilan birga, avvaliga sovet, keyinroq esa Rossiya yadroviy energetikasining yetakchilariga aylandi. Bugungi kunda VVER reaktorlarida Rossiya butun «yadroviy» elektrenergiyasining taxminan 50% qismi ishlab chiqariladi. VVERli energoblok qanday ishlashini batafsilroq ko'rib chiqaylik. VVER reaktorining asosiy qismi- aktiv zona – kema reaktorlari kabi, o'ta qalin po'lat korpus bilan o'ralgan. Yadroviy yoqilg'ili issiqlik ajratib chiqaruvchi kassetalar bu yerda RBMK reaktoridagi kabi alohida kanallarga joylanmay, balki asalari inidagi olti burchakli uyalar singari bir-biriga zich o'rnatilgan (3.15, 3.16-rasmlar).



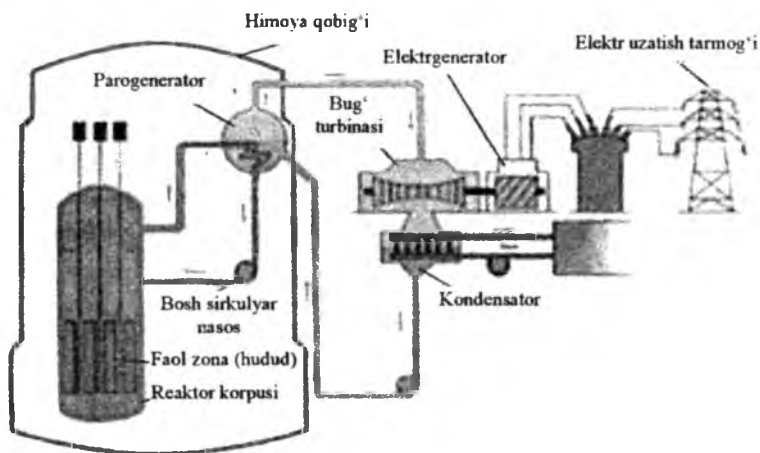
3.15-rasm. VVER-1000 tipidagi reaktorning issiqlik ajratib chiqaruvchi to'plami (TVS).



3.16-rasm. TVS ning VVER tipli reaktorning aktiv zonasida joylashtirilish sxemasi.

Suv reaktor korpusiga kelib tushib, aktiv zona orqali o'tganida, qiziydi, ammo RBMKdagi kabi qaynab ketmaydi. Qizigan suv reaktordan bug' generatoriga kelib tushadi. Trubalar

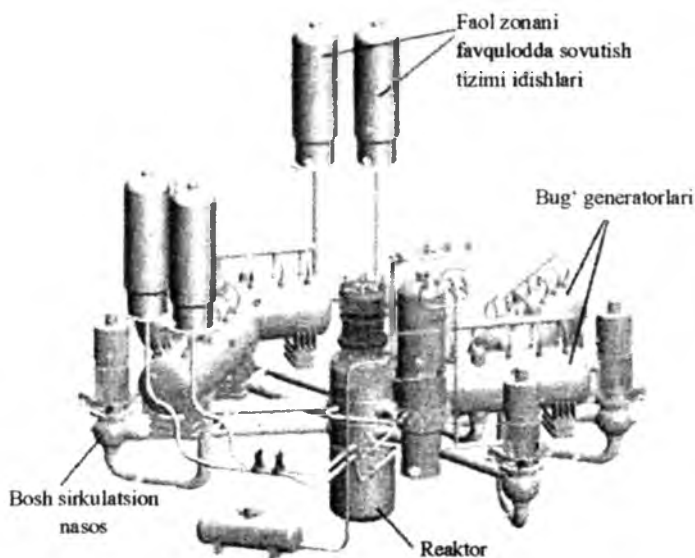
bo'ylab o'tib, suv (birinchi kontur suvi) metall devor orqali o'z issig'ini ikkinchi kontur suviga beradi va shundan so'ng yana reaktorga haydaladi. Ikkinchi kontur suvi bug'ga aylanib, u esa bug' turbinasiga uzatiladi. Jarayonning bundan keyingi kechishi yuqorida keltirilgan: bug' turbina valini, turbina vali esa elektrogenerator rotorini aylantiradi, ana shu tarzda elektr toki ishlab chiqariladi. Turbinadan chiqayotgan bug' sovutilib, buning natijasida u yana suvga aylanadi. Ana shu suv ko'makchi uskunalar orqali o'tib yana bug'ga aylantirish uchun bug' generatoriga uzatiladi, shu tarzda ikkinchi kontur tutashtiriladi. VVER tipidagi reaktorli energoblok sxemasi 3.17-rasmda keltirilgan.



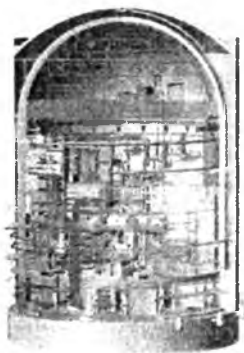
3.17-rasm. VVER tipidagi reaktorli energoblok sxemasi.

RBMKdan farqli ravishda, VVERning birinchi konturida suv qaynamaydi. Bu radiatsion xavfsizlik nuqtayi nazaridan amalga oshirilgan bo'lib, chunki birinchi kontur suvi – radioaktiv. Ikkinchi konturda esa radioaktiv bo'lmagan (kimyoviy qo'shimchali) suv aylanib, undan noradioaktiv bug' hosil bo'ladi. G'oyaning mohiyati ham ana shunda – ikki konturli sxema turbina ichiga oddiy, radioaktiv bo'lmagan bug' kiritilishiga yo'l qo'yadi. Birinchi kontur suvi qaynab ketmasligi uchun uni taxminan 160 atmosferaga teng bosim ostida saqlaydilar (balandligi 1600 metrga teng bo'lgan

suv ustuni ana shunday bosim ko'rsata oladi). Yadroviy energetikani yaqin davr ichida rivojlantirish rejalari aynan VVER reaktori bilan bog'liq. Yangi VVER-1200 qurilmalari (3.18; 3.19-rasmlar) («AES-2006» loyihasi) yana ham kattaroq elektr quvvatiga ega bo'lib (1170 MVt), chunki birinchi kontur suvi haroratini oshirish rejalashtirilgan. Bu, o'z navbatida, turbinaga borayotgan bug' harorati va bosimining ko'tarilishiga olib keladi.«AES-2006» loyihasi o'nlab ilmiy tadqiqot va tajriba-konstruktorlik ishlari natijalarini birlashtiradi. Yangi qurilma normal ekspluatatsiya sharoitlari izdan chiqqan, shuningdek avariya holatlarida ishchi-xizmatchilarning nurlanish dozalarini va radioaktiv moddalarning atrof-muhitga chiqib ketishini cheklaydigan xavfsizlik tizimlariga ega. Qurilma tashqi xavf manbalari, shu jumladan, aviahalokatlar va zilzilalarga nisbatan chidamli qilib ishlangan.



3.18-rasm. VVER-1200 reaktori yadro energetika qurilmasining birinchi konturi.



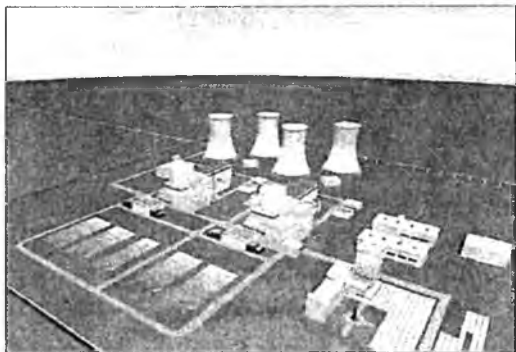
3.19-rasm. VVER-1200 reaktorli yadro energetika qurilmasining himoya qobig'i (kontaynment).

Yangi reaktorda yoqilg'i vazifasini UO_2 o'tab, shuningdek, $\text{UO}_2\text{-Gd}_2\text{O}_3$ uran-gadolinii yoqilg'isini (gadolinii Gd neytronlar yutuvchisi bo'lib hisoblanadi) qo'llash ham mumkin. Tvellar konstruksiyasini takomillashtirish hisobiga reaktorga joylanadigan yoqilg'i miqdorini ham ko'paytirishga erishildi (3.20-rasm).



3.20-rasm. VVER-1200 reaktori korpusi va issiqlik ajratib chiqaradigan to'plam (TVS).

AES-2006 konstruksiyasi (3.21-rasm) butun dunyoda bo'lg'usi stansiyalar uchun talab qilinadigan yuksak xavfsizlik darajasiga muvofiq keladi. Muhandislar harakatlari tufayli yangi Blagodarya usiliyam injenerov, yangi AES-2006 loyihasida benihoya yuqori xavfsizlik darajasiga erishildi: misol uchun, aktiv zonaning jiddiy shikastlanish ehtimoli bir yilda bir reaktorga taxminan 10^{-6} ga to'g'ri keladi – bu og'ir oqibatli avariya million yilda bir marta yuz berishi mumkinligini anglatadi.



3.21-rasm. VVER-1200 reaktorli ikkita energoblokning umumiy ko'rinishi.

Aksariyat AES lar – ular xoh Rossiyada, xoh xorijda bo'lsin – suvli reaktorlarda ishlab, ularda bo'linish yadroviy reaksiyasining issiqlik energiyasi suvga uzatiladi. Boshqa mamlakatlarda ham shuningdek og'ir suv (D_2O) yoki karbonat angidrid gazi issiqlik tashuvchi vazifasini bajaradigan yadroviy energobloklari mavjud. Ammo kelajak yadroviy energetikasi uchun poydevor vazifasini o'taydigan texnologiya aynan Rossiyada ro'yobga chiqarilgan. Bu yerda so'z, tezkor neytronlarda ishlaydigan reaktorlar to'g'risida bormoqda. Ularda suvdan foydalanish mumkin emas, chunki bu holda suv sekinlashtiruvchi bo'lib keladi. Bu yerda olimlar issiqlik tashuvchi sifatida konturga eritilgan natriy joylangan variantni tanlashga qaror qildilar.

Natriy, ishqorli metall, o'ta aktiv element bo'lib, u suv bilan qizg'in ta'sirlanib (hatto uning havodagi bug'lari bilan ham), ozroq qizdirilganida ham alangalanib ketadi. Shunga qaramay, uni reaktorda qo'llashga qaror qilindi. Albatta, bu tavakkalchilik bilan bog'liq edi, ammo uni quyidagi mulohazalar bilan oqlash mumkin:

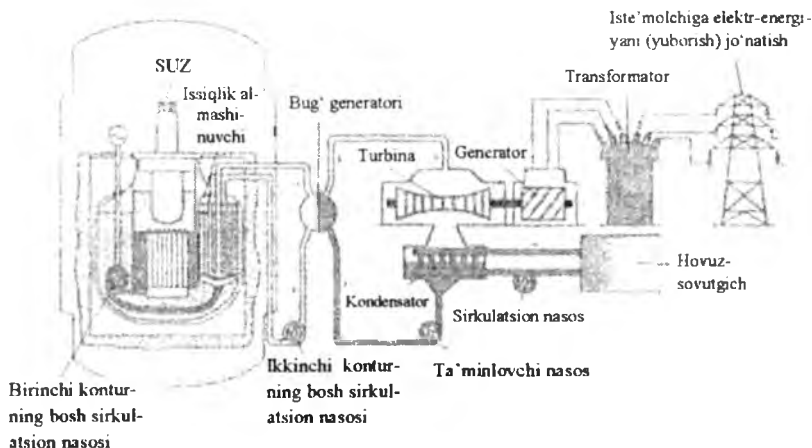
birinchidan, issiqlik neytronlarida ishlaydigan yadroviy reaktorlarda faqat ^{235}U qo'llanadi. Uning tabiiy uran tarkibidagi miqdori – bor-yo'g'i 0,7%. Tabiiy aralashma ichida asosiy izotop esa ^{238}U (99% dan ortiq) bo'lib keladi. Ammo undan issiqlik reaktorlarida (dunyoda ular ko'pchilikni tashkil qiladi) yoqilg'i o'rnida foydalanib bo'lmaydi, chunki u issiqlik neytronlarida bo'linish xususiyatiga ega emas. Tezkor neytronlardagi reaktorda esa ^{238}U ni yana bir bo'linadigan (parchalanadigan) izotop - ^{239}Pu ishlab chiqarish uchun samarali qo'llash mumkin;

ikkinchidan (bu tezkor neytronlarda ishlaydigan reaktorlarning asosiy ustuvor jihati), ularda joylanganiga nisbatan ham ko'proq yadro yoqilg'isi olish mumkin. 1-bobda aytib o'tilganidek, ^{238}U dagi neytronlar bilan o'zaro ta'sirlanib, plutoniy izotopi - ^{239}Pu ishlab chiqiladi. Bu plutoniydan faqat yadro bombasini tayyorlashdagina emas, balki tezkor neytronlardagi reaktor uchun yoqilg'i sifatida ham foydalanish mumkin. Shunday bo'lib chiqadiki, biz 100 kg bo'linadigan izotop yoqamiz va bunda 120-140 kg, ya'ni sarflaganimizga nisbatan ko'proq yangi yadro yoqilg'i olamiz. Ana shu xususiyati tufayli tezkor neytronlarda ishlaydigan reaktorlar briderlar (ingl. breeder) deb nomlanib, bu «ko'paytirgichlar» degan ma'noni anglatadi.

Briderlar yer ostidan uranni qazib olib, uni tozalash va boyitish zaruratini istisno etadilar (bu element zaxirasi birmuncha cheklangan). Ana shunday reaktorlar bilan biz yadroviy yoqilg'ining deyarli tugamaydigan manbaiga ega bo'lamiz.

BR-5 – issiqlik tashuvchi sifatida natriy qo'llangan birinchi tezkor reaktor 1959-yilda ishga tushirilgan edi. 1968-yilda BOR-60 ishga tushgan bo'lsa, 1973-yilda - BN-350 ishlatib yuborildi. 1980-yili (bugunga qadar ishlab kelmoqda) BN-600 reaktori bo'lgan energoblok (quvvati 600 MVt ga teng bo'lgan elektr) - dunyodagi dastlabki reaktor-ko'paytirgichiga ega bo'lgan yirik yadroviy

uskuna ishga tushdi (3.22-rasm). AQSH, Buyuk Britaniya, Fransiya, Germaniya kabi davlatlar ham tajribani o'zlashtirishga urinib ko'rdilar, ammo tezkor reaktor bilan bog'liq xorijiy loyihalardan birontasi muvaffaqiyat keltirmadi. Shu sababli, hamon BN-600 tezkor neytronlarda ishlaydigan reaktori bo'lgan dunyodagi yagona yirik ko'lamli qurilma bo'lib kelmoqda.



3.22-rasm. BN-600 reaktori bo'lgan energoblok sxemasi

VVER-1200 tipidagi reaktorli yadroviy energobloklar, suzuvchi atom elektrostansiyalari (PATES) evolyutsion, ilg'or loyihalardan bo'lib hisoblanadi. Bu esa ularda ma'lum, vaqt sinovidan o'tgan, yechimlar qo'llanishini anglatadi: ular o'zlaridan avvalgi qurilmalarga o'xshab ketadilar. VVER-1200 reaktori VVER-1000 dan «kelib chiqqan» bo'lsa, PATES uchun muzyorlar kemalarda o'rnatiladigan reaktorlar prototip vazifasini o'tagan. Shu bilan birga, yadroviy energetika uskunalarining istiqbolli tiplari mavjud bo'lib, ularda yadroviy yoqilg'ini yoqish hisobiga elektr-energiya ishlab chiqarish texnologiyalariga tubdan yangicha yondashuvlar taklif qilingan. BN tipidagi reaktor bir vaqtlar ana shunday yangi, innovatsion loyiha bo'lgan edi: haqiqatan ham, issiqlik tashuvchi sifatida suv o'rniga eritilgan natriydan

foydalanish g'oyasi 50 yil ilgari o'ta yangicha va g'aroyib g'oya bo'lib ko'ringan. Bugungi kunga kelib, issiqlik tashuvchisi qo'rg'oshin bo'lgan, tezkor neytronlarda ishlaydigan reaktorlarni («BREST» tipidagi) hamda termoyadroviy reaktorlarni innovatsion loyiha deb aytish mumkin. Ushbu loyihalarni hayotga tatbiq etish uchun ham intellektual, ham moliyaviy jihatdan juda katta kuch va xarajatlar talab etiladi, ammo bu texnologiyalar ro'yobga chiqib, innovatsion g'oyadan an'anaviy ko'rinish olsa, aynan ular yadroviy energetikaning yangicha «qiyofasi»ni shakllantiradilar deb umid qilish mumkin.

Yuqori xavfsizlik va tejamkorlik talablariga javob beradigan hamda tezkor qo'rg'oshin issiqlik tashuvchisi «BREST» reaktori bo'lgan atom elektrostansiyalari – bu to'lig'icha Rossiyada ishlab chiqilgan loyiha. Uni ishlab chiqish bilan shug'ullanadigan bosh tashkilot – eng yirik yadroviy ITI lardan biri – N. A. Dollejal nomli Energotexnika ilmiy tadqiqot va konstruktorlik instituti (NIKIET). Loyiha doirasida quvvati 300 va 1200 MVt ga teng ikkita qurilma ishlab chiqildi. «BREST» reaktori, aslida, BN reaktoriga o'xshab ketadi – biroq, agar BN da natriyli issiqlik tashuvchi qo'llansa, BREST da aktiv zona eritilgan qo'rg'oshin yordamida sovutiladi.

Qo'rg'oshinning erish harorati natriyga nisbatan ancha balandligi sababli, konturni to'ldirish va unda zarur parametrlarni saqlab turishni texnologik jihatdan amalga oshirish birmuncha murakkab; biroq bugungi kundagi texnika taraqqiyoti bu vazifani uddalash imkonini beradi. Qo'rg'oshinning kimyoviy faolligi birmuncha pastligi tufayli, undan natriy o'rniga foydalanish xavfsizlik darajasini yaxshilash imkonini yaratadi. Hatto tashqi to'siqlarni (reaktor binosi, korpus qopqog'i va b.) buzish bilan kechgan eng yirik avariya (shu jumladan diversiyalar) ham aholini evakuatsiya qilinishi va yer maydonlarining uzoq muddatga foydalanishdan chiqarilishiga olib keladigan radioaktiv moddalar portlab, ajralib chiqishiga sabab bo'lmaydi.

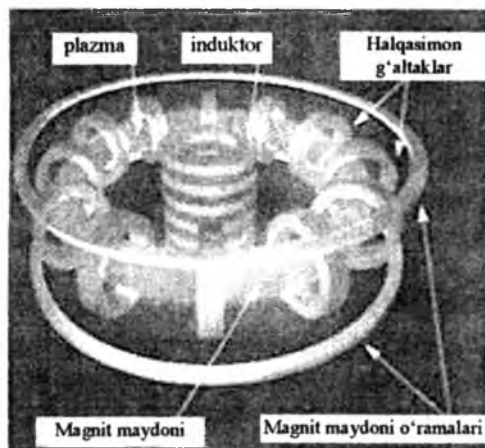
Yuqorida aytib o'tilganidek, yadroviy energiyani tarkibida 235U yoki 239Pu ga ega bo'lgan materialda bo'linish zanjirli reaksiyasini uyushtirish bilan olish mumkin ekan. Biroq birinchi yadro reaktori va dastlabki yadro bombasi yaratilganidan keyin

ko'p o'tmay, buning muqobil varianti ham topildi. Ma'lum bo'lishicha, agar vodorod izotoplari - deyeriy (D) va tritiyni (T) olib, ular bir kameraga joylab, bu aralashmani ulkan haroratga qadar qizdirilsa (Selsiy bo'yicha yuzlab million darajaga yaqin), bu holda yadroviy sintez reaksiyasi boshlanar ekan. Deyteriy va tritiy qo'shilib, ulardan geliy yadrosi hosil bo'ladi va yoqilg'i massa birligiga uran yoki plutoniyl bo'linishiga nisbatan ham ko'proq energiya ajralib chiqadi.

Olimlar oldida bu kabi ulkan haroratlarda ishlaydigan qurilma yaratish muammosi yuzaga keldi, chunki qizigan plazma hatto har qanday eng pishiq, qiyin eriydigan materialni ham eritish bilan birga, hatto bug'lantirib yuborishga ham qodir. Bu muammoning yechimini sovet olimlari - A. D. Saxarov (1921-1989) va I. Ye. Tamm (1895-1971) topdilar. Masala quyidagicha hal etildi: tok o'tkazuvchan g'altaklardan toroidal (ya'ni halqasimon) kamera shakllantirilib, u deyeriy va tritiy aralashmasi bilan to'ldiriladi. G'altaklar bo'ylab o'tgan tok toroidal magnit maydonini yaratadi. Halqa markazida joylashgan induktor yordamida uyurmali elektr maydoni hosil qilinadi va u toroidal kamerada tok oqib o'tishi va plazma yonishini keltirib chiqaradi.

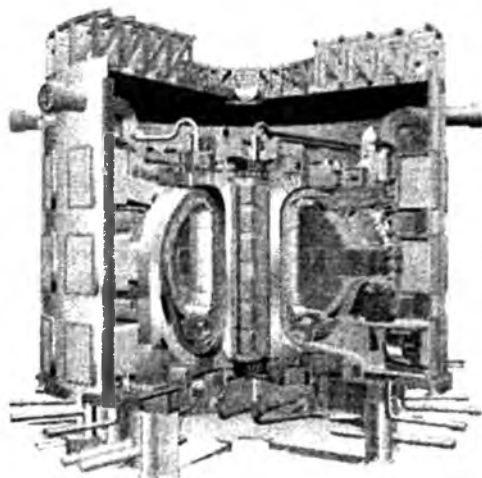
Bu tok, birinchidan, plazmani qizdirib, ikkinchidan – shuningdek magnit maydonini (poloidal deb ataladi) hosil qiladi. O'ziga xos tizim hosil bo'lib, unda o'rama (vintsimon) magnit chiziqlari plazmani chulg'ab olib, uni kamera ichida tutib turadilar. Plazma halqasini boshqarish uchun tizim tarkibiga shuningdek poloidal chulg'amlar ham kiradi (3.23-rasm).

Ilk marotaba bu tamoyilni 1968-yili Novosibirskda qurilgan T-3 qurilmasida amalga oshirish mumkin bo'ldi. Uning nomi «tokamak»: magnit g'altakli halqasimon kamera (rus tilida: Тороидальная камера с Магнитными катушками) (3.23-rasm). T-3 muvaffaqiyatli ishga tushirilgani dunyoda haqiqiy inqilob qildi: axir tokamak – kelajak energetikasining kaliti, unda energiya uran yoki plutoniylning og'ir yadrolari bo'linishi emas, balki deyeriy va tritiyning termoyadro sintezi hisobiga ajralib chiqadigan reaktorning dastlabki ko'rinishidir.



3.23-rasm. Tokamakning tuzilishi.

Olimlarning bu ixtirosi hozirda Fransiyada qurilayotgan eksperimental termoyadro reaktori (ITER – International Thermonuclear Experimental Reactor) xalqaro loyihasi asosini tashkil qilgan (3.24-rasm).



3.24-rasm. ITER tuzilishi.

ITER kelajakda termoyadro elektrostansiyalari davrini boshlab beradi deb faraz qilinmoqda. Agar mavjud muammolar hal qilinib, nisbatan arzon bloklar ishlab chiqilsa (olimlar fikriga ko'ra, bu masala 2075-2080-yillarga borib hal qilinadi), shunda insoniyat bitmas-tuganmas energiya manbaiga ega bo'ladi, chunki termoyadroviy reaktorlar suvdan olish mumkin bo'lgan va juda kam miqdorda ishlatiladigan vodorod izotoplarida ishlaydi. Termoyadroviy reaktor uran yoqilg'isida ishlaydigan yadroviy reaktorga nisbatan xavfsiz, radioaktiv chiqindilar deyarli ishlab chiqarmaydi va terrorchilar uchun hech qanday qiziqish paydo qilmaydi. Mutaxassislarning ko'rsatishicha, hatto bunday qurilmada ro'y bergan eng jiddiy radiatsion halokatlarda ham atrof-muhitga radioaktiv izotoplar tarqalmaydi hamda aholini evakuatsiya qilish zarurati kelib chiqmaydi.

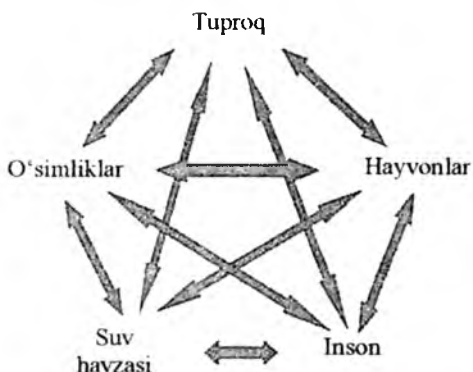
4-bob. ATOM ELEKTR STANSIYALARI FAOLIYATINING XAVFSIZLIGI VA EKOLOGIYAGA TA'SIRI

Radiatsiyaning inson sog'lig'i uchun o'ta xavfli ekanligi ancha ilgari aniqlangan. Misol uchun, yo'l qo'yiladigan nurlanish dozasi me'yorlarini belgilab beradigan normativ hujjatlar Ikkinchi jahon urushidan avval paydo bo'lgan. Yadroviy obyektlarda radiatsion xavfsizlik (RX-RB), birinchi navbatda ishchi-xizmatchilar, undan keyin aholi va atrof-muhit xavfsizligini ta'minlaydigan chora-tadbirlarni ishlab chiqish boshlandi. Butun dunyoda yadroviy sohada RX ni ta'minlash masalalariga juda katta e'tibor qaratiladi; radioaktiv moddalar bilan yoki ionlanuvchi nurlanishlar sharoitlarida ishlash ko'zda tutilgan har bir loyiha sinchiklab tekshiriladi. Maxsus «Radiatsion xavfsizlik me'yorlari-99/2009», shuningdek «Radiatsion xavfsizlikni ta'minlashning asosiy sanitariya qoidalari-99» mavjud bo'lib, ular ishchi-xodimlar va aholiga ko'rsatiladigan ionlanuvchi nurlanishlar ta'siri chegaralarini (me'yorlarini) belgilab beradilar. Yadroviy tarmoqning har bir korxonasidagi mavjud bo'lgan radiatsion xavfsizlik xizmati joylarda me'yorlar va qoidalar talablari bajarilishini qat'iy nazorat qilib turadi. Mazkur bobda AES hamda unda ishlaydigan ishchi-xodimlar, shu bilan birga atrof-muhitning xavfsizligini ta'minlash maqsadida chora-tadbirlar ko'rib chiqilgan.

XX asrning ikkinchi yarmida yadroviy tarmoqning faol taraqqiy etishi Rossiya va MDH mamlakatlarida katta maydonlarning radioaktiv ifloslanishiga olib keldi. Bu, bir tarafdin, boshlang'ich bosqichda atrof-muhitni asrash bo'yicha chuqur o'ylangan chora-tadbirlar ko'rilmaganligi, shu bilan birga radiatsiya bilan bog'liq halokatlar va avariya natijasida ro'y berdi. 1957-yili SSSR dagi «Mayak» kombinatida radiatsion avariya ro'y berib, uning oqibatida havoga 2 mln. kyuriga yaqin

radioaktiv moddalar chiqarib yuborildi va ular 23000 km² hududni iflosladi.

1957-yilda «Mayak» kombinatida ro'y bergan avariya tufayli keng ko'lamli tadqiqotlar amalga oshirilib, ular davomida radionuklidlarning turli tabiiy muhitlar - tuproqda, suvda, atmosferada, «o'simliklar-jonivorlar-inson» trofik tizimlarida siljib yurishi ortidan o'ta noyob kuzatuvlar bajarildi. Zamonaviy olimlar shuningdek radionuklidlarning atrof-muhitda va trofik zanjirlarda sijib yurishi masalalariga katta e'tibor beradilar, chunki radionuklidlarning inson organizmiga ko'plab kirish yo'llari mavjud: nafas yo'llari, teri orqali, suv va ovqat bilan.



4.1-rasm. Radionuklidlarning ekotizimlar komponentlari bo'yicha taqsimlanishi.

1986-yilning 26-aprelida Chernobil AESida yana ham og'ir oqibatlar keltirib chiqargan avariya sodir bo'ldi. 1986-yil 26-aprel kuni mahalliy vaqt bilan soat 1 dan 23 daqiqa o'tganida Chernobil AESining to'rtinchi blokida (1982-yilning dekabrda ishga tushirilgan RBMK-1000 da) reaktorning faol qismi hamda u joylashgan bino bir qismining vayron bo'lishi bilan kechgan og'ir avariya yuz berdi. Avariya stansiyada o'tkazilayotgan «turbinaning maxsus rejimi» da (ya'ni turbinaning unga bug' uzatilishi to'xtatilganidan keyin inersiya bo'yicha aylanishi) elektr energiyasi olish

bo'yicha o'tkazilgan tajriba oqibati bo'ldi. Eksperiment davomida reaktor nobarqaror rejimga kirib, me'yoriy hujjatlarga binoan, bunday holatda uni to'xtatish talab etilar edi. Biroq, bu vaziyatda xodimlar tajribani davom ettirish to'g'risida, butkul noto'g'ri, qaror qabul qilganlar.

Bundan tashqari, barcha yo'riqnomalarga zid ravishda, favqulodda (avariyaviy) himoya o'chirib qo'yilgan (jarayonning o'tkazilishiga «xalal bermaslik» uchun). RBMK ning konstruktiv xususiyatlari va ishchi-xodimlarning, shundan keyingi noto'g'ri harakatlari birgalikda, reaktorning qizib portlashiga sabab bo'ldi. Atrof-muhitga yoqilg'i fragmentlari chiqarilib (reaktorga joylangan barcha uran massasining taxminan 3-3,5% qismi), 145 ming km² ga teng bo'lgan hudud radionuklidlar bilan ifloslandi, millionlab odamlar jabrlanganlar qatoriga kiritildilar (biroq statistika ma'lumotlari quyidagilarni ko'rsatdi: 31 kishi bevosita portlash vaqtida va undan keyingi dastlabki kunlari halok bo'lib, yana o'nlab odamlar esa keyinroq vafot etgan). Radioaktiv moddalarning bundan keyin ham atrof-muhitga chiqib ketishiga yo'l qo'ymaslik maqsadida, Chernobil AESning 4-bloki ustida qisqa muddatlarda «Boshpana-Ukritiye» obyekti» yoki (xalq orasidagi nomi) «Sarkofag» tiklandi (4.2-rasm).

Qayd etish lozimki, avariya keltirib chiqargan asosiy sabablardan biri deb, AESni o'rta mashinasozlik vazirligidan (ilgari Atom energetikasi vazirligi shu nom bilan atalgan, bugungi kunda «Rosatom» davlat korporatsiyasi shaklida mavjud) Ukraina energetika vazirligi ixtiyoriga o'tkazilishi to'g'risidagi siyosiy qaror deb hisoblamodqalar. Boshqacha qilib aytganda, yadro reaktorlari aslida issiqlik stansiyalari va qozonxonalarga tenglashtirib qo'yildi. Yadroviy energetika o'z ishlab chiqarish bazasidan, professional tayyorlangan kadrlaridan, ishlab chiqilgan boshqarish va xavfsizlik tizimidan, o'nlab yillar davomida yig'ilgan yadroviy obyektlardan foydalanish tajribasidan ajralib qoldi. AES ga rahbarlik atomchi-mutaxassislar qo'lidan atom sanoatiga umuman aloqasi bo'lmagan odamlar qo'liga o'tib qoldi.



4.2-rasm. Chernobil AESining 4-bloki.

Bu esa AES rahbariyati tubdan o'zgarishiga olib kelib, Chernobil atom elektrostansiyasi direktori va bosh muhandisi maxsus «yadroviy» ma'lumotga ega bo'lmagan g'alati va nomaqbul vaziyatni keltirib chiqardi. Mazkur qo'llanmada halokat va uning oqibatlarini bartaraf etish to'g'risida batafsil so'zlab o'tirishdan foyda yo'q, endi uning saboqlarini o'zlashtirish, xulosalar chiqarish ancha muhim bo'lib ko'rinadi. Avariya dan keyingi o'tgan davr mobaynida butun dunyo mutaxassislari tomonidan uning sabablari va oqibatlari sinchiklab tahlildan o'tkazildi. Chernobil avariya si xavfsizlik asosini tashkil qiladigan qator elementlarda, birinchi navbatda, ekspluatatsiya qilishda o'ta qo'pol xatolarga yo'l qo'yilganligini namoyish etib, unda «xavfsizlik madaniyati, reglamentdan tashqari harakatlarning xavflilik me'yori butkul anglanmaydigan darajada, pastligi bilan» tavsiflanadi (Chernobil AESida, normativ hujjatlarga binoan, reaktor to'xtatilishi shart bo'lgan sharoitda ham tajriba ishlari to'xtatilmagan).

Yadroviy energetika sohasida va uning jamiyat uchun ochiqqligini ta'minlashda juda ko'p narsalarni o'zgartirish kerak edi. Yadroviy majmuaning monopollashtirilishi, SSSR sharoitlarida, tarmoqda qudratli ilmiy-ishlab chiqarish salohiyatini, yuksak texnik madaniyat va intizomni yaratdi, bu tizim qurol yaratilishi

bilan bog'liq va harbiy muvozanatni saqlash masalalarining zudlik bilan hal qilinishiga olib keldi. Xuddi ana shu tashkiliy tizim yadroviy energetika rivojlanish shart-sharoitlarini va uning birinchi – tiklanish bosqichidan tez o'tilishini ta'minladi. Ammo AES larning ommaviy tatbiq etilishi, ularni «fuqarolik qo'llariga» topshirish zarur bo'lgan sharoitlarda, boshqa tarmoq muhandislarining, yetarli bo'lmagan, texnologik madaniyatiga duch keldi (birinchi navbatda, yadroviy bo'lmagan energetikadan kelgan). Shu bilan birga, qaror qabul qilishdagi monopolizm an'analari, nazorat qiluvchi organlarga ko'rsatilgan bosim xavfsizlik muammolariga yetarli e'tibor berilmasligiga olib keldi.

Chernobil voqeasidan keyingi o'tgan besh yillik (1986-1991) natijalarini sarhisob qilib aytish mumkinki, Chernobil, zudlik bilan bo'lmasa ham, yadroviy muammolarni hal qilishga millionlab odamlarni jalb etdi. Avariya, vaqtiga ko'ra, mamlakatda boshlangan siyosiy o'zgarishlar davriga to'g'ri kelib, bu esa yadroviy energetika taqdirini jamoatchilik fikriga bog'lab qo'ydi. Bunda Chernobil avariyasidan siyosiy maqsadlarda foydalanish muammoni yana ham og'irlashtirdi.

Chernobil avariyasidan so'ng jahon yadro energetikasi sohasida, Sovet Ittifoqidagi kabi chuqur bo'lmasa ham, biroq bir muncha jiddiy tanazzul yuz berdi. AQSHda yangi bloklar qurilishiga avvalroq berilgan buyurtmalar bekor qilinib, Italiya esa 1988-yilning aprelida, yadro energetikasidan (ishlab turgan yoki qurilish jarayonidagi, umumiy quvvati 7 GVt ga teng bo'lgan 8 ta blokka ega bo'la turib) umuman voz kechishga qaror qildi. Germaniya 1989-yilda Berlin devori qulaganidan so'ng, o'z hududida yadro yoqilg'isini qayta ishlashga ixtisoslashgan zavod qurish fikridan qaytdi.

Tabiiyki, 1986-yilgi texnogen inqiroz SSSR yadroviy energetikasining (shu bilan birga jahon energetikasini ham) jadal taraqqiy etish dasturini to'xtatib qo'yg'anligiga qaramay, uni yo'q qilib yubormadi. Jahon yadroviy tarmog'i uchun o'ta jiddiy saboq bo'lish bilan birga, Chernobil halokati, mutaxassislarning hamda jamiyatning yadroviy energetikaga bo'lgan qarashlari tubdan qayta ko'rib chiqilishiga, o'zgarishiga olib keldi. Jamiyatda qurbonlar

sonini minglab marotaba ko'paytirib, Chernobil fojeasiga nisbatan o'ta noxolis munosabatda bo'lish hollari hamon uchrab turadi.

Bu o'ta jiddiy, ulkan, ammo katastrofik deyish qiyin bo'lgan hodisa oqibatlaridan (masalan, 2004-yilgi 280 ming kishining hayotiga zomin bo'lgan sunamidan farqli o'laroq) hamon «yashillar» va ommaviy axborot vositalari unumli foydalanib keladilar, shunday bo'lsa ham, bugungi kunda jamiyat yadroviy energetikaga umuman qo'rquvsiz, real nazar bilan qaraydi. Mutaxassislar, adolatli tarzda, xavfsiz yadroviy energiyaning muqobili yo'qligini uqtirib, 1986-yil saboqlaridan kerakli xulosa chiqarganliklarini ko'rsatmoqdalar. Masalan, bugungi kunda Leningrad, Kursk va Smolensk AESlarda ishlab turgan RBMK-1000 tipidagi «chernobil»reaktorlari (jami 11 ta reaktor) konstruksiyasiga o'zgartirishlar kiritilib, bundan tashqari, bu loyiha reaktorlari endi qurilmaydigan bo'ldi – ular o'rnini VVERlar, kelajakda esa - BN tipidagi tezkor neytronlarda ishlaydigan reaktorlar egallaydi.

Chernobil AES fojeasi dunyo bo'yicha ro'y bergan dastlabki yirik radiatsion avariya emas. 1979-yilning 28-martida «Tri-Mayl-Aylend» AESida (Garrisburg, Pensilvaniya shtati, AQSH) jahon yadroviy energetikasi tarixida kattaligi bo'yicha ikkinchi o'rinda turadigan avariya ro'y berdi. U radionuklidlarning oz miqdorda bo'lsa ham, stansiyadan tashqariga chiqib ketishiga olib keldi.

«Tri-Mayl-Aylend»dagi avariya shundan iborat ediki, reaktor konturidan issiqlik tashuvchi(suv)ning asta-sekin oqib chiqib ketishi yoqilg'inimg va undagi mavjud radionuklidlarning qisman erib, tashqariga chiqib ketishiga olib keldi. O'rganish natijalari bo'yicha avariya sababi sifatida, «uskunalar ishdan chiqishi hamda operatorlarning reaktor holatini tushuna olmasligi» uyg'unligi ko'rsatildi.

«Tri-Mayl-Aylend»dagi hodisadan so'ng AQSHda AES bloklarini qurishga berilgan buyurtmalar ommaviy tarzda bekor qilina boshladi. Dunyoda hamon Tri-Mayl-Aylend, AESlar xavfliligining dalili sifatida esga olinib, avariyaning batafsil texnik bayoni esa yadroviy energetika uskunalaridan foydalanish bo'yicha ko'plab nashrlarda keltiriladi.

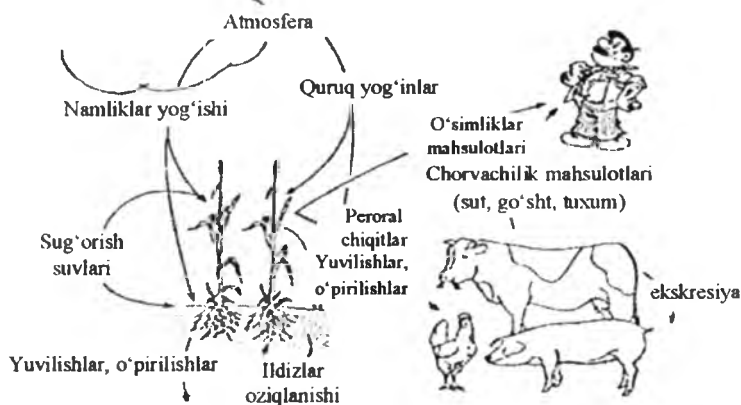
Xuddi ana shu 1979-yilning o'zida, Hindistonning Gudjarat shtatida suv gidroelektrostansiya to'g'onini buzib, natijada 15 ming kishi halok bo'ldi; biroq bu halokat to'g'risida hech kim eslamaydi va uni odamlar deyarli unutganlar. Lekin atom energetikasi xavfi haqida so'z borganida, Tri-Mayl-Aylend juda ko'p tilga olinadi. Bunda yaqqol noxolislik va bir tarafga ustuvorlik bilan qarash ko'zga tashlanadi. Shunday bo'lsa ham, bu avariya jahon yadroviy energetikasi rivojiga juda katta ta'sir ko'rsatdi, deb aytish qiyin.

1986-yildan boshlab, radionuklidlarning atrof-muhitda taqsimlanishini (va atrof-muhitni ulardan tozalashni) o'rganishga bag'ishlangan ishlar Chernobil AESidagi avariya sababli yana faollashdi. Masalan, Rossiya Fanlar Akademiyasi Moskva «Radon» ilmiy ishlab chiqarish birlashmasi bilan hamkorlikda Chernobil avariya natijasida radioaktiv zararlangan tuproqning 100 dan ortiq namunasi tahlildan o'tkazildi. Bundan maqsad ikki savolga javob topishdan iborat edi: bu tuproqni tozalash yo'llari qanday va unda qishloq xo'jaligini yuritish mumkinmi?

Ionlashtiruvchi nurlanishning tirik organizmlarga, ularning tizimlariga ta'sirini va ushbu masalaning radionuklidlar Yer yuzasida taqsimlanishi (atmosfera, Jahon okeanida, yer qobi-g'ida) bilan bog'liqligini o'rganish masalasi bilan radioekologiya fani shug'ullanadi. Radioekologiya paydo bo'lishi V.I. Vernadskiy ishlari bilan bog'liq bo'lib, u 1910-1920-yillarda ilk marotaba jamiyat diqqatini radioaktivlikning atrof-muhitga va biosferaga ta'sir ko'rsatishi mumkinligiga qaratdi.

Yer yuzidagi barcha tirik organizmlar, demak, inson ham, kosmik nurlanish hamda atmosfera, suv, tuproq, tog' jinslari, qurilish va boshqa materiallardagi radionuklidlarning doimiy nurlanishi ta'sirida bo'ladilar. Bunda tirik organizmlarga yadroviy tarmoq korxonalari faoliyati jarayonida hosil bo'ladigan texnogen radionuklidlar emas, balki tabiiy radionuklidlar: ^{40}K , ^{235}U , ^{238}U , ^{232}Th va ular parchalanishining hosilalari, shuningdek, kosmik nurlanish ta'sirida atmosferaning yuqori qatlamlarida hosil bo'ladigan kosmogen radionuklidlar (^{14}S , ^3N va b.) eng ko'p ta'sir qiladilar. Eng xavfli texnogen radionuklidlardan ^{137}Cs va ^{90}Sr , shuningdek ^{131}I , ^{144}Ce , ^{85}K , ksenon izotoplari (^{90}Xe), uranning

sun'iy (U) izotoplari, neptuniy (Np), plutoniy (Pu), - ularning xavflilik darajasi yarim parchalanishining uzun davri va/yoki tarqatilayotgan ionlashtiruvchi nurlanishning katta energiyaga egaligi bilan bog'liq. Radionuklidlarning radioaktiv chiqindilar saqlanadigan, shuningdek ko'milgan joylarga, shuningdek uran va toriy rudalari joylashgan zonalaridan siljib borish yo'llariga, radionuklidlar kirgan kimyoviy shakllarga, ana shu shakllarning suv bilan ta'sirlashish (gidroliz), oksidlanish va tiklanish imkoniyatiga hamda boshqa omillarga bog'liq. Oqibatda, atrof-muhitda tarqalib ketgan radionuklidlar tirik organizmlar (o'simliklar va jonivorlar) tomonidan o'zlashtirilib, bunda ular inson organizmiga nafaqat bevosita yo'l bilan (nafas olishda, ichimlik suvi bilan birga va h.k.), balki murakkab ozuqa zanjirlari orqali ham kelib tushishi mumkin (masalan, ^{90}Sr ko'proq o'simliklar - o'simlikxo'r jonivorlar - sut zanjiri bo'yicha kelib tushishi mumkin, 4.3-rasm). Radioekologiya­ning muhim vazifasi - radionuklidlarning inson organizmiga tushish yo'llarini o'rganish va tegishli himoya choralarini ishlab chiqishdan iborat.



4.3-rasm. Radionuklidlarning qishloq xo'jalik zanjirlari orqali asosiy harakatlanish yo'llari sxemasi.

Zamonaviy radioekologiya ko'plab fanlar bilan bog'liq holda rivojlanadi. Misol uchun, yadro fizikakasi va yadro geofizikasi radiatsiya maydonlarini, ya'ni atmosfera, suv havzalari, tuproq, tog' jinslarida ionlanuvchi nurlanish manbalari taqsimlanishini; radioximiya (radiokimyo) – suv aralashmalari va aerozollardagi radionuklidlar holatini tadqiq etish, radionuklidlarning atrof-muhitdagi siljib yuradigan kimyoviy shakllarni aniqlash ham ana shu shakllarning o'zgarishini o'rganish imkonini beradi. Radiobiologiya turli organizmlar va ularning alohida organlarida radionuklidlarning jamlanishi xususida (masalan, ^{90}Sr asosan suyaklarda, ^{131}I esa–qalqonsimon bezda yig'ilishi ma'lum), ionlanuvchi nurlanishning inson sog'lig'iga va boshqa tirik organizmlarga ta'siri to'g'risida ma'lumot beradi. Ionlanuvchi nurlanish dozasi va uning quvvatini hisoblab aniqlash uslublari dozimetriyada ishlab chiqilgan.

Radioekologik tadqiqotlar jarayonida olinadigan ma'lumotlar yadro qurolini sinashlarni to'xtatish hamda uni ishlab chiqarishni qisqartirishga qaratilgan xalqaro bitimlarni ishlab chiqishda muhim o'rin tutadi; shu jumladan radioaktiv chiqindilarni ko'mish tartibini, yadroviy reaktorlar xavfsiz ishlashini, yadroviy tarmoq korxonalari ishchi-xizmatchilari mehnat sharoitlarini, radioaktiv jihatdan ifloslangan hududda qishloq xo'jalik ishlarini amalga oshirish, aholi tomonidan qishloq xo'jalik va boshqa mahsulotlardan foydalanish imkoniyatlarini va shu kabilar tartibini belgilaydigan normativ hujjatlar aynan ularga asoslanadi.

Yuqorida aytilganidek, yadro energobloklarining ishlashida xavfsizlikni ta'minlash qurilmani loyihalashtirishdagi eng muhim vazifalardan biri. Normal ekspluatatsiya jarayonida va loyiha bo'yicha avariyalarda atrof-muhitga chiqarilgan radioaktiv moddalar miqdori normativ hujjatlarda belgilangan darajadan ortib ketmasligi lozim. Radioaktiv gazli chiqindilarni tozalash va chiqarib tashlash tizimlari atmosfer havosining yer ustiga yaqin qatlamining «Radiatsion xavfsizlik me'yorlari»da ko'rsatilgan qiymatlardan yuqori darajada ifloslanish imkoniyatini isitisno etadilar.

Shuningdek ishchi xonalari havosini maxsus filtrlar bilan jihozlangan kuchli ventilatsiya tizimlari yordamida tozalash ham ko'zda tutilgan. AESlarning radioaktiv ifloslangan suvlari maxsus tozalashdan o'tib, takroran qo'llanilishi mumkin, ya'ni ular ochiq suv havzalariga chiqarilmay, balki AESda qayta ishlatiladi. Atom stansiyasining xavfsizligi, asosan, quyidagi talablar bajarilishi bilan ta'minlanadi:

AESni joylashtirish uchun maydonni to'g'ri tanlash hamda uning aholi yashash punktlaridan yetarli darajada uzoqligini ta'minlash;

uning ichkarisida aholi yashashi va AESga tegishli bo'lmagan xo'jalik faoliyat yuritishi taqiqlangan zarur sanitariya-himoya hududi(zonasi)ni belgilab qo'yish;

AESni xavfsizlikni ta'minlash tizimlari bilan jihozlash;

uskunalarining o'ta yuqori darajada sifatli tayyorlanganligi, montaji, ta'mirlanishi va rekonstruksiya qilinishi;

barcha tizimlarning ishonchli holatini saqlab turish (buning uchun uskunalar vaqti-vaqti bilan nazorat qilinib, ularning ish qobiliyati tekshiriladi, ta'mirlanadi);

ishchi-xodimlar uchun yuqori darajadagi xavfsizlik mada-niyati.

AES normativ ekspluatatsiyasi deganda reaktorni ishlatib yuborish va uni to'xtatish, yoqilg'ini qayta joylashtirish, profilaktika va ta'mirlash ishlari kabi operatsiyalarni hisobga olgan holda loyihada ko'zda tutilgan ekspluatatsiya rejimlari doirasida kechadigan elektr energiyasi va issiqlik ishlab chiqarish bilan bog'liq texnologiya jarayonini tushunish kerak.

Normal ekspluatatsiya rejimidagi AES issiqlik elektrostansiyalaridan ko'plab ijobiy jihatlari bilan farq qiladi, chunki havo va atrof hududni kul, oltingugurt gazi, azotoksidlari chiqarish bilan ifloslamay, ulkan miqdorda kislorod iste'mol qilmaydi va sh.k. Shuni ham aytish kerakki, atom elektrostansiyalaridan normal foydalanishda aholi va atrof-muhitga qattiq yoqilg'ida ishlaydigan issiqlik elektrostansiyalariga nisbatan ham kamroq radiatsiya ta'siri ko'rsatadi. Buni issiqlik elektrostansiyalarida yoqiladigan ko'mir, ozroq miqdorda bo'lsa ham, tabiiy radionuklidlarga ega ekanligi,

ular kul bilan birga elektrostansiyadan tashqariga chiqarib yuborilishi bilan izohlash mumkin. Ba'zi ma'lumotlarga ko'ra, ko'mir yoqilg'isida ishlaydigan issiqlik elektrostansiyasidan taxminan 20 km naridagi radiatsion fon, tabiiy radionuklidlarga ega bo'lgan chiqindilar hisobiga quvvati VVER reaktorlari bilan teng AESlarga nisbatan 40 marotaba yuqori bo'ladi.

Ishchi-xodimlar, aholi va atrof-muhitga ko'rsatiladigan radiatsion ta'sir AES normal ishlab turganida gaz-aerazol radioaktiv chiqarishlar, suyuq va qattiq chiqindilar ko'rinishidagi radioaktiv moddalar chiqarish hisobiga, AES xonalarida ishlayotgan va uskunalarga xizmat ko'rsatayotgan ishchi-xodimlarning nurlanishi (asosan ta'mirlash ishlari paytida) orqali namoyon bo'lishi mumkin.

Sanitariya qoidalariga muvofiq 6000 MVt quvvatli atom elektrostansiyasi uchun normal ishlashda bir sutkada atmosferaga chegaraviy umumiy aktivligi taxminan 3000 Ki bo'lgan aerozollar va gazlar ko'rinishidagi radioaktiv gazsimon chiqindilarni chiqarib tashlashga yo'l qo'yilib, bunda inson hayoti uchun eng xavfli komponentlar alohida me'yorlashtiriladi. Masalan, radioaktiv yod uchun bu ko'rsatkich 0,06 Ki, oz muddat yashaydigan nuklidlar aralashmasi uchun – 1,2 Ki, uzoq muddat yashaydigan nuklidlar aralashmasi uchun – 0,09 Ki dan oshmasligi lozim.

AESdagi gazoerazolli chiqindilar – aholi va atrof-muhitga ko'rsatiladigan radiatsion ta'sirning bosh omilidir. Bu asosan suvni bug'lab maxsus tozalaydigan apparatlarning kondensatsiyalanmagan chiqindilari, 1-kontur uskunolari havo qurilmalaridan kelib tushadigan gazlar va b. Yuqori darajadagi aktiv va kam aktiv chiqindilar (sdvka) maxsus ventilatsiya tizimlarining aerazolli va ko'mirli filtrlarida tozalanib, shundan keyin ventilatsiyalanayotgan asosiy havo massasi bilan birga ventilatsiya trubasi orqali chiqarib tashlanadi va so'ng atrof bo'shliqda tarqatib yuboriladi.

Agar atom elektrostansiyalaridan chiqariladigan, masalan, VVER reaktorli AESlar uchun gazoerazolli chiqitlarining haqiqiy qiymatlari haqida so'zlanadigan bo'lsa, ular ko'p yillik kuzatuv natijalariga ko'ra yo'l qo'yiladigan chegaraviy miqdordan o'nlab

marta kam va inson hamda atrof-muhitga deyarli ta'sir ko'rsatmaydi.

Bunga qo'llanadigan issiqlik ajratuvchi elementlar va uskunalarning yuqori sifati, ta'minlanishi 1-konturning maksimal germetikligi, shuningdek AESda qudratli va yuksak darajadagi samarali maxsus ventilatsiya tizimlari va qurilmalarini o'rnatish orqali erishiladi. Bu tizimlarda maxsus filtrlovchi materiallar va konstruksiyalar qo'llanib, ular chiqarib yuborilayotgan havoning o'ta yuqori koeffitsiyentlariga erishish imkonini beradi. AES normal ishlaganida jamlanib qoladigan radioaktiv suyuq va qattiq chiqindilar shuningdek AES dagi va uning atrofidagi umumiy radiatsion vaziyatga katta ta'sir ko'rsatmaydi (ularning AES atrofidagi umumiy radiatsion vaziyatdagi ulushi ekspluatatsiya tajribasiga ko'ra 10-20% deb baholanadi).

AESning texnologik sxemasi hamisha radioaktiv konturlarida yopiq suv siklidan maksimal darajada foydalanishni, tabiiyki, AES da hosil bo'ladigan radioaktiv chiqindilar va tashlandiq suvlarni minimal miqdorga tushirish nafaqat AES xavfsizlik darajasini oshirishini, balki uning texnik jihatdan mukammalligi va ekspluatatsiya darajasining eng muhim ko'rsatkichi ekanligini nazarda tutgan holda loyihalashtiriladi.

Ishlatilgan yoqilg'i alohida chiqindilar toifasiga kiradi. Ammo uni saqlash va tashish ham shuningdek yadroviy va radiatsion xavfsizlikni ta'minlashga qaratilgan tashkiliy va texnik chora-tadbirlarning bajarilishini talab qiladi.

AES atrofidagi radiatsion vaziyat stansiyadan 10-30 km masofada barcha radiatsion komponentlar ustidan olib boriladigan batafsil dozimetrik, radiometrik va spektrometrik nazorat ostida turadi. Radionuklidlarning atmosferadagi, suvdagi, tuproqdagi, o'simliklardagi, qishloq xo'jalik mahsulotlari va oziq-ovqatlardagi konsentratsiyasining o'zgarishlarini, shuningdek tashqi γ -nurlanishning yillik dozalarini kuzatish ular deyarli to'lig'icha kosmik nurlar, Quyoshning nurlanishi tabiiy foni hamda ba'zi mamlakatlar tomonidan o'tkaziladigan yadroviy portlashlardan yuz beradigan global ifloslanishlar va shu kabilar bilan yaratiladigan radiatsiyaning tabiiy foni bilan belgilanishidan guvohlik beradi.

AESning normal ishlashida ekspluatatsiya bilan shug'ullanadigan ishchi-xodimlar uchun asosiy zararli ishlab chiqarish omili – bu nurlanishdir. U birlamchi, bevosita bo'linish reaksiyasida esa ikkilamchi, reaktor ishida aktiv zonada hosil bo'ladigan qudratli neytronlar oqimi hisobiga uskunalar va issiqlik tashuvchidagi to'g'rilangan aktivlikdan yuzaga keladi. Reaktor va radioaktiv konturning asosiy uskunalarini har bir AESda ham oddiy, ham maxsus markali betonlardan ishlanadigan massiv biologik himoya ichiga olingan bo'lib, u ishchi-xizmatchilarni neytron va γ - nurlanish ta'siridan saqlaydi.

Atom elektrostansiyasi xavfsizligining asosi, so'zsiz, uning avariyasiz normal ishlashidan iborat bo'lib, bu, yuqorida qayd etilganidek, loyiha, qurilish, montaj, ishga tushirish - sozlash ishlarining yuksak sifati hamda o'z vaqtida o'tkaziladigan diagnostika va ta'mirlash ishlari bilan ta'minlanadi. Ayniqsa ekspluatatsiyaning yuqori sifati ta'minlanishiga alohida e'tibor qaratish lozim bo'lib, u ko'p jihatdan ekspluatatsiya ishchi-xizmatchilari tayyorgarlik darajasi va malakasiga, shuningdek ularning ishlash sharoitlariga bog'liq bo'ladi.

Ekspluatatsiya xodimlarining yuksak malakaga hamda yaxshi tayyorgarlikka egaligi - AES xavfsizligini ta'minlashning o'ta muhim omilidir. Bu holda umumiy texnik tayyorgarlik darajasi bilan birga muayyan obyektga xizmat ko'rsatishga bo'lgan aniq tayyorgarlik ham jiddiy o'rin tutadi. Shunga bog'liq ravishda atom energetikasi xavfsizligiga zamonaviy yondashuvning muhim elementlari bo'lib xodimlarni tanlab olish, o'qitish, tayyorlash va avariya vaziyatlarida ularga qarshi harakatlarga o'rgatish tizimi, shu bilan birga operatorlarni kasbga tanlashning psixofiziologik uslublarini ishlab chiqish va tatbiq etish, ta'lim jarayonida turli avariya vaziyatlarni modellashtirish yordamida amaliy vazifalarni hal qila olish imkonini beradigan zamonaviy uslub va tizimlardan foydalanish hisoblanadi. Bunda reaksiya tezkorligi va axborotni qabul qilib olish tezligi, e'tiborni bir narsadan boshqasiga o'tkazish sur'ati, asab markazlarining harakatchanlik darajasi kabi sifatlar hal qiluvchi o'rin tutadi.

AES ishlash jarayonida nostatsionar, ayniqsa avariya vaziyatlari nisbatan kam uchraydi. Biroq aynan ana shunday anomal vaziyatlarda o'z vaqtida va malakali harakatlarning amalga oshirilishi o'ta muhim ahamiyatga ega.

AESlar ekspluatatsiyasi bilan shug'ullanadigan xodimlarni tayyorlashning zamonaviy konsepsiyasi, bayon etilgan talablarni hisobga olgan holda, nafaqat energoblokni real ekspluatatsiya sharoitlarida uni boshqarishning blokli shitlarini imitatsiyalashga qodir bo'lgan, shu bilan birga anomal va avariya vaziyatlari sharoitlarni ham yuzaga keltira oladigan maxsus trenajyor komplekslarida birlamchi va davriy o'qitish zaruratini ko'zda tutadi.

Avariya sharoitlaridagi radiatsion xavfsizlikni AES tizimlari va uskunalari jiddiy shikastlanganida namoyon bo'lishi mumkin bo'lgan va favqulodda ravishda kamdan-kam uchraydigan hodisa sifatida potensial xavf manbai razryadi sifatida baholanishi shart. Haqiqatan ham, kutilayotgan oqibatlar ko'lamli kattalashib borgani sari ro'y berishi mumkin bo'lgan avariya ehtimoli tobora kichrayib borishi tabiiy bo'lib ko'rinadi. Shu sababli, avariya xavfini bartaraf etish bo'yicha ishlab chiqilgan chora-tadbirlar AES ekspluatatsiyasi davrida kamdan-kam hollarda tekshiriladi: ular muhandislik yechimlari va farazlarining ma'lum mantiqiyligi, hisobiy, modelli eksperimental asoslash, xavfsizlik vositalari profilaktika choralari va shu kabilar bilan ta'minlanadi. Bu atom energetika uskunalari konstruktorlari va AES loyihachilarini xavfsizlik bo'yicha qabul qilinadigan qarorlarni asoslashda maksimal darajada konservativ yondashuvdan foydalanish, miqdor ko'rsatkichlarida baholash qiyin bo'lgan zaxiralarni joylab, bunda qabul qilinayotgan texnik yechimlar optimalliligiga kafolat bermaslikka majbur qiladi va AESga qilinadigan kapital xarajatlarni ancha ko'paytiradi, ammo bu ham normal ish faoliyatida, ham avariya vaziyatlarda stansiyaning talab darajasidagi xavfsizligini ta'minlash imkonini beradi.

Xavfsizlik ta'minlash masalasiga konservativ yondashuvhar bir AES loyihasida istalgan turdagi, hatto taxmin qilish qiyin bo'lgan, ammo AESdan foydalanish muddati davomida yuz berishi

mumkin bo'lgan har qanday avariya keltirib chiqaradigan radiatsion oqibatlarining majburiy tarzda ko'rib chiqilishini ko'zda tutadi.

Normativ-texnik hujjat AESni loyihalashtirish bosqichidayoq ehtimoliy avariylarning aniq (muayyan) to'plamini ko'rib chiqish hamda ana shu avariylar yuzaga kelgan holatida AES xavfsizligini ta'minlaydigan loyiha yechimlarini qabul qilinishini ko'rib chiqish ko'rsatmasini beradi. Shu sabab tufayli bunday avariylar «loyihaviy» avariylar deb nom oldi.

Suv-suv tipidagi VVER reaktorlar o'rnatiladigan AES loyihalarida yuz beradigan, eng xavfli radiatsion oqibatlar bilan kechadigan ehtimoliy avariylar tahlili natijasida loyiha bo'yicha maksimal avariya (MPA) sifatida nominal quvvat bilan ishlayotgan reaktor issiqlik tashuvchisining birinchi konturi o'z germetizatsiyasini yo'qotishi, maksimal diametrli quvurning issiqlik tashuvchi xalaqitsiz ikki tomonlama oqib ketishi bilan kechadigan bir zumdagi ko'ndalang yorilishi bilan bog'liq halokat olinadi. VVER-440 reaktor qurilmasi uchun bu shartli diametri 500 mm, VVER-1000 uchun esa – 850 mm bo'lgan bosh sirkulatsiya quvuridir. Bu holda shu bilan birga kamroq diametrli quvurlar yorilganidagi oqib ketishlar ham ko'rib chiqiladi. Bu kabi avariya ehtimoliy juda kam bo'lib, reaktorga bir yilda 10^{-4} – 10^{-6} ta holat deb baholanadi, ammo uning loyihada ko'rib chiqilishining o'zi qo'llanadigan konservativ yondashuvni yaqqol tavsiflab, u shuning o'zi bilangina cheklanib qolmaydi.

VVER tipidagi reaktorli AESlarda avariya vaziyatlari tasniflanishini ko'rib chiqamiz:

I. toifa – yadroviy yoqilg'i erishi bilan kechadigan avariya. U aktiv zonani avariya yoki sovitish tizimi (SAOZ) ishdan chiqqanida yoki samarasiz ishlaganida birinchi kontur bosh sirkulatsiya quvurining yorilishi tufayli ro'y beradi.

II. toifa – yadroviy yoqilg'i erishisiz, ammo SAOZ normal ishlab ketganida birinchi kontur bosh sirkulatsiya quvurining yorilishi tufayli tvellar qobig'i germetizatsiyasi buzilishi bilan kechadigan avariya.

III. toifa – birinchi kontur istalgan boshqa quvurining yorilishi tufayli yuz beradigan, qo'shimcha ta'minot vositalari ishi hisobiga oqib ketgan yoqilg'i o'rni to'ldirilishi bilan kechadigan avariya.

IV. toifa – qaynoq issiqlik tashuvchi oqib ketadigan (kichik oqish), qo'shimcha ta'minot vositalari ishi hisobiga o'rni to'ldiriladigan avariya.

V. toifa – birinchi kontur sovugan issiqlik tashuvchisi oqib ketadigan, qo'shimcha ta'minot vositalari ishi hisobiga o'rni to'ldiriladigan avariya.

Xavfsizlik masalalari ko'rib chiqilishiga yakun yasab, quyidagi xulosalar chiqarish mumkin:

1. Atom stansiyalari normal ekspluatatsiya qilishda ishchi-xodimlar, aholi va atrof-muhit uchun xavfsiz bo'lib, elektrenergiyasi va issiqlik ishlab chiqarishning ekologik jihatdan eng toza usuli hisoblanadi.

2. Atom stansiyalari xavfsizlik borasidagi texnik yechimlari va qabul qilinadigan tashkiliy chora-tadbirlariga, shuningdek inson va atrof-muhitga ko'rsatiladigan radiatsion ta'siriga ko'ra zamonaviy talablar darajasida joylashadi.

3. AESlar konstruktorlik va loyiha yechimlarini, ayniqsa, ularning avariya rejimlaridagi xavfsizligini oshirish yo'nalishidagi takomillashtirish ishlarini jadal davom ettirish zarur.

Shu bilan birga yadroviy energetikani xavfsiz rivojlantirish xalqaro rejimini yaratish, shu jumladan AESlarda radioaktivlik chiqib ketishi bilan kechadigan avariya va nosozliklar ro'y berganida tezkor xabardor qilish va axborot taqdim etish tizimini yo'lga qo'yish, shuningdek xavfli vaziyatlar yuzaga kelganida tezlik bilan o'zaro yordam ko'rsatish maqsadida Atom energiyasi bo'yicha xalqaro agentlik (MAGATE) doirasidagi hamkorlikni jiddiy chuqurlashtirish talab etiladi.

Texnik nuqtayi nazardan, xavfsizlikni ta'minlash shundan iboratki, radionuklidlarning tashqi muhitga tarqalib ketish yo'lida qator to'siqlar – xavfsizlik baryerlari qo'yiladi. Ularning vazifasi radioaktiv moddalarning, hatto jiddiy avariya ro'y berganida ham, reaktordan atrof-muhitga chiqib ketishiga yo'l qo'ymaslikdan

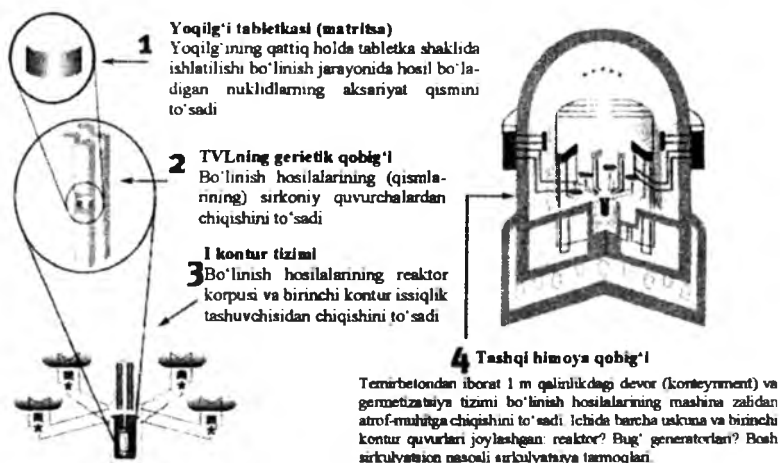
iborat. Misol uchun, parchalanish (bo‘linish) hosilalari birinchi to‘siq – yadroviy yoqilg‘i tabletkasining o‘zi–va ikkinchi to‘siq – issiqlik ajratuvchi elementning sirkoniyli qobig‘i bilan tutib turiladi. Materiallar va AES ekspluatatsiya sharoitlari shunday tanlab olinganki, tvellar qobiqlari butun ekspluatatsiya muddati davomida germetikligini saqlab qoladilar. Agar tvel sirkoniyli qobig‘i baribir yemiriladigan bo‘lsa (darzlar, bo‘sh joylar paydo bo‘lsa), u holda qaynoq issiqlik tashuvchi yadro yoqilg‘isi bilan bevosita kontaktlashish jarayonida o‘zida ba’zi bo‘linish (parchalanish) hosilalarini eritib, yo‘q qilib yuborishi mumkin. Bu holda issiqlik tashuvchining reaktor konturidagi faolligi ortadi. AESda tvellarning qobiqlari butunligi maxsus KGO (qobiqlar germetikligi nazorati – kontrol germetichnosti obolochek) tizimi yordamida uzluksiz nazorat qilinib, u issiqlik tashuvchi radioaktivlik darajasini ham qayd qilib boradi.

Bo‘linish hosilalari yo‘lidagi uchinchi to‘siq bo‘lib reaktor korpusi, 1-(reaktor) konturi uskunalari va quvurlari xizmat qiladi. Masalan, reaktor korpusi aktiv zonaning ekspluatatsiya hisobiy davri – kamida 30-yil davomida (yangi avlod energobloklari uchun esa – kamida 60-yil) germetikligini ta‘minlaydi. 1-kontur shunday ishlanganki, u yadro yoqilg‘isi va issiqlik tashuvchi harorati o‘zgarishi bilan bog‘liq bo‘lgan har qanday ehtimoliy termik kengayishlari va torayishlariga uzilishlarsiz chiday olishga mo‘ljallangan.

To‘rtinchi to‘siq esa bu himoya qobig‘idir (u VVER-1000 tipdagi reaktori bo‘lgan AESda bor va VVER-1200 yangi loyihasida ko‘zda tutilgan). Himoya qobig‘i –bu radioaktiv moddalar yo‘lidagi so‘nggi to‘siq (4.4-rasm).

Himoya qobig‘i zo‘riqtirilgan temir-betondan ishlangan, 1-kontur uskunalari va reaktorlar zalini qamrab olgan silindr ko‘rinishida ishlangan bo‘lib, bu qobiq kontaynment («containment») deb nomlanadi (4.4-rasm). U jiddiy avariya yuz bergan holda energoblok ichida yuzaga kelishi mumkin bo‘lgan baland bosimga mo‘ljallangan. Kontaynmentning yana bir muhim vazifasi – reaktor qurilmasini tashqi ta’sirlar: to‘fonlar, zilzilalar,

portlashlar, -- hatto samolyot ag'darilishidan ham saqlash bilan bog'liq (4.5-rasm).



4.4-rasm. AES ning VVER-1000 va VVER-1200 laridagi xavfsizlik to'siqlari.

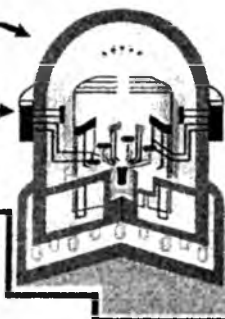
AESni tashqi ta'sirlardan himoyasi

Bo'ron, dovullar shamolning maksimal tezligi 56 m/s (201.6 km/soat)

Zarba to'liqni



Seysmik ta'sirlar
8 balli zilzila (MSK-64 12 balli shkalasi)



Samolyot qulashi og'irligi
20 tonna tezligi 200 m/s
(720 km/soat)

Suv tashqini

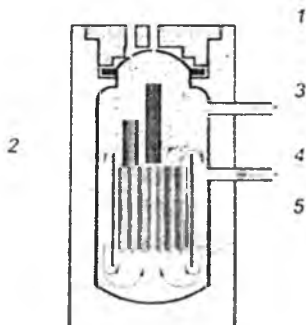
4.5-rasm. AES ning tashqi ta'sirlarga nisbatan chidamliligi (turg'unligi).

Yadroviy yoqilg'i erib ketishi bilan kechadigan og'ir oqibatli, radioaktiv moddalar AES tashqarisiga chiqarib yuboriladegan avariyaning ro'y berish ehtimoli deyarli nolga teng bo'lishiga qaramay, bunday vaziyat uchun ham chora-tadbirlar ko'rib qo'yilgan.

AES xavflilik darajasini kamaytirish usullaridan biri – aholi yashashi va stansiya ekspluatatsiyasi bilan bog'liq bo'lmagan xo'jalik faoliyati orqali shug'ullanish taqiqlangan sanitariya-himoya zonasini tashkillashtirishdan iborat. Bu zona radiusi maxsus modellar asosida hisoblanib, u ko'pincha 1-3 km ni tashkil etadi, ammo undan ancha kam bo'lishi ham mumkin. Misol uchun, Fransiyada samtariya-himoya zonasi 500 m bilan cheklangan bo'lib, ana shu chegarada uzum yetishtirilishiga ruxsat etiladi. Hozirda Rossiyada qurilayotgan VVER-1200 reaktorida ishlaydigan yangi AES larda, sanitariya-himoya zonasi 800 m ni tashkil etadi. Zamonaviy tibbiy tadqiqotlarga ko'ra, AES atrofida 40 km radiusda yashaydigan aholi salomatligi uchun xatar (risklar) kimyo sanoati korxonalardan yuzaga keladigan xavfdan ko'ra 100-1000 marotaba kam ekan.

Biologik himoya – bu odamni ionlanuvchi nurlanishdan, hamda yadroviy reaktor buzilgan holda, neytronlarning kuchli oqimidan himoya qilish uchun mo'ljallangan inshoot va konstruksiyalardir. Biologik himoya bir yo'la ikki talabga javob berishi shart: neytronlarni samarali sekinlashtirish va gamma-kvantlarni samarali yutish, chunki alfa-va beta-zarrachalardan himoyalaniş bir necha marotaba soddaroq. Gamma-kvantlar turli materiallar orqali osonlik bilan o'tadi, shu sababli ulardan himoya ham anchagina qalin bo'lishi kerak.

Bundan tashqari, reaktor himoyasi – yirik inshoot bo'lganligi sababli, uni u qadar qimmat bo'lmagan materialdan tayyorlagan ma'qul. Bu holda betondan tayyorlangan himoyadan foydalanish eng maqsadga muvofiq yechim bo'lib chiqdi. Mos ravishda, biologik himoyaning asosiy komponenti – reaktor va asosiy kontur uskunalari atrofida tiklangan yaxlit beton devordir (4.6-rasm).



4.6-rasm. Reaktorning biologik himoyasi:

(1 – biologik himoya, 2 – aktiv zona, 3 – issiqlik tashuvchi chiqish joyi, 4 – issiqlik tashuvchi kirish joyi, 5 – reaktor korpusi).

Tananing radioaktiv ifloslanishining va radionuklidlarning organizm ichiga tushishining oldini olish maqsadida ishchi-xodimlar shaxsiy himoya vositalaridan (SIZ-SHHV) foydalanadilar: germetik kombinezonlar, respiratorlar, rezina perchatkalar, plyonkali himoya kiyimi. Ushbu vositalar teriga va nafas olish organlariga aerosol shaklidagi radioaktiv moddalar tushishidan himoya qiladilar, shuningdek a-nurlanishdan, kamroq darajada - p-nurlanishdan himoya ham ta'minlanadi (u SIZ materiali bilan qisman yutiladi). Tashqi Y-nurlanishdan bunday SIZlar himoya qilmaydi.

Xavfli avariya vaziyatlari AESlarda yuz berish ehtimoli juda kichik bo'lsa ham, har bir energoblok ehtimoliy oqibatlarni imkon qadar kamaytirishga qaratilgan maxsus tizimlarga ega. Bunda, zamonaviy yadroviy qurilmalarning xavfsizlik tizimlari, odatda, AESdan foydalanish davrida ishlatilmagan (aftidan, ishlatilmasa ham kerak), ammo ular bo'lishi shart.

Yadroviy reaktorning prinsipial xususiyatlaridan biri – zanjirli reaksiya to'xtaganidan keyin ham aktiv zonada uzoq vaqt qoldiq issiqlik ajralib chiqishi bilan bog'liq. U bo'linish hosilalari parchalanishi oqibatida yuz beradi: bo'linish hosilalari tomonidan chiqariladigan zarrachalar yuqori kinetik energiyaga ega bo'lib, yadro yoqilg'isi, tvellar qobig'i va issiqlik tashuvchi orqali

o'tganda ular bu energiyani yo'qotadi. Zarrachalarning kinetik energiyasi issiqlikka aylanadi. Shu sababli, har qanday tipdagi to'xtatilgan reaktorda issiqlik ajratib chiqarish intensivligi maqbul darajaga qadar tushguncha aktiv zona sovutilishini uyushtirish talab etiladi.

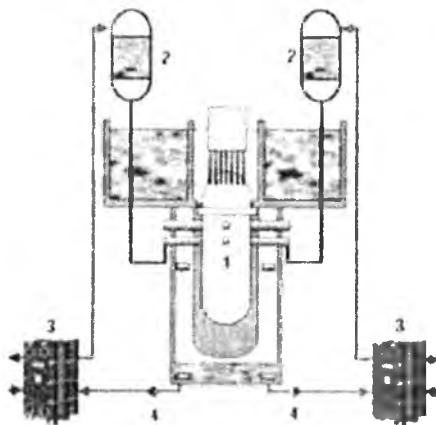
Qayd etish lozimki, ishdagi har qanday chetlashish, og'ishlarda ham reaktor avariyaaviy himoya qilish tizimining (uning ishchi elementi neytronlarni yutuvchi materialdan yasalgan sterjenlar bo'ladi) ishdan chiqish ehtimoli juda kam.

Bu tizim shunday tuzilganki, har doim avariya ro'y berishiga yo'l qo'ymagan holda reaktornito'xtatish imkoni mavjud. Biroq bosh konturning yorilib ketish kabi gipotetik ehtimoli mavjud, bunda issiqlik tashuvchi yo'qotilishi ro'y berib, ya'ni aktiv zona qurib qolishi mumkin. Bunda yadroviy yoqilg'i hamon bo'linish radioaktiv hosilalari tomonidan chiqarilayotgan zarrachalar kinetik energiyasini issiqlikka aylantirish hisobiga o'z-o'zini isitib turadi. Yoqilg'i bunda erish haroratiga qadar qizib, erib ketishi mumkin bo'lib, ana shunda katta miqdordagi radioaktiv moddalarning oqib ketishi ro'y beradi. Vaziyatning bu kabi rivojlanishining oldini olish maqsadida aktiv zonani jadal sovutish, ya'ni unga muntazam ravishda suv uzatish kerak bo'ladi. Bu vazifani bajarish maqsadida reaktorni avariyaaviy sovutish tizimi (SAOR) mavjud bo'lib, uni ba'zan aktiv zonani avariyaaviy sovutish tizimi (SAOZ) deb ham ataydilar.

Ishlab chiqilgan reaktorni favqulodda (avariyaaviy) sovutish tizimlari (SAOR) o'z ichiga aktiv va passiv elementlarni oladi (4.7-rasm). Passiv elementlar—bu bosim ostidagi suv solingan idish (sig'im)lar. Agar konturdagi bosim muayyan darajadan tushib ketsa (bu quvur yorilganida va issiqlik tashuvchi yo'qolganida ro'y beradi), bu holda sig'imlardagi suv avtomat ravishda birinchi (reaktor) konturga kelib tushadi. Shundan so'ng, bir daqiqa ichida, yuqori bosim nasoslari ishlab ketadi (ya'ni aktiv element). Bir necha daqiqa o'tgach esa, uzoq muddat davomida sovutishni ta'minlab turadigan quyi bosim nasoslari yoqiladi. Nomi keltirilgan barcha tizimlar majburiy ravishda takrorlanadi, ya'ni tizimlardan biri ishdan chiqqanida shu zahoti boshqa tizim ishga tushadi.

Shu paytga qadar biz AES xavfsizligini ta'minlashning faqat mavjud texnik vositalarini muhokama qildik. Shu bilan birga, AESlarning ekologiya uchun paydo qiladigan xavfi muammosini hal qilishda dastlab ikki jihat muhim o'rin tutishini anglash lozim: (1) texnik – yuqori darajada ishonchli, ko'p bosqichli, takrorlangan xavfsizlik tizimini yaratish va (2) inson omili – ishchi-xizmatchilarning yuksak xavfsizlik madaniyatini ta'minlash.

Aytish lozimki, Chernobil AESidagi avariya aynan inson omili (aslo RBMK-1000 ning texnik nuqsonlari emas) sababchi bo'lgan.



4.7-rasm. Aktiv zonani avariyaaviy sovutish tizimi:

(1 – reaktor, 2 – aktiv zonani avariyaaviy sovutish tizimi baklari (SAOZ),
3 – suv sovutgichlari SAOZ, 4 – sirkulatsiya nasoslari SAOZ).

Hozirgi paytda va kelajakda atom sohasi mutaxassislari butun dunyo olimlari ishtirokida ishlab chiqilgan “Xavfsizlik madaniyati konsepsiyasi” ga amal qilgan holda ishlaydilar. «Xavfsizlik madaniyati» tushunchasi INSAG guruhining (Yadroviy xavfsizlik bo'yicha Xalqaro maslahat (konsultatsiya) guruhi): «Chernobil reaktori bo'yicha avariya dan keyingi obzorli konferensiyaning yakuniy ma'ruzasi» dokladi chop etilganidan so'ng ilmiy-texnik atamalar qatoridan joy oldi. Normativ hujjatlarda quyidagicha unga

ta'rif berilgan: «Xavfsizlik madaniyati – bu AES xavfsizligi ta'minlanishi ustuvor maqsaddan iborat bo'lgan va bu mas'uliyatni ich-ichidan anglab, ichki ehtiyojga aylangan holdagi barcha shaxslarning malakaviy va ruhiy tayyorligidir».

Bu tushuncha nimani bildirishni yaxshiroq o'zlashtirish uchun, misol tariqasida, AES ta'mirlash xizmatchilarini tayyorlash masalasini olish mumkin. Ushbu holda tayyorlash nafaqat konstruksiyalar, uskunalar, ta'mirlash texnologiyalar va boshqa shu kabi muhim elementlarni o'rganishdan, balki tarbiyalashdan ham iborat –mutaxassis stansiya xavfsizligi uning harakatlariga ham bog'liqligini anglab yetishi shart.

AESning (shu bilan birga, umuman yadroviy tarmoqning ham) har bir ishchisi o'zining har bir odimi, har bir qilmishi uchun mas'uliyat darajasini yaxshi anglab, shu sababli, u o'zi bajargan ishga hamisha tanqidiy yondashadi. Bu butkul o'zgacha fikrlash va mavjudlik tarzi, yadroviy energetikani boshqarishning o'zgacha falsafasidir. Aytish mumkinki, bugungi kunda xavfsizlik madaniyati –barcha atom stansiyalarida hayot me'yoriga aylanib ulgurgan. Xavfsizlik madaniyati xavfsizlikni ta'minlashning boshqa tamoyillari qatoridan ajratib turadigan xususiyatlariga ega:

- AES hayotiy siklining – AES loyihasini ishlab chiqishdan to um ekspluatatsiyadan chiqarishga qadar barcha bosqichlarida ishtirok etadigan tashkilotlar, korxonalar va alohida shaxslarning faoliyati xavfsizlik madaniyati bilan bog'liq;

- xavfsizlik madaniyati bevosita inson manfaatlariga qaratilgan – bu uni xavfsizlikni ta'minlashning ilmiy, muhandis-texnik va tibbiy-biologik muammolarini hal qilishga qaratilgan boshqa xavfsizlik tamoyillaridan ajratib turadi.

Xavfsizlik madaniyatini shakllantirish – bu atom energetikasiga aloqadar har bir odamni, hatto bu holda salbiy oqibatlar kelib chiqish ehtimoli juda kichik bo'lishiga qaramay, u xavfsizlikka zarar yetkazadigan biron bir harakat qilolmaydigan holatga qadar tarbiyalashdan iborat.

AES jamoalari va ular bilan birga ishlaydigan tashkilot jamoalarida ishchi-xizmatchilar tomonidan xavfsizlikka oid axborotning erkin uzatilishini ta'minlaydigan ochiqlik muhitini

shakllantirish, ayniqsa, sodir etilgan, shu jumladan, jiddiy oqibatlar keltirib chiqarmagan xatolar tan olinishini rag'batlantirish talab etiladi. O'z-o'ziga tanqid va o'z-o'zini tekshirish kabi jihatlarni nazarda tutgan, xafsalasizlik va o'zibo'larchilikni istisno etib, shaxsiy mas'uliyat hissini rivojlantirishni ko'zda tutgan barchaning xavfsizlik maqsadida ishlash ruhiyatiga erilishadi.

Xavfsizlik madaniyati qoidalariga og'ishmay amal qilish individual darajada quyidagi tarzda namoyon bo'ladi:

- yadroviy va radiatsion xavfsizlik AESning barcha xodimlari uchun faoliyatining ustuvor yo'nalishi bo'lib keladi;

- barcha yechimlar va harakatlarda, birinchi navbatda, reaktorning aktiv zonasida reaktor xavfsizligiga ehtiyotkorlik bilan munosabatda bo'lish namoyon bo'ladi;

- sergaklik: biron-bir harakatlarni amalga oshirish oldidan ularning ro'y berishi mumkin bo'lgan salbiy oqibatlari ko'rib chiqiladi;

- kundalik ishda qat'iy va ehtiyotkorona yondashuv qo'llanadi;

- o'z-o'zini jiddiy nazorat qilish orqali ochiq fikr almashinuvi va muammolarni belgilab olish qo'llab-quvvatlanadi;

- yo'l qo'yilgan xatolar uchun mas'uliyatni his etish va shaxsiy javobgarlik; o'z hamkasblari faoliyatini nazorat qilish qo'llab-quvvatlanadi;

- yadroviy reaktor ishi nazariyasini va boshqa fundamental fanlarni tushunish hamda bu bilimdan yechimlar qabul qilish jarayonida foydalanish talab etiladi;

- konservativ yondashuv qo'llanadi: me'yorlar va yo'riqnomalarda ko'rsatilmagan vaziyatda, xodim voqea-hodisalar rivojlanishining eng yomon variantidan kelib chiqib ish ko'radi;

- xodimlardan kritik vaziyatga tayyor bo'lib turish, unga munosib harakat qilish talab etiladi.

Xulosa qilib aytish mumkinki, xavfsizlik madaniyatini shakllantirishda quyidagi ikki omil eng muhim bo'lib hisoblanadi:

(1) jamoada tegishli ishchi muhitini yaratish, (2) xodim tomonidan o'z xizmat vazifalarini bajarishda mas'uliyatli va kritik yondashuv. Bugungi kunda Rossiya atom stansiyalari, xavfsizlik darajasiga

ko'ra, jahon talablariga muvofiq ekanligi ko'pchilik tomonidan e'tirof etilgan. Chunki xavfsizlik madamyatining yuksak darajasigina AES da talab etilgan xavfsizlik darajasini va xalqaro hamjamiyatning yadroviy energetikaga bo'lgan ishonchini ta'minlashi mumkinligi barchaga ayon.

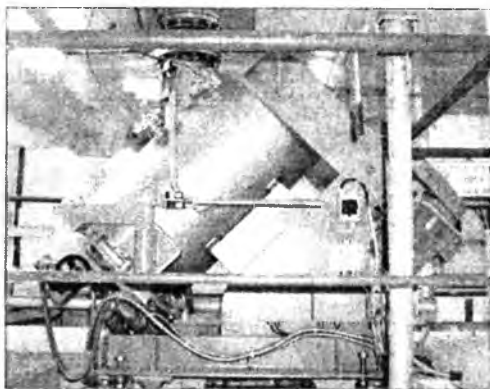
AESning normal, avariyasiz ekspluatatsiya jarayonida radioaktiv chiqindilar (RACH-RAO) uzluksiz va muqarrar ravishda hosil bo'ladi. Radioaktiv chiqindilar inson va atrof-muhit uchun potensial radiatsion xavf manbai bo'lib, shu sababli quyidagilarni anglab tushunish shart: RACHlar bilan ishlash reaktor va u bilan birga ishlaydigan tizimlar avariyasiz va xavfsiz ishini ta'minlash bilan birga AES ekologik xavfsizligini ta'minlashning eng muhim bosqichlaridan biri bo'lib hisoblanadi. Shu sababli radioaktiv chiqindilarni yig'ish, ularni qayta ishlash va ishonchli saqlashni tashkillashtirish tizimini o'ta muhim vazifalardan biri bo'lib keladi. RACH(RAO) larni qayta ishlashdan maqsad – ularni minimal hajmli qilib jamlash hamda undan keyin maxsus saqlash joylarida uzoq muddat va xavfsiz saqlash uchun qulay, ya'ni kimyoviy jihatdan turg'un, ekologik xavfsiz shaklga keltirishdan iborat. Radioaktiv chiqindilar qattiq (TRO), suyuq (JRO) va gazsimon (GRO) turlarga bo'linadi.

Gazsimon chiqindilar radionuklidlardan qattiq sorbentlarda, yoki suyuq aralashmalar bilan tozalanib, shu tarzda, suyuq yoki qattiq RAO toifasiga o'tkaziladi.

Suyuq radioaktiv chiqindilar (JRO-SRCH) manbai bo'lib issiqlik tashuvchi (aksariyat reaktorlarda –suv) va trap suvlar (maxsus yuvish korxonalarining oqova suvlari, dezaktivatsiya va yuvish maqsadlarida ishlatilgan suvlar va b.) ularning taxminiy miqdori bitta yirik yadroviy energoblokka (VVER-1000 yoki RBMK-1000reaktori bilan) bir yilda $\sim 10000 \text{ m}^3$ va undan ko'proqni tashkil qiladi. Ushbu JRO lar har bir yirik AESda o'rnatiladigan bug'latish apparatlarida qayta ishlanadi. Bug'latish apparatlarida radionuklidlar jamlanib, toza suyuqlik (suv) esa bug' ko'rinishida chiqib ketib, bunda SRCH hajmi o'nlab, hatto yuzlab marotaba kichrayadi. Bundan tashqari, SRChni qayta ishlash uchun filtrlardan foydalanadilar.

Mos ravishda, SRCH maxsus saqlash joylariga uzoq muddat saqlash uchun filtrlovchi material va bug'latish apparatlari konsentratlari («kubli qoldiqlar») yo'llanadi. AESlarda SRChlarning katta qismini aynan bug'latish apparatlari konsentratlari tashkil qiladi.

SRChlar qotirish, ya'ni qattiq holatga o'tkazish yo'li bilan konditsionerlanadi. SRChni qattiq holatga ishonchli va xavfsiz saqlash, tashish imkoniyatlarini kengaytirish imkonini beradi. SRChni qotirish maqsadida amaliyotda sementlash (4.8-rasm), bitumlash va shisha holiga keltirish, ya'ni tegishli materialdan (sement, bitum yoki shisha, mos ravishda) bo'lgan matritsaga qo'shish qo'llanadi.



4.8-rasm. AES radioaktiv chiqindilarini sementlash uchun mo'ljallangan qurilma.

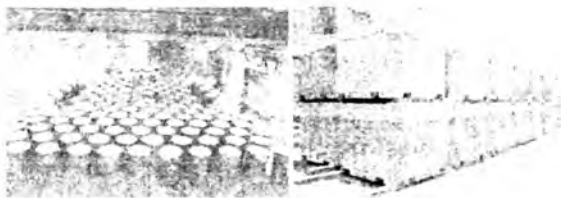
Qattiq radioaktiv chiqindilar (TRO) manbai bo'lib, ifloslangan detallar va materiallar; reaktor konturining yechib olingan uskunalari (ya'ni tarkibiga aktiv zonani ham olgan konturning); ifloslangan issiqlik izolatsiyasi, asbob-uskunalar, kiyim, surtish materiallari va shu kabilar hisoblanadi. Bir reaktorda hosil bo'ladigan TRO (QRCH)ning umumiy miqdori, yiliga o'rtacha 100-200 m³ ni tashkil qiladi.

TRO saqlash omborlariga maxsus konteynerlarda va plastik qoplarda tashib keltiriladi (4.9-rasm).

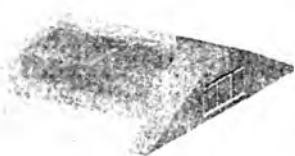


4.9-rasm. Qattiq radioaktiv chiqindilar uchun mo'ljallangan transport konteynerlari.

Chiqindilar hajmini kamaytirish maqsadida yoqib yuborish va presslab mahkamlash usuli qo'llanadi (misol uchun, presslangan TROlarni saqlash uchun odatda 200 l hajmli metall bochkalardan foydalanadilar). Shundan so'ng bochkalar maxsus konteynerlarga joylanib, saqlash joyiga joylashtiriladi. TROlarni to'g'ridan-to'g'ri konteynerlarda, dastlab bochkalarga solmagan holda saqlash ham mumkin. TROlar uchun saqlash joylari sifatida ko'p kamerali alohida joylashgan yer osti va yer usti temir-beton inshootlar ishlatiladi (4.10 va 4.11-rasmlar). Saqlash joyi otseklarni to'ldirish va yopish uchun mexanizatsiyalash vositalariga va masofadan turib yong'in o'chirish tizimlariga ega.



4.10-rasm. Radioaktiv chiqindilar saqlash joyi (chapda) va radioaktiv chiqindilar uchun konteynerlar.



4.11-rasm. Radioaktiv chiqindilarning yer usti saqlash joyi.

Aytish lozimki, AESlarda yuzaga keladigan chiqindilar miqdori ko'mir va gazda ishlaydigan issiqlik energetikasidagi chiqindilarga nisbatan ancha kam. Misol uchun, ko'mirda ishlaydigan, quvvati 1000 MVt ga teng elektrostansiya bir sutkada 15002300 tonna kul va shlak ishlab chiqaradi. Bunday stansiya har sutkada atmosferaga o'nlab va yuzlab tonna oltingugurt angidridi (SO_3) va azot oksidlarini (N_xO_y) chiqarib yuboradi. Muammo ko'lamini ko'rsatish uchun, aytish mumkinki, 10 tonna SO_3 Toshkent shahri egallagan maydonda, yer ustidan 200 m balandlikda, yo'l qo'yiladigan konsentratsiyadan oshib ketishi uchun yetarli bo'ladi.

Atom stansiyalari, radioaktiv chiqindilar manbai bo'lishiga qaramay, issiqlik energetikasiga nisbatan foydali va kam zararli bo'lib ko'rinadi, buning sababi quyidagilar bilan bog'liq:

IES (TETS) chiqindilarida mavjud bo'lgan kimyoviy moddalar ta'siri radiatsiya ta'siridan kam emas, ba'zan, hatto undan ham kuchli;

AESda hosil bo'ladigan chiqindilar miqdori, TETSlarga nisbatan ancha kam (masalan, Rossiyadagi barcha AESlarda yig'ilgan bir yillik ishlatilgan yadro yoqilg'isining miqdori, taxminan, 850 t ga teng);

AESda hosil bo'lgan chiqindilar qat'iy hisobga va nazoratga olinadi; TETS chiqindilaridan farqli ravishda, ular biosferadan izolatsiyalanib, qayta ishlanadi.

Bugungi kunda yadroviy energetika eng yaxshi taraqqiy etgan ishlab chiqarish sohalaridan biri bo'lib hisoblanadi. Bu radiatsion xavfsizlik masalalariga beriladigan alohida e'tibor, qat'iy me'yorlashtirish, jiddiy radiatsion nazorat hamda asosiy omillardan biri bo'lgan ishchi-xizmatchilar yuksak xavfsizlik madaniyati bilan bog'liqdir.

2001-yilda AQSHda 28000 nafar ishchi – atom kema quruvchilari yalpi tekshiruvdan o'tkazildi. Natijalarga ko'ra, bu guruhda o'lim holatlari, yadroviy tarmoq bilan bog'liq bo'lmagan nazorat guruhiga nisbatan 24% ga kamroq. 2005-yilda AQSH, Kanada va Buyuk Britaniyada yadroviy sohaning 95000 nafar

xodimi o'rganildi. Bunda ana shu guruhda, barcha saraton kasalliklari bo'yicha, nurlanish bilan bog'liq bo'lmagan guruhga nisbatan xavf (risk) darajasi kamroq ekanligi isbotlab berildi. 2008-yili Buyuk Britaniyada yana ham kengroq ko'lamli tadqiqotlar o'tkazildi (125000 nafar ishchi). Xulosalar shunga o'xshash bo'lib chiqdi: guruhdagi o'lim darajasi (barcha turdagi saraton kasalini ham hisobga olganda) oddiy aholiga nisbatan pastroq. Qiyoslash uchun, quyidagilarni aytish mumkin: ko'mir sanoatida kasb tufayli o'lish holatlari yadroviy yoqilg'i sikli korxonalaridagi o'lim darajasidan 2-4 marta balandroq.

Bugunga kelib, mavjud reaktor qurilmalari uchun AES xavfsizligi tahlilini o'tkazishda integral kodlar bo'yicha hisob-kitoblar asosiy o'rin tutadi. Zamonaviy bosqichda bunday hollarda, AES jarayonlarini to'g'ri modellashtirish yo'nalishida jadal taraqqiy etib borayotgan kodlardan foydalaniladi va shu tufayli yuz bergan avariyaning kechish xususiyatlari to'g'risida batafsil axborotga ega bo'lish mumkin. Yadroviy reaktorlarning sovitish tizimlaridagi avariya jarayonlarni tahlil qilish uchun qo'llanadigan xorijiy tizimli issiqlik gidravlika kodlari rivojlani-shining zamonaviy holatini ko'rib chiqamiz. Fizik modellar, raqamli uslublar va kodlar arxitekturasini takomillashtirishning asosiy yo'nalishlari, xorijiy tizimli issiqlik gidravlik kodlarning zamonaviy holatini, ularning rivojlanish hamda validlanish (validatsiya) yo'nalishlari va xususiyatlarini qarab chiqamiz.

Hozirga kelib, yadro energetika reaktorlarining sovitish konturlarida ham normal ekspluatatsiya sharoitlari rejimlarida, ham avariya vaziyatlarida kechadigan issiqlik gidravlika jarayonlari qonuniyatlari xususida katta hajmda bilim jamlangan. Keng ko'lamli eksperimental va analitik tadqiqotlar natijalari hisobiy issiqlik gidravlika kodlarida yig'ilgan bo'lib (g'arbda eng taniqli kodlar – RELAP5, TRAC, CATHARE, ATHLET, MARS, Rossiyada – KORSAR, og'ir avariya kodi SOKRAT), ular AES reaktor qurilmalarini loyihalashtirishda va ularning xavfsizligini baholashda asosiy vosita vazifasini bajaradi.

Zamonaviy issiqlik gidravlika kodlari borasida yuksak rivojlanish darajasiga erishildi va ular ancha murakkab nostatsionar

avariya rejimlarini, modellashtirish vositasida ishonarli hisob-kitoblarni bajarish imkonini berishga qaramay, ularning fizik modellar, raqamli uslublar, kod arxitekturası va, nisbatan, qulay interfeyslar, qo'shimcha eksperimental tadqiqotlar o'tkazilishi bilan birga kechadigan chuqurlashtirilgan validatsiya sohasida ularni takomillashtirish ustida doimiy ishlar olib borilmoqda. Bu ishlar evolutsion ko'rinishga ega bo'lib, an'anaviy tizimli issiqlik gidravlika kodlarini yangi avlod kodlari bilan almashtirishga qaratilgan. Bu o'tishning xos vaqt ko'lamı 20–25 yilga teng. Yangi avlod issiqlik gidravlika kodlari yaratish ishlari Fransiyada izchil va rejali tarzda NEPTUNE loyihasi doirasida amalga oshirilib, unda ushbu mamlakat atom tarmog'ining barcha yetakchi tashkilotlari ishtirok etmoqdalar. Boshqa mamlakatlarda ham issiqlik gidravlika kodlarini takomillashtirish bo'yicha amq maqsadga yo'llangan tadqiqotlar amalga oshirilmoqda.

Bosim ostidagi yengil suvli reaktorlar (PWR) yoki qaynab turadigan korpus reaktorlar (BWR) o'rnatilgan AESlar xavfsızligini tahlil qilish maqsadidagi issiqlik gidravlika kodlarini yaratish bo'yicha ishlar o'tgan asrning ikkinchi yarmida boshlangan bo'lib (AQSHda RELAP kodi bo'yicha ishlar 60-yillarda boshlangan), ishlab chiquvchilar tarixan qisqa muddat ichida (20–25-yil) AES xavfsızligining tahlilini o'tkazish uchun foydalanish anchagina qulay va ishonchli bo'lgan hisobiy vositalarni yaratishga erishdilar. Bu kodlarning qo'llanish sohasi issiqlik ketkazish traktlari geometriyasi, birinchi navbatda, aktiv zona geometriyasining o'zgarishlarini hisobga olmagan holda AES tizimlaridagi o'tish va avariya rejimlari tahlilini o'z ichiga oladi. Bu esa ular reaktorning aktiv zonasi yemirilishi bilan kechadigan, loyihadan tashqari avariyalarni tadqiq etishga mo'ljallanmaganligini anglatadi. Ko'rib chiqilayotgan kodlar birinchi va ikkinchi konturlar tizimlaridagi, shu jumladan, turbogeneratorlarda ham, shuningdek, xavfsızlik va reaktorni boshqarish tizimlaridagi jarayonlarni modellashtirish imkonini beradi.

Zamonaviy xorijiy issiqlik gidravlika kodlari (RELAP, TRAC/TRACE, CATHARE, ATHLET, MARS, APROS, CATHENA va b.) ikki fazali muhitning to'liq teng massali

bo'lmagan ikki suyuqlikli (ikki kontinual) modeliga asoslangan. Bu quyidagilarni anglatadi: ko'rib chiqilayotgan ikki "suyuqlikni" tashkil qilgan suv bug'i va suyuq suv uchun massa, impuls va energiya saqlanishining alohida tenglamalari shakllantirilib, ularda fazalar o'zaro ta'sirini bayon etadigan almashinuv hadlari mavjud bo'ladi. Bunda bug' va suv turli tezlik va haroratga ega bo'ladi. Bu kabi model ba'zan ikki fazali muhitning ikki tezlikli ikki haroratli modeli deb ataladi. Saqlanish tenglamalarini yozib olish uchun asosan bir o'lchamli faraz (yaqinlashish) qabul qilinadi. Devorlar bilan yuz beradigan fazalararo o'zaro ta'sirlar va o'zaro harakatlarni bayon etish uchun (ishqalanish, issiqlik almashinuvi, fazaviy o'tishlar) tutashtiruvchi nisbatlar tizimi qo'llanadi.

Kodlar ikki fazali muhit kechishining barcha asosiy rejimlarini (pufakchali, snaryadli, dispers-halqali va sh.k.) ko'rib chiqib, ular orasidagi o'tish oqim rejimlari kartasiga muvofiq amalga oshiriladi. Oqimlar rejimlari kartasi oqim holatini tavsiflaydigan ikki parametr yuzasida, bu ko'pincha hajmiy bug' miqdori va ikki fazali oqimning solishtirma yalpi sarfi bo'ladi, har bir rejimning amalga oshirilish sohasini belgilab beradi.

Odatda, AES turli uskunalaridagi issiqlik kodlarda issiqlik gidravlika jarayonlarini tasvirlash maqsadida ikki xil yondashuv ishlatiladi:

1) yaqqol ifodalangan oqim yo'nalishi bo'lmagan hajmlar uchun (masalan, bir nechta kirish va chiqish joylari bo'lgan idish), – nol o'lchamli (0D);

2) quvurlar va kanallardagi oqim uchun – bir o'lchamli (1D). Bu holda u yoki bu vaziyatda aynan qaysi issiqlik gidravlika modulidan foydalanishni foydalanuvchining o'zi belgilaydi. Ba'zi kodlar, masalan, TRAC va CATHARE, uch o'lchamli (3D) issiqlik gidravlika modullariga ega bo'lib, ular reaktor, bug' generatori va shu kabi boshqa murakkab sohalarda bug'-suv aralashmasining uch o'lchamli oqimlarini tasvirlash (bayon etish) imkonini beradi.

Bu kodarning aksariyati tarkibida kondensatsiyalanmaydigan gazlar va suyuq yutgich (yutuvchi) ishlashini hamda ularning issiqlik gidravlika va neytron fizik jarayonlarga ta'sirini bayon etadigan modellarga ega.

Reaktorlardagi neytron fizik jarayonlar nuqtali kinetika tenglamalari tizimi bilan modellashtirilsa, ba'zi kodlar uch o'lchamli modellardan foydalanadilar.

Ishlab chiquvchilar o'z kodlarini yaxshilash ustida muntazam ishlaydilar. Bu faoliyat ko'plab faoliyat yo'nalishlari bo'yicha amalga oshirilib, ulardan asosiylari quyidagilar ko'rib chiqilgan.

Ikki fazali oqimning tuzilmasi anchagina murakkab ko'rinish olganda, uni bayon etish uchun ikki suyuqlikli yondashuvni qo'llash obyektiv qiyinchiliklarga duch keladi. Buni dispers-halqali oqim misolida namoyish etish ko'rish mumkin. Unda oqimning uchta yaqqol ifodalangan tarkibiy qismi mavjud ("suyuqliklar"): 1) kanal devorlari bo'ylab oqayotgan suyuq plyonka, 2) oqim yadrosidagi suyuqlik tomchilari va 3) oqimning bug'li yadrosi.

Bug'-suv aralashmasi oqimining dispers-plyonkali rejimidagi tomchilar va suyuq plyonkaning issiqlik gidravlika jarayonlariga ko'rsatadigan alohida ta'siri uch xil suyuqlik modeli doirasida ayniqsa izchil hisobga olinib, bu model suyuq plyonka, tomchilar va bug' uchun massa, impuls va energiyaning saqlanishiga oid uchtadan tenglamani o'z ichiga oladi (jami 9 ta tenglama). Bu yondashuv NEPTUNE loyihasida CATHARE kodining yangi versiyasini (CATHARE versiyasi) yaratishda amalga oshiriladi 3). Suyuq fazani ikki komponentaga bo'lish tomchilar va plyonka o'zaro ta'sirini, xususan, suyuq plyonkadan tasvirlab beradigan qo'shimcha korrelatsiyalar jalb etilishini, xususan, tomchilarning suyuq plyonka yuzidan uzilish (ketish) jadalligi va tomchilarni bug'-tomchili yadrodan plyonkaga jadalroq cho'ktirish uchun talab qildi.

Uch xil suyuqlikli model CATHARE 3 ning 1D va 3D issiqlik gidravlika modullariga tatbiq etilgan. Qayd etish lozimki, ikki fazali muhitni uch xil suyuqlik yordamida tasvirlashga asoslangan bu yondashuv ilk marotaba rossiyalik tadqiqotchilar tomonidan izchil ishlab chiqila boshlandi.

Hozirga kelib NEPTUNE loyihasining eksperimental qismi doirasida, shuningdek BETHSY integral qurilmasida o'tkazilgan tajribalarda olingan ma'lumotlar asosida uch xil suyuqlikli modelning validatsiyasi o'tkazilmoqda.

Barcha zamonaviy asosiy issiqlik gidravlika kodlari muhitning haqiqiy hajmiy bug' miqdori va yalpi tezligiga bog'liq holda istalgan lokal (mahalliy) sohada uning tipik tuzilmalarini ajratib turadigan ikki fazali oqim oqishi rejimining kartalaridan foydalanadilar. Ular asosida fazalar orasidagi va har bir fazaning kanal devorlari bilan o'zaro ta'sirini bayon etadigan korrelatsiyalarni tanlash amalga oshiriladi. Bunda fazalararo ta'sirni hisoblab topish uchun zarur bo'lgan fazalararo yuza kattaligi (qiymati) fazalar tavsiflarining (tezlik, hajmiy bug' miqdori va sh.k.) joriy qiymatlariga binoan aniqlanib, ulardan kelib chiqib Veber mezoni tipidagi mezonlar bo'yicha dispers qo'shilmalarning (pufakchalar, tomchilar) o'lchamlari va fazalararo yuza maydoni hisoblab topiladi.

Hisobiy kodlarni yaratish jarayonining zarur bosqichlaridan biri ularni issiqlik gidravlika stendlarida bajarilgan eksperimentlar shuningdek ekspluatatsiyaga oid mavjud ma'lumotlar asosida (bazasida) validlashdan (validatsiya) iborat. Ishlab chiqilayotgan yangi tizimli kodlar uchun validatsiya matritsalarini tarkibiga yaxshilab joylangan keng ko'lamli ma'lumotlar qo'llanadi: 1) avariya rejimlari kechishida AES elementlarida kuzatilishi mumkin bo'lgan ayrim issiqlik gidravlika hodisalarini tadqiq etish bo'yicha stendlarda olingan ma'lumotlar, 2) Integral sxemalarda olingan, u yoki bu avariya yo o'tish rejimidagi butun AES yaxlit holdagi konturining issiqlik gidravlikasi xususiyatlarini tadqiq etish natijalari (ekspluatatsion ma'lumotlar ham shular tarkibiga kiradi).

Hal qiluvchi tenglamalar tizimini bu kodlarda raqamli yechish yarim yaqqol bo'lmagan yoki butunlay yaqqol bo'lmagan sxemalar bilan, differensial tenglamalarning chekli hajmiy approksimatsiyasidan so'ng amalga oshiriladi.

Issiqlik gidravlikasining uch o'lchamli nostatsionar tenglamalarini integratsiyalashning raqamli uslublari bo'yicha ishlar ham jiddiy ahamiyatga ega.

CATHARE (CATHARE 2) kodining joriy versiyasida koordinatalarning silindrlar tizimida reaktor korpusida issiqlik tashuvchining ikki fazali oqimni modellash tirish uchun 3D hisobiy setka qo'llanadi. Uch o'lchamli modellash tirish imkoniyatlarini

kengaytirish uchun kodning yangi versiyasida (CATHARE 3) boshqa uch o'lchamli setkalarda (dekart va elliptik) hisob-kitoblarni bajarish imkoniyati qo'shiladi. Reaktor turli qismlarini modellashtirish maqsadida hisobiy setkaning turli tiplarini qo'llash uning geometrik xususiyatlarining eng maqbul tarzda namoyish etilishiga erishish imkonini beradi. Ayonki, raqamli metod barcha tipdagi setkalarning to'g'ri va samarali ishlov berilishini ta'minlashi shart.

Kodlar arxitekturasini takomillashtirish birinchi navbatda ishlab chiquvchilarning ana shu kodlar foydalanuvchilari ishi samarasini maksimal darajada oshirish istagi bilan bog'liq. Shunga bog'liq ravishda katta kuch va intilishlar issiqlik gidravlik konturi haqidagi axborot berilishini osonlashtiruvchi foydalanuvchining grafik interfeyslarini yaratishga va tadqiq etilayotgan rejim xususiyatlariga hamda bajarilgan hisob-kitob natijalariga grafik ishlov berishga qaratilgan.

CATHARE 3, RELAP7 va HYDRA IBRAE yangi kodlarini yaratish dastlab obyektga qaratilgan S++ tilida bajariladi. Bunday yondashuv hisob amaliyoti jarayonida hisobiy setkani, shuningdek modellashtirish opsiyalarini o'zgartirish imkonini, masalan, oltita tenglamadan tashkil topgan modeldan uch suyuqlikli modelga o'tish imkonini beradi va h.k.

RELAP7 kodining ishlab chiquvchilarining harakatlari foydalanuvchi samarasi deb nom olgan hodisaning oldini olishga, hech bo'lmasa, uning ta'sirini kamaytirishga qaratilgan bo'lib, bunda malaka va tajriba yetishmasligi oqibatida foydalanuvchi tomonidan hal qilinayotgan vazifa (masala)ning muhim xususiyatlari hisobga olinmaydigan kirish ma'lumotlari to'plami yaratiladi. Buning uchun koddan foydalanuvchilarning hisobiy sxemaning ixtiyoriy tarzda tuzilishiga ta'sir ko'rsatish imkoniyatlari maksimal darajada cheklanishi ko'zda tutiladi. Namunaviy komponentlar bibliotekasi yaratilib ("bir fazali nasos", "ikki fazali nasos", "bir fazali truba", "ikki fazali truba", "turbina", "bir fazali gib", "ikki fazali gib", "bir fazali ulanish", "ikki fazali ulanish", "bosim kompensatori" va sh.k.), ulardan foydalanuvchi protsessor yordamida tadqiq etilayotgan qurilma hisobiy sxemasini

yig'ib olishi kerak. Bu bilan RELAP7 avvalgi versiyalaridan foydalanuvchi hisobiy RELAP yacheykalarining modellash-tirilayotgan komponenti bilan farqlanib, bunda foydalanuvchi modellash-tirilayotgan komponent hisobiy yacheykalari parametrlarini va u yoki bu korrelatsiyalarni qo'shish (yoqish) opsiyalarini o'zi tanlashi kerak bo'ladi (masalan, oqib ketayotgan issiqlik tashuvchining kritik sarfi uchun). Biroq mualliflar fikriga ko'ra, namunaviy komponentlar bibliotekasining yaratilishi foydalanuvchi samarasini to'liq istisno etmaydi. Har bir yangi muammo uchun hisob-kitoblar sifatini tasdiqlaydigan natijalar validatsiyasi majburiydir.

Issiqlik-gidravlika kodlari arxitekturasining rivoji ularni avariya rejimlarining kompleks hisob-kitoblarini o'tkazish maqsadida turli maqsadlardagi boshqa kodlar (masalan, konteynment kodlari bilan) birlashtirish imkoniyati ta'minlanishi bilan yaqindan bog'liq.

Tizimli masshtab (reaktorni sovutish konturining masshtabi) istalgan tipdagi reaktorni modellash-tirish uchun ko'p masshtabli ko'p yo'nalishli hisobiy vositani ishlab chiqish maqsadida turli kodlarni birlashtirish uchun tabiiy masshtab bo'lar ekan, unda ishlab chiqilayotgan CATHARE 3 kodi tarkibida termogidrodinamikaga (misol uchun, CFD kodlar), ham boshqa fanlarga (neytron fizikasi, yoqilg'i va sh.k.) aloqador bo'lgan boshqa kodlar bilan qo'llashda sodda bo'lgan bir necha birikish usuli ko'zda tutiladi.

Tizimli issiqlik gidravlika va uch o'lchamli neytron fizik kodlarni birlashtirish (sopryajeniye) AES xavfsizligining tahlilida amaliy ilovalar doirasida bajariladi.

Issiqlik gidravlika kodlarining istiqbolli rivojlanish yo'nalishi sifatida tizimli va CFD kodlarning ham birinchi kontur ichida (masalan, KORSAR/LOGOS, ATHLET/OPENFOAM, CATHARE/TRIO_U, ATHLET/ DYN3D/FLUENT, shuningdek konteynment masalalarni yechish uchun (tizimli kod – jamlangan parametrli konteynment kod– CFD kod) mo'ljallangan birikuvini ko'rsatish mumkin.

Umuman olganda, xorijiy tizimli issiqlik gidravlika kodlari-ning rivojlanishi evolutsion ko'rinishga ega. Modellastirilayotgan jarayonlarning matematik bayonlari va aniqlashtiruvchi tenglamalar tizimlarining raqamli yechish uslublari izchil ravishda takomillashtirilib, makonga oid samaralarni hisobga olish uchun uch o'lchamli modullar kiritilib, yangi eksperimental ma'lumotlardan foydalanish yo'li bilan kodlarning validlanganlik darajasi oshiriladi.

Issiqlik gidravlik kodlari bilan bajarilgan tahlil ko'rsatishicha, asosiy kuchlar quyidagi masalalarga qaratilar ekan:

1) fazalararo o'zaro ta'sirning bayonini yaxshilash uchun fazalararo yuza tenglamasini kiritish asosida fazalararo yuza evolutsiyasini modellastirish;

2) ikki fazali muhitning uch suyuqlikli modelidan foydalanish (yaxlit suyuqlik + tomchilar + gaz) dispers-halqali oqimlarni tasvirlash (bayon etish) uchun;

3) to'liq yaqqol bo'lmagan yuqori tartibga ega raqamli konservativ sxemalarni ham makon, ham zamonga ko'ra ishlab chiqish;

4) AESlarda avariya rejimlarini kompleks tahlilini amalga oshirish uchun issiqlik gidravlik kodlarining o'zga maqsadlardagi kodlar bilan uyg'unlashish amaliyotini takomillashtirish;

5) kodlar validatsiyasi.

Yadro reaktorlari xavfsizligiga qo'yiladigan zamonaviy talablar nafaqat loyiha bo'yicha avariyalarni, balki aktiv zonaning tiklab bo'lmas o'zgarishlari, shu jumladan uning yemirilishi va erib ketishi ro'y beradigan loyihadan tashqari (og'ir) avariya-larning ham ko'rib chiqilish zaruratini taqozo etadi. Yadroviy energetika tarixida ikkita ana shunday avariya qayd etilgan: AQSHdagi TMI-1 reaktorida (1979 y.) hamda Chernobil AES ining to'rtinchi blokida (1986 y.). Bu hodisalar og'ir avariya-larning amalda ro'y berishi mumkinligini isbotlab, ularni chuqur va har tomonlama o'rganish uchun qudratli rag'bat vazifasini o'tadilar. G'arb mamlakatlarida og'ir avariya ro'y berganida reaktorning ishlashini har tomonlama tahlilini o'tkazish va himoya qobig'i (kontaynment) butunligi nuqtayi nazaridan uning oqibatlarini baholash uchun

qator kompyuter kodlari (STCP), MELCOR, SCDAP, MELPROG, VICTORIA va b) ishlab chiqildi. Ularning yaratish jarayonida tadqiqotchilar og'ir avariya rivoji bilan birga kechadigan turli-tuman fizik hodisalarning sifat va miqdor qonuniyatlarini aniqlash maqsadida ko'p sonli eksperimentlarni amalga oshirishlariga to'g'ri keldi. Haqiqatda bilimlarning yangi tarmog'i yaratilgan bo'lib, u jamlangan ko'rinishda ana shu kodlarning matematik modellari bayonlarida taqdim etilgan. Modellashtirilayotgan jarayonlar murakkabligi va turli-tumanligi tufayli og'ir avariya kodlarini hali mukammal deb aytish qiyin. Bugungi kunda ular uzluksiz yaxshilanib, muntazam ravishda kodlarning yangi versiyasi paydo bo'lmoqda.

5-bob. YADRO ENERGETIKASINING ZAMONAVIY HOLATI VA RIVOJLANISH ISTIQBOLLARI

Neft va boshqa turdagi mineral yoqilg'ilar narxining keskin oshishiga olib kelib, energiya ta'minotining ishonchliligi masalalarini yangicha tarzda ko'targan jahon energetik inqirozi boshlanishi bilan yadro energetikasi "aksiyalari" narxi jadal ko'tarilib ketdi. Avvalo, bu katta neft va gaz, hatto ba'zan ko'mir resurslariga ega bo'lmagan – Fransiya, Germaniya, Belgiya, Shvetsiya, Finlyandiya, Yaponiya, Koreya Respublikasi kabi mamlakatlarga oid. Biroq, yadro energetikasini rivojlantirishga qaratilgan yirik dasturlar AQSH va SSSR kabi mineral yoqilg'ilarga boy mamlakatlarda ham qabul qilindi. Natijada, XX asming 70-yillari oxiriga kelib, aksariyat G'arb ekspertlari XX asrning oxiriga kelib atom elektr stansiyalari quvvati 1300-1600 GVt yoki barcha elektr stansiyalari umumiy quvvatining taxminan yarmiga yetishi mumkin va atom stansiyalarining o'zi esa jahonning 50 ta mamlakatida paydo bo'ladi deb hisoblaganlar.

Agar Chernobil fojiasidan keyingi o'tgan yillarda global yadro energetikasining umumiy holatiga tavsif beradigan bo'lsak, rivojlangan mamlakatlarda yadro sanoatining o'sishi sekinlashgan bo'lishiga qaramay, rivojlanish kuzatilmoqda deb aytish mumkin. Bu sanoat energiya ishlab chiqarish texnologiyalarini rivojlantiruvchi iqtisodiy, ekologik va ijtimoiy-psixologik omillarining muvozanatiga muvofiq keladigan optimal darajaga erishish (jadal o'sish bosqichidan keyingi) bilan bog'liq, izohga moyil bo'lgan hodisa. Uni ilgariidek jadal sur'atlar bilan (masalan, 2001-yilda Fransiya elektr energiyasining 76,4%i AESlarda ishlab chiqarilgan) rivojlantirishning hojati yo'q. Yaqin o'tmishda sanoati yetakchi mamlakatlar qatoriga kirmagan va hozirda faol taraqqiy etayotgan davlatlarga (Janubiy Koreya, Xitoy, Hindiston) esa endilikda yadro energetikasi ham faol taraqqiy etib bormoqda. Germaniya yadro energetikasiga real siyosiy qarama-qarshilik yo'lini tanladi. Bu "yashillar" partiyasining ta'siri kuchayganidan

so'ng nodir bo'ldi. Shuni qiziqki, aynan nemis atom stansiyalari dunyoda eng xavfsiz stansiyalardan hisoblanadi. Jo'shqin siyosiy munozaralardan so'ng, "yashillar" atom elektr stansiyalari o'z ishlash muddati tugagunga qadar (ya'ni taxminan 2030-yilgacha) ishlashini ma'lum qildilar. Ya'ni 2030-yildan so'ng Germaniya yadroviy energetikadan voz kechadi (2001-yilda uning ulushi Germaniyada o'rtacha 30,6% bo'lgan). Biroq Germaniya kansleri Angela Merkelning so'nggi bayonotlari nemis yadroviy energetikasi taqdiri bu kabi dramatik tugashiga shubha paydo qildi.

Qarama-qarshi misollar ham bor. Tabiatga nisbatan ehtiyotkor munosabati bilan tanilgan Finlyandiya yangi atom elektr stansiyasini qurishga qaror qildi.

Kongressga (2002-yilning fevrali) yozgan maktubida AQSH Prezidenti Jorj Bush shunday deydi: "Yadro energiyasi – Qo'shma Shtatlarda elektr energiyasini ishlab chiqarishning kattaligiga ko'ra ikkinchi manbai bo'lib, kelgusi yillarda milliy energetika siyosatimizning muhim tarkibiy qismi bo'lib qolishi kerak". Bugungi kunda XXI asrda yuz berish ehtimoli bo'lgan energiya inqirozi (tanqisligi) qarshisida energiya xavfsizligi masalalarini hisobga olgan holda, AQSH yadroviy energiyasini yana rivojlantirishga qaror qilganligi ma'lum bo'ldi.

MAGATE (2008) ma'lumotlariga ko'ra, atom stansiyasiga ega bo'lgan davlatlarning yadroviy energetikaga nisbatan pozitsiyasi quyidagicha: faqat 6 ta mamlakat mavjud energiya reaktorlarining xizmat muddati tugaganidan so'ng yadro energiyasidan voz kechishga, 24 ta davlat esa, aksincha, yangi bloklarni qurishga tayyor. O'z yadroviy energetikasiga ega bo'lmagan davlatlar haqida so'z ketganida, 27 ta mamlakat yangi yadroviy energobloklar va atom stansiyalari qurishga oid jiddiy niyatlari borligini ma'lum qilib, yana 16 mamlakat esa shu bilan bog'liq dasturlardan (uran qazib olish, yadroviy yoqilg'i ishlab chiqarish, izotop mahsulotlari va boshqalar) manfaatdor.

Organik energetika resurslari tabiiy zaxiralarning, shu jumladan neft va gazning tugashi muqarrar ekanligi ma'lum bo'lib qoldi. Yadro yoqilg'isining (U, U, Th) uzoq istiqbolga, ya'ni 600-yilga qadar mo'ljallangan potensial zaxiralari energetikani yoqilg'i

bilan ta'minlash muammosini hal qilishi mumkin. Bugungi kunda dunyoda yadroviy energobloklar qurilishi bo'yicha reja ko'lamlari tobora kengayishi kuzatilib, bu an'anaviy energiya tashuvchilar zaxiralarining cheklanganligi bilan bog'liq. Mutaxassislar «yadroviy uyg'onish» davri to'g'risida so'z yuritmoqdalar. Haqiqatan ham, milliy yadroviy energetikasini yaratish yoki rivojlantirish haqida eng yirik "o'yinchilar"dan (AQSH, Fransiya, Rossiya) tashqari, Xitoy, Hindiston, Finlyandiya, Shveysariya, Ispaniya, Italiya, Bolgariya, Belarus, Qozog'iston, O'zbekiston, Janubiy Koreya, Yaponiya, Argentina kabi mamlakatlar ham ma'lum qildilar. Albatta, bu mamlakatlarning to'liq ro'yxati emas, u «yadroviy uyg'onish» ko'lamlarini namoyish etish maqsadida keltirilgan, xolos.

Yadroviy energetikaning rivojlanish sharoitlari o'ta qulay bo'lib, AES larning iqtisodiy ko'rsatkichlari kelajakka optimistik ruhda qarash imkonini bermoqda va AESlar TESlar bilan muvaffaqiyatli raqobat qilmoqdalar. Yadroviy energetika organik yoqilg'i iste'molini kamaytirib, TESlardan atrof-muhitga chiqariladigan ifloslantiruvchi moddalar miqdorini keskin qisqartirish imkonini yaratadi.

Yadroviy energetikaning rivojlanishi, organik yoqilg'i iste'molini ozaytirib, o'z yoqilg'i-energetika resurslariga ega bo'lmagan yoki bunday resurslari cheklangan mamlakatlarning ularni olib kirishga bog'liqligini pasaytirib, ularning energetik mustaqilligini mustahkamlaydi. Energetika jihatidan xavfsizlik muammosi neft mahsulotlari va gaz narxi muntazam ravishda oshib turishi, ular yetkazib berilishining siyosiy vaziyatga bog'liqligi sababli yuz beradigan inqiroz (krizis) tufayli tez-tez yuzaga kelib turadi.

Dual xarakterga ega bo'lgan yadroviy energetikani rivojlantirish jarayonida, energetika yadroviy reaktorlarining ikki asosiy tipi – issiqlik va tezkor neytronlarga asoslangan reaktorlardan birinchisi dunyoda nisbatan kengroq va ko'proq tarqaldi.

Har bir mamlakatning milliy yadroviy energetikasi turli sekinlashtirgichlar va issiqlik tashuvchilar bilan reaktorlarning individual konstruksiyalarini rivojlantirishga asoslangan. Masalan,

AQSHda quyidagi reaktorlar asosiy o‘rin tutadi: yengil suvli (LWR) bosim ostidagi suv-suvli reaktorlar (PWR) va qaynaydigan reaktorlar (BWR), Kanadada – tabiiy urandagi (CANDU) og‘ir suvli reaktorlar (HWR), sobiq SSSRda – bosim ostidagi suv-suvli reaktorlar (VVER), uran-grafit kanalli (qaynaydigan) reaktorlar (RBMK), reaktorlarning yakka quvvati ortib borgan.

Bugungi kunda, MAGATE tasnifiga muvofiq, quyidagi tipdagi reaktorlardan foydalaniladi.

PWR – suv-suvli yadroviy reaktor Bu tipdagi reaktorlar quyidagi mamlakatlarda qurilmoqda (yoki qurilgan): Westinghouse (AQSH, egasi Toshiba), General Electric (AQSH), Areva (Fransiya), Kraftwerk Union (Germaniya, Siemens sho‘ba korxonasi), ABB (Shvetsiya), Babcock&Wilcox (Angliya), Combustion Engineering (AQSH), Toshiba, Mitsubishi Heavy Industries, Hitachi (Yaponiya).

Ba’zi mamlakatlarda PWR reaktorlarining «milliy» modifikatsiyalari mavjud: Rossiyada - VVER, to‘lig‘icha o‘z texnologiyasi;

Xitoyda CNP, CNNC va CPR (30-70 % li Xitoy uskunalari ishtirokida g‘arb texnologiyalariga asoslangan);

Janubiy Koreyada OPR reaktorlari (g‘arb texnologiyalariga asoslangan, uskunalari to‘lig‘icha Janubiy Koreyaniki).

BWR – korpusli qaynaydigan reaktor, bu reaktorni qurish bilan yuqorida nomi keltirilgan AQSH, yapon va nemis kompaniyalari shug‘ullanadilar.

PHWR – og‘ir (qattiq) suvli yadroviy reaktor. Ushbu turdagi reaktorlar asosan CANDY nomi bilan tanilgan. Bu yadroviy energetikaning Kanada tomonidan rivojlantirilayotgan yo‘nalishi. Ana shu reaktorlarning diqqatga sazovor joyi shundaki, ular uchun yadroviy yoqilg‘ini boyitishning hojati yo‘q (boyitish juda murakkab, ko‘p energiya va yuqori texnologiyalarni talab qiladigan jarayon). Kanadaliklarning dunyoda birinchi bo‘lib texnologiyani boshqalar (Hindiston) bilan o‘rtoqlasha boshlaganligi ham bu uslub keng tarqalishiga ko‘maklashdi. PHWR ni shuningdek, Siemens ham qura boshlagan edi, ammo hozirga kelib Germaniyada ishlab chiqarilgan faqat ikkita reaktor (Argentina) ishlab turibdi. Kanada

va Germaniyadan tashqari og'ir suvli reaktorlar texnologiyasini faqat Hindiston (Kanada texnologiyasining takomillashtirilgan varianti) qo'llab, u bunday reaktorlarni o'zi uchun quradi.

GCR – gaz bilan sovuqtiladigan reaktor. Buyuk Britaniya yadroviy energetikasi yo'nalishi. Faol tarzda Magnos va AGR modifikatsiyalarini qurgan, biroq ularning bari bugungi kunda yopilgan (so'nggisi – 2015-yilda). Shuningdek bir nechta ana shu tipdagi reaktorlarni inglizlar Italiya va Yaponiyada ham qurgan edilar, ammo ular ham hozirga kelib ekspluatatsiyadan chiqarilgan.

LWGR –grafit-suvli yadro reaktori. Faqat SSSRda qurilgan, kam quvvatli EPG-6 va qudratli RBMK (katta quvvatga ega kanalli reaktor), bu turkumli reaktorlardan so'nggisi 1990-yilda ishga tushirilgan. Bugungi kunda faqat Rossiyada ishlatiladi. Ukraina va Litvada qurilgan barcha RBMK reaktorlari yopilgan va hozirda ishlamaydi (Chernobil AESidagi avariya aynan RBMK reaktorida yuz bergan).

FBR – tezkor neytronlardagi ko'paytirgich reaktor. Bu tipdagi reaktorlar bir necha mamlakatda ishlab chiqilib, ekspluatatsiya qilingan, biroq bugungi kunda dunyo bo'yicha ulardan faqat ikkitasi qolgan (Rossiyadagi Beloyarsk AESidagi BN-600 va BN-800). AQSH, Fransiya, Yaponiya va Qozog'istonda (Shevchenko sh., BN-350 reaktori) BN reaktorlari yopilgan. BN reaktorlari yoqilg'i siklini tutashtirib, OYATlarni qayta ishlash muammosini hal qilish, bu bilan yadroviy energetikani deyarli cheksiz yoqilg'i resurslariga o'tishini amalga oshirish imkonini beradi.

Xalqaro energetika agentligi (MEA) mutaxassislari atom generatsiyasining eng jiddiy o'sishiga Osiyo qit'asi erishib, u rivojlanib borayotgan mintaqani to'liq ta'minlay oladi va yangi AESlar qurilishi bo'yicha Xitoy va Hindiston yetakchi o'rinlarga chiqib oladilar deb hisoblaydilar. MAGATening konservativ (pessimistik) prognoziga ko'ra dunyodagi AESlarning umumiy quvvati 2007-yildagi 372,2 GVt dan (elektr quvvat) 2030-yildagi 510 GVt ga qadar ortadi. Optimistik ssenariy esa ana shu 2030-yili quvvatning 810 GVt gacha o'sishini bashorat qiladi. Biroq bu ko'rsatkichlarga ishonch bildirish qiyin, chunki bugungi kunda, aslini olganda, hamon, bir yilda 20-30 tadan yadroviy energobloklarni

ishga tushirishga tayyor bo'lgan yo'lga qo'yilgan jahon atom energiyasi mashinasozlik va injimring majmualari mavjud emas. Konservativ ssenariy zamonaviy holatga ancha yaqinroq deb aytish mumkin. Shunday qilib, jahon yadroviy energetikasi yana intensiv rivojlanish davriga kirib bormoqda. Biroq uning imkoniyatlarini mutlaqlashtirish kerak emas. XXI asrda organik yoqilg'i va ko'mirni yoqib, undan elektr energiyasini generatsiyalash to'liq yo'qolib ketmay, balki yana uzoq davr mobaynida umumiy energiya balansida kattagina ulushga ega bo'lib turadi. Energetikaning noan'anaviy turlari taraqqiy eta boshlaydi. Biroq yadroviy energetika elektr energiyasi va ishonchli va qudratli issiqlik manbai sifatida o'z pozitsiyasini saqlab, hatto uni kuchaytirishga ham erishadi. Bugungi kunda Rossiya Federatsiyasi yadroviy energetikasi tarkibida 10 ta atom elektr stansiyasi mavjud. Atom elektrostansiyalari mamlakatlar energiya tizimining generatsiyalovchi muhim biriligi bo'lib, chunki bugunga kelib, ular Rossiya butun elektr energiyasining taxminan 16% ini ishlab chiqaradilar. AESning mamlakat hududi bo'ylab taqsimlanishi, birinchi navbatda, aholi zichligi har xilligi bilan bog'liq. Bundan tashqari, energiya tashuvchilar zaxiralari asosan Sibirda joylashgan bo'lib, biroq iste'mol qilinadigan elektr energiyasining katta qismi mamlakatning Yevropa qismiga to'g'ri keladi. Sibirda atom stansiyalari yo'q desa ham bo'ladi, ammo uranni boyitish va ishlatilgan yadro yoqilg'isini qayta ishlash bo'yicha eng yirik korxonalar aynan shu yerda – aholi zichligi eng kam bo'lgan mintaqada jamlangan.

2018-yilda atom energiyasi dunyoning 30 mamlakatida o'rnatilgan taxminan 450 ta energetika reaktori yordamida jahon elektr energiyasining taxminan 11% qismini ta'minlab berdi. Yana 60 ga yaqin reaktor qurilish jarayonida bo'lib, bu yadro energetikasi mavjud quvvatining taxminan 16% ga teng degani.

50 tadan ortiq mamlakatda 225 ta tadqiqotchilik maqsadidagi reaktorlar ishlatiladi. Ilmiy tadqiqotlardan tashqari, bu reaktorlardan tibbiyot va sanoat maqsadlarida izotoplar ishlab chiqarish uchun foydalaniladi. O'zbekistonda 1959-yildan beri Yadroviy fizika institutida 10 MVt li tadqiqotchilik reaktori ishlab turibdi.

2017-yilda atom stansiyalari 2016-yildagi 2477 TVtch ga nisbatan 2487 TVtch elektr energiyasi yetkazib berganlar. Bu dunyo yadro generatsiyasi qatorasiga beshinchi yil o'sib borayotganini ko'rsatib, uni ishlab chiqarishning o'sish ko'lamini 2012-2017-yillar orasida 142 TVtch ni tashkil qildi.

Shimoliy Amerika

Kanadada umumiy quvvati 13,5 GVt ga teng bo'lgan 19 ta yadroviy reaktor ishlab turibdi. 2017-yilda atom sanoati mamlakat elektr energiyasining 15%ini ishlab chiqargan.

Mamlakatdagi 19 ta yadro reaktori deyarli hammasi (bittadan tashqari) Ontarioda joylashgan. 2016-yilning birinchi yarmida hukumat «Bryus» AESidagi oltita reaktorni rekonstruksiya qilish va ular xizmat muddatini uzaytirish bo'yicha yirik kontraktlarni imzoladi. Dasturning amalga oshirilishi ekspluatatsiya muddatini yana 30-35-yilga uzaytirish imkonini beradi.

Meksikada ikkita yadro reaktori ishlab, ularning umumiy foydali quvvati 1,6 GVt ni tashkil etadi. 2017-yilda atom sanoati mamlakat elektr energiyasining 6%ini ishlab chiqargan.

AQSHda 98 ta ishlab turgan yadro reaktori mavjud bo'lib, ularning belgilangan foydali quvvati 99,4 GVt ni tashkil etadi. 2017-yilda atom sanoati mamlakat elektr energiyasining 20%ini ishlab chiqardi.

Reaktorlarning ekspluatatsiya tavsiflarini yaxshilashga qaratilgan ishlar (1979-2000 yy.) AESlarda belgilangan quvvatdan foydalanish koeffitsiyentini (KIUM) ancha oshirish imkonini berdi. Reaktorlar KIUMining oshirilishi AQSH energetikasi uchun belgilangan quvvati 1000 MVt bo'lgan 19 ta yangi reaktor ishga tushirilishi bilan teng bo'ldi. 2016-yilda mamlakatda dastlabki yangi yadroviy energetika reaktori ekspluatatsiyaga topshirildi (1979-yildan boshlab yangi ishlab chiqilgan AESlarni ishga tushirish ishlari to'xtatib qo'yilgan edi).

Shu bilan birga, AQSHda mamlakat energiya balansida AESlar rolining pasayib borishi kuzatilib, bu tabiiy gazning arzonligi, qayta tiklanadigan manbalarga juda ko'p subsidiyalar

ajratish, ijtimoiy va siyosiy vaziyat kabi omillarning birgalikdagi ta'siri bilan bog'liq

Janubiy Amerika

Argentina uchta reaktoriga ega bo'lib, ularning belgilangan quvvati 1,7 GVt ga teng. 2017-yilda mamlakat o'z energiyasining 5% qismini YAE dan olgan.

Braziliyada esa ikkita reaktor ishlab, ularning umumiy foydali quvvati 1,9 GVt ni tashkil qiladi. 2017-yilda atom sanoati mamlakat elektr energiyasining 3%ini ishlab chiqargan.

G'arbiy va Markaziy Yevropa

Belgiyada – yettita yadro reaktori ishlab ularning umumiy foydali quvvati 5,9 GVt ga teng. 2017-yilda atom sanoati mamlakat elektr energiyasining 50% qismini ishlab chiqargan.

Finlyandida umumiy foydali quvvati 2,8 GVt bo'lgan to'rtta yadro reaktori bor. V 2017-yilda atom sanoati mamlakat elektr energiyasining 33%ini ishlab chiqargan. Quvvati 1720 MVt ga teng bo'lgan beshinchi reaktor hozirda qurilish jarayonida bo'lib, shuningdek Rossiyada ishlab chiqarilgan VVER-1200 blokini yangi maydonda qurish rejalashtirilgan (Xanxikivi).

Fransiyada hozirda 58 ta yadro reaktori ishlab turib, ularning umumiy foydali quvvati 63,1 GVt ni tashkil etadi. 2017-yilda atom sanoati mamlakat elektr energiyasining 72% ini ishlab chiqargan.

Ekologiya hamjamiyati bosimi ostida Fransiya hukumati 2015-yilda yadroviy generatsiyalangan elektr energiya ulushini 2025-yilga kelib 50% gacha kamaytirish ko'zda tutilgan yangicha energetika siyosatini e'lon qildi. 2017-yil noyabrida yangi hukumat mamlakat strategik taraqqiyotiga nomuvofiq deb bu qarorni bekor qildi. Bugungi kunda Flamanvillda quvvati 1750 MVt ga teng bitta reaktor qurilmoqda.

Germaniyada umumiy quvvati 9,4 GVt ga teng bo'lgan yettita yadroviy energetika reaktori hamon ishlab turibdi. 2017-yilda atom sanoati mamlakat elektr energiyasining 12% ini ishlab chiqargan.

Germaniya, o'zining «Energiewende» siyosati doirasida, 2022-yilga borib, bosqichma-bosqich tarzda yadroviy energetikadan butunlay voz kechish va barcha AESlarni yopib qo'yishni rejalashtirgan. Energetika ta'minotni «yashil energetika»ni rivojlantirish doirasida amalga oshirish ko'zda tutilgan.

Niderlandiyada foydali quvvati 0,5 GVt ga teng bo'lgan bitta ishlab turgan yadro reaktori mavjud. 2017-yilda atom sanoati mamlakat umumiy elektr energiyasining 3% ini ishlab chiqargan.

Ispaniyada umumiy foydali quvvati 7,1 GVt ni tashkil etgan yettita ishlab turgan yadro reaktori mavjud. 2017-yilda atom sanoati mamlakat elektr energiyasining 21% ini ishlab chiqargan.

Shvetsiyada umumiy foydali quvvati 8,4 GVt ni tashkil etgan sakkizta ishlab turgan yadro reaktori mavjud. 2017-yilda atom sanoati mamlakat elektr energiyasining 40% ini ishlab chiqargan.

Mamlakat eski reaktorlarni yopib, parallel ravishda reaktorlarni modernizatsiyalashga, ulardan foydalanish muddatini uzaytirish va quvvatini ko'paytirishga kattagina mablag' joylamoqda.

Shveysariyada beshta ishlab turgan yadroviy reaktor mavjud bo'lib, ularning umumiy foydali quvvati 331 GVt ni tashkil etadi. 2017-yilda atom sanoati mamlakat elektr energiyasining 33%ini ishlab chiqargan.

Buyuk Britaniyada hozirda 15 ta yadroviy reaktor ishlab turib, ularning umumiy foydali quvvati 8,9 GVt ni tashkil etadi. 2017-yilda atom sanoati mamlakat elektr energiyasining 19%ini ishlab chiqargan.

Buyuk Britaniya hukumati 2006-yil o'rtalarida eskirib borayotgan yadroviy reaktorlar parkini yangi avlod reaktorlari bilan almashtirish dasturini tasdiqladi. Quvvati 12,5 GVt bo'lgan yangi III+avlod elektrostansiyalaridan birinchisining qurilishi boshlab yuborilgan (Fransiya, Xitoyning qo'shma loyihasi).

Markaziy va Sharqiy Yevropa, Rossiya

Armaniston quvvati 0,4 GVt ga teng bitta yadroviy energetika reaktoriga ega. 2017-yilda atom sanoati mamlakat elektr energiyasining 33%ini ishlab chiqargan.

Belarusda hozirda birinchi atom elektrostansiyasi qurilib, 2019-yilga borib ikkita Rossiyadan ishlangan reaktorlardan (VVER-1200, III+avlod) birini ishga tushirish rejalashtirilgan. Bugungi kunda mamlakatdagi deyarli barcha elektroenergiya tabiiy gazdan ishlab chiqariladi.

Bolgariyada ikkita ishlab turgan yadro reaktori mavjud va uning umumiy foydali quvvati 1,9 GVt ni tashkil etadi. 2017-yilda atom sanoati mamlakat elektr energiyasining 34%ini ishlab chiqargan.

Chech Respublikasida oltita yadro reaktori ishlatilib, ularning umumiy foydali quvvati 3,9 GVtga teng. 2017-yilda atom sanoati mamlakat elektr energiyasining 33%ini ishlab chiqargan.

Vengriyada esa to'rtta ishlab turgan yadro reaktori mavjud, hamda ularning umumiy foydali quvvati 1,9 GVtga teng. 2017-yilda atom sanoati mamlakat elektr energiyasining 50%ini ishlab chiqargan.

Ruminiyada ikkita ishlab turgan yadro reaktori mavjud hamda ularning umumiy foydali quvvati 1,3 GVtga teng. 2017-yilda atom sanoati mamlakat elektr energiyasining 18%ini ishlab chiqargan.

Slovakiya to'rtta ishlab turgan yadro reaktoriga ega bo'lib, ularning umumiy foydali quvvati 1,8 GVtga teng. 2017-yilda atom sanoati mamlakat elektr energiyasining 54%ini ishlab chiqargan. Yana ikkita blok qurilish bosqichida.

Sloveniyada bitta ishlab turgan yadro reaktori bo'lib, uning foydali quvvati 0,7 GVt. 2017-yilda Sloveniya mamlakat umumiy elektr energiyasining 39%ini atom energiyasidan olgan.

Ukraina o'n beshta ishlab turgan yadro reaktoriga ega va ularning umumiy foydali quvvati 13,1 GVt. 2017-yilda atom sanoati mamlakat elektr energiyasining 55%ini ishlab chiqargan.

Turkiyada dastlabki atom elektrostansiyasi 2018-yil aprelida qurila boshlagan bo'lib, uni 2023-yilda foydalanishga topishirish mo'ljallangan (2 ta VVER-1200 bloki, III+ avlod).

Rossiyada ishlab turgan 36 ta yadro reaktori mavjud va ularning umumiy foydali quvvati 28,0 GVt ga teng. 2017-yilda atom sanoati mamlakat elektr energiyasining 18%ini ishlab chiqardi.

Hukumat qarori bilan 2016-yilda 2030-yilga borib yana, hozirda qurilayotganlariga qo'shimcha tarzda yana 11 ta yangi yadro energetika reaktorlari qurish ko'zda tutilgan edi. 2019-yil boshiga Rossiyada umumiy quvvati 4,9 GVt ga teng bo'lgan oltita reaktor qurildi.

«Rosatom» bugunga kelib Belarus, Xitoy, Vengriya, Hindiston, Eron, Turkiya, Jazoir, Bangladesh, Boliviya, Indoneziya, Iordaniya, Qozog'iston, Nigeriya, Janubiy Afrika, Tojikiston va O'zbekiston kabi mamlakatlarda AESlar qurish va ular uchun texnologik uskunalarni yetkazib berish bilan bog'liq loyihalarda ishtirok etmoqda.

Osiyo

Bangladesh 2017-yilda Rossiyada ishlab chiqarilgan rejalashtirilgan ikkita reaktordan birinchisining (VVER-1200, III+avlod) qurilishini boshlab yubordi. Birinchi energoblokni 2023-yilda ishga tushirish rejalashtirilgan. Bugungi kunda mamlakat deyarli butun elektr energiyasini qazib olinadigan yoqilg'idan ishlab chiqaradi.

Xitoyda 45 ta ishlab turgan yadro reaktori bo'lib, ularning umumiy foydali quvvati 43,0 GVt ga teng. 2017-yilda atom sanoati mamlakat elektr energiyasining 4%ini ishlab chiqardi.

2019-yilning boshiga kelib dunyoda qurilayotgan 57 ta reaktordan 13 tasi Xitoyda bo'lgan. 2018-yilda Xitoy ikkita yangi - AP1000 va EPR-1600 loyihalarni ekspluatatsiyaga kiritgan birinchi mamlakat bo'ldi.

Shubhasiz, Xitoy yadroviy energetikasi rivojlanishini rag'batlantiruvchi asosiy omil atrof-muhitning ifloslanishi kabi ekologik muammo bo'lib hisoblanadi. Shahar havosining ifloslanish muammosi boshqa mamlakatlarga nisbatan Xitoy shaharlari uchun o'ta dolzarb. 2014–2020-yillarga mo'ljallangan energetik rivojlanish strategiyasi, 2020-yilga borib AES larning belgilangan quvvati 58 GVt ga yetkazilishini va yana 30 GVt ning loyihalashtirilishini ko'zda tutadi.

Hindistonda 22 ta ta ishlab turgan yadro reaktori mavjud bo'lib, ularning umumiy foydali quvvati 6,2 GVt ni tashkil etadi. 2017-yilda atom sanoati mamlakat elektr energiyasining 3%ini ishlab chiqargan.

Davlat hukumati 2010-yilda o'z oldiga 2024-yilga AESlar quvvatini 14,6 GVt ga yetkazish maqsadini qo'ydi. 2019-yilning boshiga kelib Hindistonda umumiy quvvati 5,4 GVt li yettita reaktor qurilayotgan edi.

Yaponiyada 40 ta ishlab turgan yadro reaktori mavjud bo'lib, ularning umumiy foydali quvvati 38,9 GVt ni tashkil etadi. 2019-yilning boshida faqat to'qqizta reaktor yana tarmoqqa ulangan edi (Fukusimadagi avariya dan so'ng). 17 tasi modernizatsiya ishlaridan so'ng ishga tushirilishini kutib, tasdiq olish jarayonidan o'tkazilmoqda. Avariya qadar mamlakat elektr energiyasining 30%i atom energiyasiga to'g'ri kelgan bo'lsa, 2017-yilda bu ko'rsatkich bor-yo'g'i 4%ni tashkil qilgan.

Janubiy Koreyada umumiy foydali quvvati 22,5 GVt ni tashkil etgan 24 ta ishlab turgan yadro reaktori mavjud. 2017-yilda atom sanoati mamlakat elektr energiyasining 27%ini ishlab chiqargan.

Janubiy Koreyada mamlakat ichida to'rtta yangi reaktor, shuningdek to'rtta Birlashgan Arab Amirliklarida ham to'rtta reaktor qurilmoqda. U shuningdek 4-avlod reaktorlarini ishlab chiqishga bag'ishlangan jadal tadqiqotlarda ham ishtirok etmoqda.

Pokistonda beshta yadro reaktori ishlab turib, ularning umumiy foydali quvvati 1,4 GVt ni tashkil qiladi. 2017-yilda atom sanoati mamlakat elektr energiyasining 6%ini ishlab chiqardi. Pokistonda ikkita Xitoyda ishlab chiqarilgan HualongOne bloki qurilmoqda.

Eron foydali quvvati 0,9 GVt ga teng bo'lgan bitta yadro reaktoriga ega. 2017-yilda atom sanoati mamlakat butun elektr energiyasining 2%ini ishlab chiqargan.

Birlashgan Arab Amirliklarida Janubiy Koreyaning umumiy qiymati 20 mlrd \$ dan ortiq bo'lgan to'rtta reaktori (1450 MWE) qurilmoqda.

JAR esa ikkita ishlab turgan yadro reaktori mavjud bo'lib, ularning umumiy foydali quvvati 1,8 GVt ga teng bo'lib, u yadro energetikasiga ega bo'lgan Afrikaning yagona mamlakati hisoblanadi. 2017-yilda atom sanoati mamlakat umumiy elektr energiyasining 7%ini ishlab chiqardi.

Xalqaro ekspertlar hamjamiyatlari tomonidan modellashirilgan prognoz ssenariylarida jahon kelajak energiya balansida yadroviy energetikasi quvvati tobora o'sib borishi ko'rsatilgan.

Xalqaro energetika agentligi (MEA) OESR prognozlari e'tiborli va ishonchli manba hisoblanadi. Har yili MEA o'zining «Jahon energetika prognozi» (WEO) ni chop etib, unda joriy vaziyatni bayon etadi hamda rivojlanish ssenariysini taqdim etadi. WEO-2017 o'zining «Barqaror taraqqiyot ssenariysi» deb nom olgan rejasini taqdim etdi. Ssenariyga ko'ra, zamonaviy barqaror energetika tizimini yaratish uchun, uch asosiy vazifa hal etilishi shart: nisbatan arzon, toza va ishonchli energiyadan foydalanish imkoniyati; atmosferani ifloslantiradigan chiqitlarni kamaytirish; iqlim o'zgarishiga qarshi kurash harakatlari samaradorligini oshirish. 2040-yilga borib jahon bo'yicha energiyaga bo'lgan ehtiyoj 25% dan ko'proq o'sib, birlamchi energiyaga ehtiyojning ortib borishi ayniqsa Hindistonda juda tez kechadi. Xitoy dunyo bo'yicha eng yirik energiya iste'molchisi sifatida AQSHdan o'tib ketdi hamda 2040-yilga borib u AQSHga nisbatan ikki barobar ko'proq energiya sarflashi kutilmoqda.

Ssenariyga binoan, qazib chiqariladigan yoqilg'ining umumiy iste'mol qilinayotgan energiyadagi ulushi kamroq darajada pasayib, 2017-yildagi 66% dan 2040-yildagi 62% gacha tushadi. Elektr energiyasi ko'rinishidagi yakuniy energiya iste'moli ulushi 2017-yildagi 19% dan 2040-yildagi 23% gacha ko'tariladi.

MEA OESRning 2018-yildagi WEO hisoboti yadroviy energetika ahamiyatining bundan keyin tobora oshib borishini qayd etib, u energiyaga bo'lgan global ehtiyojlarni qondirishda borgan sari muhim o'rin tutadi va bir vaqtning o'zida yetkazib berishlar xavfsizligini ta'minlab, havoga chiqariladigan karbonat angidrid gazi va ifloslantiruvchi chiqindilar chiqarilishini kamaytirib boradi. Energetikani 2060-yilgacha rivojlantirishning turli yo'llarini tahlil

qila turib, hisobotda shunday deyiladi: «Energetika sektorida energiya tiklanadigan manbalari va yadroviy energetika quvvatlarining o'sishi ehtiyojning asosiy qismini ta'minlaydi. Innovatsion transport texnologiyalari tobora kuchga kirib, prognozlariga binoan, elektr energiyaga bo'lgan talabni oshiradi. Yadroviy energetika chiqindi chiqarishning mavjud qat'iy cheklavlari sharoitida yutuqqa erishib, uning elektr energiya ishlab chiqarishdagi ulushi 2060-yilda 15% gacha, belgilangan quvvati esa bugungi kundagiga nisbatan ikki barobardan ko'proq oshib, ana shu 2060-yilda 1062 GVt ga yetadi. Bunda, reaktorlarning 64% qismi OESR tarkibiga kirmagan mamlakatlarda o'rnatilib, bunda faqat Xitoyning ulushiga jahon bo'yicha quvvatning 28% qismi to'g'ri keladi. Bu joylashtirish darajasiga yetish maqsadida yangi yadroviy quvvatlar qurishning 2017 va 2060-yillar oralig'idagi davrda 23 GVt ga teng o'rtacha sur'atlariga erishish talab etiladi...».

Atom energiyasi bo'yicha xalqaro agentlik (MAGATE) prognoziga ko'ra, atom energetikasi quvvatining 2017-yildagi 392 GVt dan 2030-yilda 511 GVt gacha, 2040-yilda 641 GVt gacha va 2050-yilda esa 748 GVt gacha yetishi kutilmoqda.

Yaponiya Energetika iqtisodiyoti instituti (IEEJ) «World Energy Outlook 2016» hisobotida yadroviy energiya Osiyo mamlakatlariga bo'lg'usi iqtisodiy o'sishiga, energetika xavfsizligiga erishishga va shu vaqtning o'zida atrof-muhit muhofazasi masalasini hal qilishga yordam berishi mumkinligi uqtiriladi. Etalon ssenariy bo'yicha, belgilangan yadroviy generatsiyalovchi quvvat 2014-yildagi 399 GVt dan 2040-yildagi 612 GVt gacha ko'payadi. Bu davrda ishlab chiqilgan atom elektr energiyasi miqdori 2535 TVtch dan 4357 TVtch gacha ortib, biroq uning jahon umumiy elektr energiya ishlab chiqarishdagi ulushi taxminan 11,5% darajasida saqlanib qoladi.

IEEJ da uqtirilishicha, yadroviy energiya Osiyo va Yaqin Sharq mamlakatlari kabi rivojlanib kelayotgan ko'plab mamlakatlar uchun «...asosiy energiya manbaiga» aylanadi. Yadroviy energetika «...kam xarajatligi tufayli ilgarilab, yadroviy texnologiyalar rivojlangan mamlakatlardan, shu jumladan Yaponiyadan ham, rivojlanayotgan mamlakatlarga tegishli tarzda uzatilishi amalga

oshiriladi...». Osiyodagi yadroviy generatsiyalovchi quvvatlar 2014 va 2040-yillar oralig'ida taxminan yetti barobar ortadi.

2016-yilning oktabrida Butunjahon energetika kengashi (WEC) Accenture Strategy va Pol Sherrer Instituti bilan hamkorlikda ishlab chiqilgan - «Buyuk o'tish» yangi rivojlanish ssenariysini chop etdi. WEC qayd etishicha, dunyo bo'yicha energiyaga bo'lgan talab (ehtiyoj) 1970-yildan beri ikki barobardan ko'proq oshganiga qaramay, birlamchi energiyaning o'sish sur'atlari bundan keyin susayib, aholi jon boshiga bo'lgan ehtiyoj esa 2030-yilga borib maksimal darajaga chiqadi. Biroq 2060-yilga kelib elektr energiyasiga bo'lgan ehtiyoj yana ikki barobar ko'tariladi. WEC ssenariysi bo'yicha, atom energetikasi ulushi ishlab chiqarilgan elektr energiyasining 17% ni yoki 2060-yilda umumiy belgilangan quvvat 989 GVt bo'lgani holda 7617 TVt-s ga teng bo'ladi. Ana shu davrdagi yadroviy quvvat o'sishining yarmidan ortig'i Xitoy ulushiga to'g'ri kelib, 2030-yilda 158 GVt va 2060-yilda 344 GVt ga yetadi. Quvvatlarni kiritish sur'atlari bo'yicha Xitoydan so'ng ikkinchi o'rinni Hindiston egallab, uning yadroviy quvvati 2060-yilga 137 GVt ga yetadi.

Hisobotda quyidagilar alohida qayd etiladi: «Atom energetikasi istiqbollari ko'p jihatdan kelishilgan budjetli va ishga tushirish muddatlari oldindan belgilangan elektrstansiyalari qurishga bog'liq bo'ladi. Shu bilan birga, ba'zi mamlakatlar ma'lum qilingan budjetga amal qilib, qurilishning o'rtacha muddatlariga ulgurmoqdalar». Alohida qayd etilishicha, 2035-yildan keyin tezkor reaktorlar (BN) «... Rossiyadagi ana shu reaktorlardan foydalanish tajribasi tufayli qator mamlakatlar uchun katta ulush qo'shadilar...».

Butunjahon yadroviy assotsiatsiyasi «Harmony» dasturini chop etib, unga ko'ra rivojlanish maqsadi 2050-yilga borib atom tarmog'i dunyodagi ishlab chiqarish chiqariladigan butun elektr energiyasining 25% ini ta'minlashi hamda 1000 GVt yangi yadroviy quvvatlar qurishi belgilab qo'yilgan. Qurilish grafigida har yili to 2020-yilgacha har yili 10 GVt dan quvvat, 2025-yilgacha-yiliga 25 GVt dan va 2040-yilgacha yiliga 33 GVt dan quvvat ishga tushirish ko'zda tutilgan. «Harmony» dasturining

amalgam oshirilishiga bo'lgan ishonch shu bilan bog'liqki, 1980-yillarda 218 ta energetika reaktori, ya'ni o'rtacha hisobda har 17 kunda bittadan reaktor ishga tushirilgan. Ular orasida 47 tasi AQSHda, 42 tasi Fransiyada va 18 tasi Yaponiyada ishga tushgan.

Yuqorida aytilganlardan xulosa qilib, aytish mumkinki, elektroenergetikani rivojlantirishning xalqaro ekspertlar hamjamiyati tomonidan o'tkazilgan deyarli barcha prognozlarida dunyo bo'yicha atom yordamida generatsiyalangan elektr energiyasining barqaror ortishi bashorat qilingan.

So'nggi 40 yil ichida, uskunalari ishi samaradorligining asosiy ko'rsatkichi - KIUM, yadro energetikasida sezilarli o'sdi. 2016-yilda KIUM darajasi 80% va undan ortiq bo'lgan reaktorlar hajmi 64% ga teng edi (1976-yili bunday ko'rsatkichga faqat 24% reaktor ega bo'lgan) hamda faqat 8% reaktor KIUM ko'rsatkichi 50% dan past bo'lgan (1976-yilda - 22% reaktor qurilmasi). Bunda eng yaxshi ko'rsatkichlar Janubiy Koreya reaktorlariga tegishli (KIUM ning o'rtacha ko'rsatkichi 96,5%ni tashkil etdi).

2017-yilda «Rosatom» dunyoda birinchi bo'lib, III+avlod VVER-1200 reaktorini, Novo-Voronej AESida tijorat maqsadlarida ekspluatatsiyaga tushirdi. Bugungi kunga kelib, «Rosatom» III+avlod referent reaktoriga ega bo'lgan yagona kompaniya bo'lib qolmoqda.

«Rosatom» Beloyarsk AESida tezkor neytronlarda ishlaydigan ikkinchi BN-1200 reaktorini tijorat maqsadida ishga tushirdi. BN asosidagi reaktorlar turkumidagi dastlabki 4-avlod qurilmasi hisoblanadi.

Yadro energetikasining yoqilg'i bilan ta'minlanganligi uning rivojlanish istiqbollari uchun o'ta muhim ahamiyatga ega. Dunyoda tabiiy uranga bo'lgan zamonaviy ehtiyojlar, uning umumiy zaxiralari 16 mln tonnani tashkil qilgani holda, taxminan 60 ming tonnaga yetadi.

XXI asrda ancha mukammal texnologiyalardan foydalanish dunyoda ko'lami tobora kengayib borayotgan elektr energiyasini ishlab chiqarishni ta'minlashda yadro energetikasi rolining ortishiga olib keladi. Yadro energetikasini keng ko'lamda rivojlantirish uchun, uning barcha xossalarini to'liq hajmda amalga

oshirish talab etiladi: yuqori darajadagi samaradorligi, resurslar bilan ta'minlanganligi, keng ko'lamli energiyaga egaligi, xavfsizlik, ekologik ta'sirining me'yor darajasida ekanligi. Dastlabki ikki talab yadro energetikasining issiqlik va tezkor reaktorlaridagi ikki komponentli tuzilmasini qo'llashda bajarilishi mumkin. Bu kabi tuzilmaga ega bo'linganda tabiiy urandan foydalanish samaradorligini ancha yaxshilash, uning qazib olinishini kamaytirish hamda radonning biosferaga chiqarish darajasini cheklash mumkin bo'ladi. Har ikki tipdagi reaktorlar uchun zarur xavfsizlik darajasiga erishish va kapital xarajatlarni kamaytirish yo'llari bugungi kunda ma'lum bo'lib, faqat ularni ro'yobga chiqarish uchun vaqt va mablag' talab etiladi, xolos. Jamiyat tomonidan yadroviy energetikani yanada rivojlantirish zarurati anglab yetilgan vaqtga kelib ikki komponentli tuzilma texnologiyasi deyarli tayyor bo'lib, biroq YAEUni va tarmoq tuzilmasi, shu jumladan yoqilg'i sikli korxonalarini optimallashtirish nuqtayi nazaridan ham ko'p ishlar amalga oshirilishi talab etiladi. Ekologik ta'sir darajasi asosan yoqilg'i siklidagi (uran, plutoniy) va saqlash joylaridagi (Np, Am, Cm, bo'linish hosilalari) radionuklidlar soni bilan belgilanadi.

Kam muddat yashaydigan izotoplar, masalan I va Sr, Cs, kabilar ta'siridan xatar (risk) AES, saqlash joylari, yoqilg'i sikli korxonalari xavfsizligini oshirish hisobiga yo'l qo'yiladigan darajaga qadar pasaytirilishi mumkin. Bu kabi xatar(risk)ning maqbulligini amaliyotda isbotlab berish mumkin. Ammo uzoq muddat mavjud bo'ladigan aktinoidlar va bo'linish hosilalarining millionlab yillar davomida ko'milgan joyida ishonchli saqlanishini isbotlash va buni ko'rsatib berishning iloji yo'q.

Albatta, radioaktiv chiqindilarni ishonchli ko'mib tashlash yo'llarini izlashdan voz kechish mumkin emas, ammo energiya olish uchun aktinoidlardan foydalanish, ya'ni yoqilg'i siklini faqat uran va plutoniyning o'zi bilan cheklab qo'ymay, balki aktinoidlar (Np, Am, Cm va b.) bo'yicha ham olib borish kerak bo'ladi. Xavfli uzoq muddat yashaydigan bo'linish hosilalarining issiqlik neytronlaridagi reaktorlar tizimidagi transmutatsiyasi (o'zgarib borishi) yadro yoqilg'isini tayyorlash yoki uni qayta ishlash

bo'yicha qo'shimcha texnologiya jarayonlari hisobiga atom energetikasi tuzilmasini murakkablashtiradi yoki yadro-energetika qurilmalari tiplari sonini ko'paytiradi. Np, Am, Cm, va shu kabi boshqa aktinoidlar va bo'linish hosilalarining reaktorlar yoqilg'isi tarkibiga kiritilishi ular konstruksiyasini murakkablashtirib, yadro yoqilg'isining yangi tiplari ishlab chiqilishini talab qiladi hamda xavfsizlik masalalariga salbiy ta'sir ko'rsatadi. Shunga bog'liq holda atom energetikasining issiqlik reaktorlari va tezkor reaktorlar hamda Np, Am, Cm va boshqa shu kabi aktinoidlarni yoqish va ba'zi bo'linish hosilalarini transmutatsiyalash uchun mo'ljallangan reaktorlardan iborat bo'lgan uch komponentli tuzilmasini yaratish imkoniyati ko'rib chiqilmoqda.

O'ta muhim muammolar qatoridan yadro yoqilg'isiga aylantirilishi mumkin bo'lgan radioaktiv chiqindilarni qayta ishlash va chiqarib tashlash ham joy olgan.

Shunday qilib, yadroviy energetika bilan bog'liq quyidagi muammolar yuzaga keladilar: Yadroviy energetikada erishilgan yutuqlarga qaramay, uning tobora kengroq tarqalishi yadro chiqindilarini utillashtirish masalasida jamoatchilikning bezovtalanishi hamda yadro qurolining yana ham ko'proq tarqalib ketish ehtimoliga oid siyosiy muammolarga duch kelmoqda. Yana bir muammo – bir vaqtning o'zida elektr energiya bozorlarida yadroviy energetikaning iqtisodiy raqobatbardoshligini oshirish bilan birga yadroviy xavfsizlikni yana ham takomillashtirish zarurati bilan bog'liq.

XXI asrda insoniyat energiyaning yangi, shu jumladan zaryadlangan zarrachalar tezlashtirgichlarini qo'llagan holda elektr yadroviy turlarini, istiqbolda termoyadroviy energiya turlarini o'zlashtirish yo'lida ilmiy va texnik inqilobga erishishi talab etilib, bu esa kuchlar birlashtirilishim, xalqaro kooperatsiyalashuvni talab etadi.

Shunday qilib, yadroviy energetika XXI asrning uzoq muddatli energiya manbai sifatida jiddiy ahamiya kasb etishi uchun raqobatbardoshlik, xavfsizlikni oshirishga, yadroviy qurol tarqalib ketishining oldini olishga va chiqindilarni utillashtirishga qaratilgan innovatsion yondashuvlar talab etiladi.

GLOSSARIY

Manba faolligi (aktivligi) – birlik vaqt mobaynida namunada ro'y beradigan radioaktiv parchalanishlar soni. Bekkereley (Bk)larda o'lchanadi, 1 Bk 1 sekundda 1 ta parchalanishga mos keladi. Shuningdek, Kyuri(Ku) larda ham o'lchanadi. $1\text{Ku}=3,7\cdot 10^{10}$ parchalanish / sek. Namuna aktivligini uning massasiga nisbati solishtirma aktivlik deyiladi, agarda namuna hajmiga nisbatini olsak, hajmiy aktivlikka ega bo'lamiz.

Aktiv(faol) zona (hudud) – Yadro reaktorining yadro yoqilg'isi joylashgan qismi bo'lib, bu yerda boshqariladigan yadro bo'linishining zanjir reaksiyasi sodir bo'ladi.

Alfa-nurlanish – Yadro parchalanishi natijasida katta energiya va tezlikka ega bo'lgan alfa-zarralarning oqimi.

Alfa-parchalanishi – yadroning, alfa zarralar ajralib chiqishi kuzatiladigan, o'z-o'zidan parchalanishi. Alfa parchalanishda yadroning massa soni (A) 4 ga kamayadi, zaryadi Z esa 2ga kamayadi.

Alfa-zarracha (α) – Massa soni $A=4$ hamda zaryadi $Z=2$ bo'lgan geliy atomining yadrosi. Ya'ni α - zarracha ikkita proton va ikkita neytrondan iborat.

Atom – kimyoviy elementning barcha xossalari o'zida mujassam bo'lgan uning eng kichik zarrasi. Atom, umuman olganda, elektroneytral, ya'ni nol zaryadga ega.

Beta-nurlanish – Yadro parchalanishi natijasida katta energiya va tezlikka ega bo'lgan beta-zarralarning oqimi.

Beta-parchalanish – Beta-zarralar ajralib chiqishi yoki atomning ichki elektron qobig'idan elektron tortib olinishi kuzatiladigan yadroning o'z-o'zidan parchalanishi. Beta- parchalanishda massa soni A o'zgarmas qoladi, zaryad Z esa, β - zarracha zaryadiga bog'liq ravishda, +1 yoki -1 ga o'zgaradi.

Beta-zarracha (β) – Yadro parchalanishi paytida hosil bo'ladigan elektron (β^- - zarracha) yoki pozitron (β^+ - zarracha).

Uran yadrosining majburiy bo'linishi – Tashqi zarracha ta'sirida yadroning ikki qismga ajralishi. Izotop ^{235}U neytron bilan birikishi natijasida hosil bo'lgan yadro, massa sonlari 90-100 va 135-145 bo'lgan ikkita parchaga ajraladi. Mana shu hodisa yadroning majburiy yoki neytronlar ta'siridagi bo'linishidir. Bo'linishdagi parchalar turli elementlarning keng spektrdagi izotoplarini beradi.

Gamma-nurlanish (γ) – Yadroning qo'zg'atilgan holatdan nisbatan yoki mutlaq tinch holatga o'tishida yuzaga keladigan yuqori energiyali elektromagnit nurlanishi. γ - nurlanish aksariyat hollarda alfa va beta parchalanishda kuzatiladi.

Hosilaviy yadro – Radioaktiv parchalanish natijasida hosil bo'ladigan yadro.

Bo'linish – Yadroviy reaksiya bo'lib, bu jarayonda yadro zarrachalar (neytron, proton, alfa zarracha va b.) tomonidan bombardimon qilinishi natijasida hosil bo'lgan qo'shma tarkibli yadro ikkita turli massali (bo'linishda hosil bo'lgan) bo'laklarga ajraladi.

Neytronlarni sekinlashtiruvchi – Yadroviy reaktorining qismi bo'lib, undagi materiallar neytronlarni issiqlik energiyasigacha sekinlashtirishda ishtirok etadi.

Yadroning zaryad soni Z yoki zaryadi – Yadrodagi protonlar soni N_p ($Z=N_p$).

Izotoplar – Yadrosida bir xil sondagi protonlar, lekin turli sondagi neytronlar bo'lgan atomlar. Masalan, ^1H (protiy, H), ^2H (deyteriy, D) va ^3H (tritiy, T) vodorodning izotoplaridir.

Ionlashtiruvchi nurlanish – Moddalardan o'tganda, ularning atomlaridan elektronlarni yulib olish (ya'ni ularni ionlashtirish) xususiyatiga ega bo'lgan nurlanish. α , β , γ - nurlanish ionlashtiruvchi nurlanish bo'ladi.

Kritik massa – O'z-o'zidan bo'linish yadroviy reaksiya boshlanishi va davom etishi uchun kerak bo'ladigan bo'linuvchi materialning minimal miqdori.

Yadroning massa soni A – Yadrodagi nuklonlar soni ($A=N_p+N_n$)

Birlamchi yadro – Radionaktiv parchalanish jarayoni bo'lib bo'layotgan yadro.

Neytrino (ν) – Zaryadga ega bo'lmagan, zamonaviy ilmiy qarashlarga ko'ra, juda kichik tinch holatdagi massaga ega(elektrondan ko'p marta kam) bo'lgan elementar zarracha. Antineytrino - uning antizarrachasi. Neytrino va Antineytrino moddalarga juda kam ta'sir ko'rsatishadi, shu sababli, amaliy jihatdan e'tiborga loyiq emas.

Neytron (n) – Yadro tarkibiga kiruvchi elementar zarracha. Neytron nolga teng elektr zaryadga va $1,675 \cdot 10^{-27}$ kg massaga ega. Yadrodagi neytronlar soni N_n bilan belgilanadi. Bu yadroning barqarorligini xarakterlaydigan muhim ko'rsatkichdir. Neytron (ham erkin holatda, ham yadro tarkibida) o'zidan elektron(e^-) va antineytrino($\bar{\nu}$) chiqarib, protonga aylanishi mumkin.

Nuklid – Yadrosi ma'lum bir N_p sondagi protonlar va N_n neytronlardan(yoki ma'lum massa soni A va zaryad soni Z) iborat atom. Nuklidlar quyidagicha belgilanadi: ${}_Z^AX$, bu yerda X -kimyoviy element belgisi. Masalan, massa soni $A=238$ bo'lgan uran 238 nuklidi($Z=92$) ${}_{92}^{238}\text{U}$ kabi belgilanadi. 238U elementga mos kelgani uchun Z belgisini yozmasa bo'ladi. Nuklidlar barqaror va beqaror (radionuklidlar) turlarga bo'linadi. Barqaror hamda ko'p yashovchi(yarim parchalanish davri 500 mln. yildan oshiq) nuklidlarning 285 tasi, beqarorlarining 2700 tasi ma'lum.

Nuklon – Proton va neytronning umumiy nomi. Yadrodagi nuklonlarning umumiy soniga massa soni $A=N_p+N_n$ deyiladi.

Bo'linish parchalari – Dastlabki yadroning majburiy yoki to'satdan bo'linishi natijasida hosil bo'ladigan yadrolar.

Neytronlar qaytargichi – Yadroviy reaktorning qismi bo'lib, undagi neytronlarni qaytaruvchi materiallar aktiv zonadan neytronlar chiqib kamaytiradi. Bunday materiallar sifatida yengil elementlardan foydalaniladi: ular bilan to'qnashgan neytronlar aktiv zonaga qaytariladi.

Yarim parchalanish davri ($T_{1/2}$) – Berilgan radionuklidning dastlabki yadrolar miqdoridan teng yarmi parchalanishiga ketadigan vaqt. Bu miqdor vaqtning birliklari (sekund, soat, sutka va h) da o'lchanadi hamda muayyan radionuklidning muhim

xarakteristikasi hisoblanadi. Masalan, bitta elementning (uran) izotoplari ^{235}U va ^{238}U mutlaqo turli yarim parchalanish davriga ega.

Pozitron (e^+) – Elektronning antizarrachasi. Pozitron elektron kabi massaga ega, biroq uning zaryadi musbat bo'lib, $+1$ ga teng. Pozitron va elektron to'qnashganda ular yo'q bo'lib ketadi (annigilatsiya) hamda elektromagnit nurlanishining ikkita kvanti ajraladi. Yadro parchalanishida uchib chiqadigan pozitron β^+ zarracha deyiladi.

Proton (p) – Yadro tarkibiga kiruvchi elementar zarracha. Proton $1,602 \cdot 10^{-19}$ Kl ($+1$, elementar zaryad birligida) ga teng musbat elektr zaryadga va $1,673 \cdot 10^{-27}$ kg ($1,0072764$ a.e.m) massaga ega. Yadrodagi protonlar soni N_p uning zaryadi soni Z va demak, atomning Mendeleyev jadvalidagi tartib nomerini aniqlaydi ($Z = N_p$). Erkin holatda proton barqarordir (bu tasdiq hali to'la-to'kis isbotlanmagan), yadro tarkibida esa u neytronga aylanishi mumkin: bunda pozitron (e^+) va neytrino (ν) ajralib chiqadi.

Radioaktivlik – Yadrolarning ionlashtiruvchi nurlanish chiqarib, o'z-o'zidan parchalanish xususiyati bo'lib, bunda zarrachalar (α -, β - va boshqa zarrachalar) hamda elektromagnit nurlanish (γ - kvantlar) ajraladi.

Yadroning radioaktiv parchalanishi – Yadroning o'z-o'zidan (ya'ni tasqi ta'sirlarsiz) parchalanishi. Yadrodan uchib chiqayotgan zarracha (α , β) tipiga bog'liq ravishda parchalanish tipi nomlanadi. Shunday yadrolar uchraydiki (ular, odatda, yadroviy reaksiyalar paytida hosil bo'ladi), ularning parchalanishi yoki bo'linishi paytida neytronlar va protonlar ajralib chiqadi.

Radioaktiv nuklid yoki radionuklid – Bu shunday nuklidki, uning yadrosi o'z-o'zidan parchalanib ketish xususiyatiga ega.

Radioaktiv element – Barqaror izotoplarga ega bo'lmagan kimyoviy element. Radioaktiv elementlarga texnesiy (Ts), prometi (Pm), vismut (Bi) va vismutdan keying barcha elementlar taalluqlidir.

Yadroning to'satdan bo'linishi – Radioaktiv parchalanish turi bo'lib, bunda yadro o'z-o'zidan ikkita yengilroq yadroga bo'linadi. Urandan boshlab, faqat og'ir yadrolarda kuzatiladi.

Tezlashtirgich – Tez harakatlanuvchi yuqori energiyali zarrachalar hosil qiluvchi qurilma. An'anaviy elektromagnit maydonida tezlashtirish jarayonidan foydalaniladi, chunki zarrachalar (neytronlardan tashqari) zaryadga ega. Yadroviy zanjir reaksiyasi paytida shunday zarrachalar ajraladiki, ular reaksiya davom etishini ta'minlaydi. Masalan, ^{235}U ni neytronlar bilan bombardimon qilganda, hosil bo'lgan tarkibiy yadro ikkita bo'lakka ajraladi hamda 2-3 ta neytron ajralib chiqadi. Bu neytronlar ^{235}U ning boshqa yadrolarini bombardimon qiladi va shu tarzda yadroviy reaksiya davom etadi.

Elektron (e^-) – Atom tarkibiga kiruvchi elementar zarracha. Uning manfiy elektr zaryadi $1,602 \cdot 10^{-19}$ Kl (-1 , elementar zaryad birligida) ga, massasi esa $9 \cdot 10^{-31}$ kg ga teng. Atomdagi elektronlar soni N_e uning yadrosidagi protonlar soni N_p ga teng. Shu tufayli, atom elektroneytral bo'ladi. Elektron barqaror zarracha (ya'ni parchalanmaydi) bo'lib, u proton yoki neytronlardan, taxminan, 1800 marta yengilroq.

Element (kimyoviy) – Yadrosi bir xil N_p sondagi protonlardan tashkil topgan atomlarning to'plami bo'lib, bu atomlarning yadro zaryadi Z bir xil va u elementning Mendeleyev jadvalidagi tartib nomeriga teng bo'ladi.

Yadroviy kuchlar – Yadrodagi nuklonlarni birgalikda tutib turuvchi kuchlar. Bu kuchlar kuchli ta'sir etuvchi kuchlar sirasiga mansub bo'lib, ular faqat yaqin masofalarda (10-15m) tortilish kuchi sifatida namoyon bo'ladi. Kuchli ta'sir etuvchi bu kuchlar gravitatsiya, elektromagnit va kuchsiz maydon kuchlaridan bir necha karra qudratliroqdir. Yadroviy kuchlar o'zaro ta'sir ko'rsatayotgan zarrachalar zaryadiga bog'liq emas.

Atom yadrosi – Atomning markaziy qismi bo'lib, unda atom massasining asosiy qismi joylashgan. Yadro neytronlar va protonlardan iborat.

Yadroviy reaksiya – Bitta yadroning tashqi zarracha ta'sirida boshqa yadroga (yoki yadrolarga) aylanish (o'zgarishi) jarayonidir. Yadro tez harakatlanuvchi zarracha (neytron, proton va b.) bilan to'qnashganda, u bilan birikib, qo'shma (tarkibiy) yadro hosil qilishi mumkin. Tarkibiy yadro ma'lum bir usulda parchalanishi

yoki ikkita turli qismlarga ajralishi mumkin. Tez harakatlanuvchi zaryadlangan zarrachalar, odatda, tezashtirgichlarda hosil bo'ladi, neytronlar oqimini esa yadroviy reaktorlar yoki neytronlarning maxsus manbalari yordamida hosil qilinadi.

Yadroviy reaktor – Yadroviy reaksiya o'tkaziladigan qurilma, ya'ni boshqariladigan yadrolarning bo'linishi zanjir reaksiyasini boshlash va davom ettirilishi uchun xizmat qiladigan qurilma.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Кюри М. Радиоактивность, пер с франс., 2 изд., – М., Л., 1960.
2. Резерфорд Э. Избранные научные труды. Радиоактивность. «Наука». М.: 1971, 432с.
3. Резерфорд Э. Избранные научные труды. Строение атома и искусственное превращение элементов. «Наука». М.: 1972, 532с
4. Ежегодный обзор мирового состояния ядерной промышленности // Атомная техника за рубежом. - 2003. - № 9 17-25 с.
5. Использование ядерной энергии: состояние, последствия, перспективы: доклады 8-й ежегодной конференции ЯО России, 1997 г. // Атомная энергий. - Вип. 83. № 6. - С. 393 - 469.
6. Карпов В. А. Топливные циклы и физические особенности високотемпературных реакторов / В. А. Карпов. – М.: Энергоатомиздат, 1985. - 128 с.
7. Бойко В.И., Кошелев Ф.П., Перспективные ядерные топливные циклы и реакторы нового поколения. Из-во ТПУ, Томск 2006, 489 с.
8. Нигматулин И. Н. Ядерные энергетические установки / И. Н. Нигматулин, Б. И. Нигматулин. – М.: Энергоатомиздат, 1986, 168 с
9. Бекман И.Н. Ядерная индустрия Курс лекций для химфака МГУ Москва 2005. <https://www.rosatom.ru>
<http://atomicexpert.com>
10. Стерман Л. С. Тепловые и атомные электростанции: учебник для вузов / Л. С. Стерман, В. М. Лавигин, С. Г. Тишин. - 2-е изд. – М.: МЭИ, 2004, 424 с.
11. Использование ядерной энергии: состояние, последствия, перспективы: доклады 8-й ежегодной конференции ЯО России, 1997 г. // Атомная энергия. -Вип. 83. № 6. 393-469 с.
12. Ежегодный обзор мирового состояния ядерной промышленности // Атомная техника за рубежом. -2003. -№ 9.17 – 25 с.

MUNDARIJA

Kirish	3
1-bob. Yadro fizikasi va energetikasining barpo bo'lishi....	7
2-bob. Yadroviy yoqilg'i sikli	24
3-bob Yadroviy texnologiya asoslari	51
4-bob. Atom elektr stansiyalari faoliyatining xavfsizligi va ekologiyaga ta'siri	76
5-bob. Yadro energetikasining zamonaviy holati va rivojlanish istiqbollari.....	113
Glossariy.....	131
Foydalanilgan adabiyotlar.....	137

**Y.D.XODJAYEV, SH.A.KASIMOV,
K.A.TOXTAXUNOV**

YADROVIY ENERGETIKA ASOSLARI

Toshkent – «Fan va texnologiya» – 2019

Muharrir:	M.Hayitova
Tex. muharrir:	A.Moydinov
Musavvir:	A.Shushunov
Musahhiha:	Sh.Mirqosimova
Kompyuterda sahifalovchi:	N.Rahmatullayeva

**E-mail: tipografiyacnt@mail.ru Tel: 71-245-57-63, 71-245-61-61.
Nashr.lits. AL№149, 14.08.09. Bosishga ruxsat etildi 27.12.2019.
Bichimi 60x84 1/16 «Times Uz» garniturası. Ofset usulida bosildi.
Shartli bosma tabog'i 8, . Nashr bosma tabog'i 8,75.
Tiraji 300. Buyurtma № 320.**

**«Fan va texnologiyalar Markazining bosmaxonasi» da chop etildi.
100066, Toshkent shahri, Olmazor ko'chasi, 171-uy.**