

fizikai szemle

AZ EÖTVÖS LORÁND FIZIKAI TÁRSULAT LAPJA

Alapította Eötvös Loránd 1891-ben Mathematikai és Physikai Lapok néven

XXXVI. évfolyam

11. szám

1986. november

A CSERNOBILI ATOMERŐMŰ ÉS BALESETE

Cserhádi András, Szikszai Tibor, Turi László
Paksi Atomerőmű Vállalat

A Csernobili Atomerőmű Kijevtől 130 km-re északra helyezkedik el, 20 km-re Csernobiltól és 3 km-re Pripjaty településtől. Az erőmű üzemszerű hűtését a Pripjaty folyó vizével feltöltött víztároló biztosítja. Ez közvetlenül az atomerőmű mellett van.

A Csernobili Atomerőmű blokkjai 3160 MW hőteljesítményű, RBMK-1000 típusú reaktorokkal üzemelnek. (Reaktor Bolsoj Moscsnosztyi, Kipjascsiy = nagy teljesítményű, forró víz hűtésű reaktor.) Négy ilyen blokk van itt helyben, és további tizenkettő működik a Szovjetunió más területein.

Az RBMK-1000 típusú reaktorberendezés felépítése

Az atomerőművi blokk magába foglal egy RBMK-1000 típusú reaktort, annak kényszeráramlású hűtőrendszerét és segédberendezéseit, a gőzkondenzvíz- és tápvízrendszert, valamint két K-500-65/3000 típusú gőzturbinát.

Az RBMK forró víz hűtésű, grafit moderátoros reaktor. Méretei jóval nagyobbak, szerkezete sokkal bonyolultabb, anyagigényesebb, mint a Paksi Atomerőműben is alkalmazott VVER-é. A reaktorban grafitömbökben elhelyezett függőleges csatornák, ezeken belül pedig cserélhető üzemanyag-kötegek vannak. Az üzemi nyomás 81 bár, a nyomást az egyes csatornák fala tartja. Minden egyes csatornához külön hűtővíz-bevezetés tartozik külön armatúrával.

A reaktor egy $21,6 \times 21,6 \times 25,5$ m méretű betonfalú helyiségben van elhelyezve. Függőleges csatornák, felső és alsó védőlapok együtteséből áll. A reaktor zónája grafit moderátorú, a vízzel hűtött üzemanyag-kötegek függőleges csatornában vannak elhelyezve. A grafitömb 13,8 m átmérőjű, ebből 11,8 m

az aktív zóna átmérője. A zóna 8 m magas. 1693 grafitoszlop az üzemanyag csatornák befogadására szolgál, 179-ben pedig a szabályzó és biztonságvédelmi rudak csatornái vannak. A rudak hajtása felül helyezkedik el, a védőlap felett, a mozgatót dobra felcsévé- lődő drótkötél végzi.

A reaktor grafiton és csatornáin kívüli belső terét nitrogén-hélium gázkeverékkel töltik fel, amelyet kis túlnyomás mellett folyamatosan áramoltatnak át a grafitömbön keresztül. Ez hűtési célokra, valamint az oxigén távoltartására szolgál, folyamatosan tisztítják.

Az RBMK reaktornál üzemanyagként uránoxidot használnak 7 m hosszú, 18 fűtőelemből álló fűtőelem-kötegekben.

A reaktor két szimmetrikus hűtőkörében 4-4 fő keringtető szivattyú (3-3 üzemi és 1-1 tartalék FKSZ) biztosítja a hűtőközeg keringtetését. A fő keringtető szivattyúk nyomókollektoraiából a hűtővíz a 44 elosztó csoportkollektorba jut, innen pedig a technológiai csatornába áramlik. Az üzemanyag által fűtött csatornában keletkező víz-gőz keverék csővezetékeken keresztül a dobos leválasztókba kerül, ahol szeparálódik. A kis mértékben radioaktív telített gőz a főgőzkollektoron keresztül a turbinába jut, majd a kondenzátor után a kondenzátum egy teljes-áramú kondenzátumtisztítón megy keresztül. Innen kerül az előmelegítő rendszerbe, majd a gáztalanító táptartályba. A táptartályból a tápvíz a tápvízszivattyún keresztül visszamegy a dobos leválasztóba. Ennek vízteréből leeresztő csövek a fő keringtető szivattyúk szívókollektorára adják a vizet.

Az üzemanyag csatornák ki- és berakása az RBMK-1000 reaktor esetében speciális átrakógép segítségével történik, amely lehetőséget nyújt az üzemanyag cseréjére a reaktor leállítása nélkül is. A csere egész ideje alatt biztosított a hűtőközeg folyamatos áramoltatása az átrakás alatt levő üzemanyag csatornában is. Műszakonként 2-3 üzemanyag-köteget tudnak cserélni.

A zóna nagy méretei és a folyamatos átrakás miatt a teljesítmény térbeli eloszlása érzékeny a szabályzó

Jelen anyag főként az RBKM típusú atomerőművekről megjelent szovjet könyvek, hivatalos szovjet híradások, a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség információs anyagai alapján készült.

és biztonságvédelmi rudak elhelyezésére és helyzetük változására. Ezért a teljesítmény-eloszlás instacioner deformációinak megakadályozására szükség van a szabályzó és biztonságvédelmi rendszer keretein belül 6-8 csoportból álló lokális automatikus szabályzók rendszerére, amelyek inerciamentes in-core* detektorokról működnek. Emellett beépítettek lokális üzemzavari védelmi rendszereket is, amelyekhez szintén 6-8 csoport tartozik, és saját in-core detektoraik vannak.

Biztonsági filozófia

A maximális tervezési balesetnek a fő keringtető szivattyúk 900 mm átmérőjű főnyomókollektorának, vagy a 300 mm-es csoportkollektoroknak visszacsapószelep utáni 100%-os törése számít. Az előzetes vizsgálatok szerint ezek bizonyultak a legveszélyesebb balesetnek a radioaktív kibocsátás és a zónahűtés szempontjából. A hűtőkör más csővezetékeinek törését kevésbé veszélyesnek ítélték. A csoportkollektort és a technológiai csatornát összekötő 50 mm-es csővezeték törése nem vezet a blokk főbb paramétereinek változásához. A csatornák reaktoron belüli szivárgását a reaktor gázterének nedvességmérésével ellenőrzik.

Az RBMK-1000 típusú reaktorberendezésnél a hermetikusság elvesztésével járó üzemzavarok biztonságos levezetése érdekében a reaktor két független üzemzavari hűtőrendszerrel rendelkezik (RÜHR). Ez hidroakkumulátoros passzív elemekből és tartályokat, szivattyúkat tartalmazó aktív elemekből áll. A RÜHR az elosztó csoportkollektorokba táplál be. Ebben az üzemmódban zárnak azok a visszacsapó szelepek, amelyek a csoportkollektorok és az FKSZ nyomókollektorok közt vannak.

A tervezési elvek szerint a nagy nyomású forró víz a szerteágazó kis átmérőjű csőrendszerben nem jelent olyan veszélyes energiakonzentrációt, hogy a reaktort minden oldalról túlnyomásra méretezett hermetikus burokbá foglalják. Nagyobb átmérőjű, nyomás alatti vizet tartalmazó csövek a reaktor alatt és mellett vannak, így a reaktort csak alulról és oldalról határolják vastag betonfalak, felülről a bontható biológiai védelem védi. A reaktor feletti csarnok fala az átrakógép magasságáig vastag beton, az felett könnyűszerkezetes kivitelű.

Minden főberendezés küiön, elszigetelt helyiségben helyezkedik el. A kollektorhelyiség 4 bar, míg a csoportkollektorok és reaktorhoz vezető vízcsövek

helyiségei 0,2 bar túlnyomásra méretezettek. Csőtörés esetén a boxba kikerülő gőz-levegő elegy a reaktorépület alsó szintjén levő buborékolgató medencében kondenzál le. A két félből álló hűtőrendszer helyiségkiosztása olyan, hogy az egyik félből történő csőtörés esetén a másik fél helyiségei szolgálnak légszűrőként.

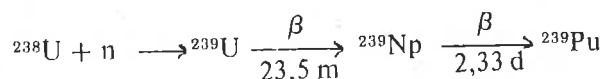
Ilyen nagyszámú cső hőszigetelése egyenként nem célszerű, ezért a hőszigetelés a helyiségek belső falaira került.

Reaktorfizikai jellemzők

A téma természetéből adódóan itt csupán egy rövid, minőségi jellegű éttekintést teszünk, mivel a jelenségek számszerű vizsgálata meghaladja a jelen ismertető kereteit.

Ennek a zónának jellemző reaktorfizikai tulajdonsága a nagy méret, ezért a reaktivitás* fogalom csak korlátozottan használható. A zóna úgy tekinthető, mint több, lazán csatolt szub- és szuperkritikus rendszer összessége. A friss üzemanyag-kötegekből már 25 db kritikus tömeget képes alkotni. Mivel a reaktorban összesen közel 1700 üzemanyag-csatorna van, ezek egészen kis hányadánál jelentkező neutronháztartási egyensúlybomlás már helyi kritikusság kialakulásához vezethet.

A friss üzemanyag ^{235}U -ben 1,8–2%-ban dúsított urán, UO_2 alakban. Üzem közben jelentős mennyiségben képződik plutónium a



reakció szerint. Az így képződött plutónium egyrészt javítja a zóna sokszorozási tulajdonságait — átlagosan a hasadásoknak kb. 20%-a plutóniumtól ered —, másrészt a reaktor szabályozása a plutónium kisebb késő neutronhányada miatt nehezebb. A láncreakció szabályozását döntő mértékben befolyásoló effektív késő neutronhányad, a VVER reaktorokra kb. 0,66%, míg az RBMK reaktora 0,42% egyensúlyi üzemanyagciklus esetén. Ezen kívül a szabályozó rudak mozgására, az üzemanyag-csatornáknak képződő gőzbuborékokra ez a típusú reaktor érzékenyebben reagál, mint a VVER típusú reaktor.

Az RBMK reaktor főbb reaktivitás effektusai az alábbiak:

— a konstrukciós anyagok (moderátor, technológiai

* in-core detektorok: az aktív zóna belsejében elhelyezett neutron detektorok. Ezek lehetnek kisméretű hasadási kamrák, vagy Rh, V, Ag emitterű, külső tápfeszültséget nem igénylő detektorok. Utóbbiak neutronbefogást követően béta részecskét, azaz elektront emittálnak. Az alkalmazott méreteknél és neutronfluxusoknál a mérhető áramok μA – nA nagyságúak.

* reaktivitás: $\rho = (k_{\text{eff}} - 1) / k_{\text{eff}}$ ahol k_{eff} az effektív sokszorozási tényező. Ha a hasadások száma időben nem változik, akkor $\rho = 0$. Szuperkritikus állapotban a reaktivitás pozitív. Ha a szuperkritikusság mértéke az effektív késő neutronhányadot meghaladja a teljesítmény igen gyorsan nő (ez a reaktor "megfutása").

csatorna fala, fűtőelem burkolata) hőmérséklet változása miatt,

- a reaktor teljesítményének változása miatt, és
- a hűtőközeg gőztartalmának változása miatt bekövetkező reaktivitás-változás.

A moderátor grafitjának, a csatornafal és fűtőelem-burkolat Zr anyagának a hőmérséklet növekedésével csökken a neutron abszorpciója, ami egy kis mértékű, de pozitív előjelű reaktivitás-változást eredményez.

A reaktor teljesítményének növekedése az üzemanyag hőmérsékletének növekedését vonja maga után. A növekedés mértékét nagyban meghatározza a hűtési viszonyok változása is. Az üzemanyag hőmérsékletének függvénye a rezonanciaabszorpció és a hasadási gyakoriság. Ezek a függések csökkentik a reaktivitást a hőmérséklet növekedésével.

A legszámottevőbb a gőzfeljődés miatti reaktivitás-effektus. Itt két fő folyamatot kell figyelembe venni, amelyek egyaránt pozitív reaktivitás-tényező eredményeznek:

1. A neutronok lassítása alapvetően a grafitban zajlik, és a víz neutronfizikai szempontból sokkal inkább abszorbensként, mintsem moderátorként viselkedik. Ez azt eredményezi, hogy a gőztartalom növekedésével csökken a csatornában az abszorbens koncentrációja, és növekszik a termikus fluxus.

2. A gőz megjelenésével a neutron a sűrű üzemanyag-rácsból könnyebben kikerül a grafitba, s így rá nézve csökken az üzemanyagban a rezonanciaabszorpció valószínűsége.

Tehát a teljesítménytényező negatív, a gőz reaktivitás-tényező és a moderátor hőmérsékleti tényező pedig pozitív. Összességében részletesebb számítások nélkül nehéz megállapítani, hogy különféle üzemmódokban az eredő hatás milyen előjelű. Ezzel együtt a pozitív reaktivitás-effektusok léte biztonsági szempontból kedvezőtlen tényként értékelhető.

A reaktorszabályzás és -biztonság szempontjából fontos fizikai jellemző az ún. operatív reaktivitástartálék értéke. Ezt meghatározott számú, a zónába nagy differenciális effektívusú helyekre leeresztett szabályzó rúd köti le, s teljesen leeresztett rudakra átszámítva adják meg. Az RBMK – 1000 reaktorra elfogadott minimális értéke 30 rúdnyi volt. E legkisebb érték esetén az üzemzavari védelem negatív reaktivitás beviteli sebessége elegendő a pozitív reaktivitás effektusok kompenzálására.

A gőz szerinti reaktivitástényező annál pozitívabb, minél kevesebb abszorbens van a zónában.

Előzmények, az üzemzavarhoz vezető eseménysor

A blokk 1986. április 25-re tervezett karbantartásra való leállása előtt az egyik turbogenerátor kifutási kísérleteit tervezték be. A kísérletek célja: megvizsgálni, hogy a gőzoldalról lezárt turbogenerátor forgó-

részének mechanikai energiájával a blokk saját fogyasztói elláthatók-e a dízelgenerátorok belépéséig teljes feszültségkimaradás esetén. Egy olyan új gerjesztésszabályzó berendezés alkalmazását akarták kipróbálni, amely a turbogenerátor fordulatszámcsökkenésekor is viszonylag stabil feszültséget biztosít.

A kísérlet munkaprogramja nem volt kellően előkészítve és egyeztetve, minősége igen gyenge volt, a benne szereplő "Biztonsági intézkedések" c. fejezetet formálisan állították össze. A kísérletet szűken vett villamos próbának tekintették, a végrehajtást vezető mérnök-elektrikus nem rendelkezett átfogó ismeretekkel a reaktorberendezés működését, biztonsági kérdéseit illetően. A kísérletek időtartamára a munkaprogram a reaktor üzemzavari hűtőrendszerének kikapcsolását írta elő, de nem gondoskodott pótlólagos biztonságnövelő intézkedésekről. A kezelőszemélyzet nem volt felkészítve, nem látta előre az esetleges veszélyeket. A végrehajtás során még az erősen kifogásolható munkaprogramtól is eltértek, s mindez megteremtette egy üzemzavari szituáció feltételeit.

Az üzemzavar pontos kifejlődési, terjedési folyamatának a tisztázása, a vizsgálat során felmerült verziók közül a valóságban megtörtént kiválasztása csak úgy volt lehetséges, hogy a teljes eseménysort egy, a blokk egészének viselkedését valós időben leíró matematikai modellen sokszor végigfuttatták, lejátszoták. Bemenő adatként zónafizikai számítások eredményét, blokkszámítógépi regisztrátumokat, a műszerek által rögzített értékeket, valamint a kezelők utólagos kikérdezése útján nyert információkat használták fel.

Az alábbiakban összefoglaljuk a rekonstruált eseménysor lényeges mozzanatait. A leírás továbbiakban követett formája 'óra :perc (:másodperc) – esemény', amit közbevetett háttérinformációk, értékelések szakítanak meg:

1986. április 25., péntek

- 01:00 – a reaktor teljes terhelésen, 3200 MW teljesítményen üzemel, a kezelők elkezdik a reaktor teljesítményének csökkentését;
- 13:05 – a reaktor teljesítménye 1600 MW, a háziüzemi fogyasztók villamos betáplálását a 8. turbogenerátorra térítik át, a 7. turbogenerátort lekapcsolják a hálózatról;
- 14:00 – a munkaprogramnak megfelelően a reaktor üzemzavari hűtő rendszerét lekapcsolják, de az energiarendszer diszpécser a blokk leállítását nem engedélyezi;

A kezelési utasítást megsértve a blokk lekapcsolt üzemzavari hűtőrendszerekkel üzemelt tovább.

- 23:10 – folytatják a reaktor teljesítményének csökkentését;

A munkaprogramban a kísérletet a reaktor 700–1000 MW teljesítményére tervezték.

- a lokális automatikus szabályzók kikapcsolásakor az operátor nem tudja kellő gyorsasággal megszüntetni az automatikus szabályozó mérő részében fellépő kilengését, és a teljesítmény 30 MW alá esik;

A szabályzók kikapcsolása a kezelési utasításban kis teljesítményekre előírt művelet.

1986. április 26. szombat

01:00 – sikerül a reaktort 200 MW teljesítményen stabilizálni;

A reaktor a megelőző teljesítményváltoztatások következtében ekkorra "elmérgeződött", azaz időlegesen felszaporodott az üzemanyagban a ^{135}Xe izotóp (jó neutron elnyelő) mennyisége, amit csak rudak kihúzásával lehet kompenzálni, de a teljesítmény további növelése nehéz volt a kezelési utasításban előírt értéknél jóval kevesebb operatív reaktivitástartalék miatt.

- mégis úgy döntenek, hogy a kísérleteket elkezdik;

01:03 és

01:07 – a 6 üzemelő fő keringtető szivattyúhoz hozzákapcsolnak még 1-1 szivattyút mindkét oldalról.

Az volt a kezelők szándéka, hogy a 4, kifutó turbogenerátorról megtáplált szivattyú kiesésével 4 további maradjon üzemben a próba után az aktív zóna megbízható hűtésére. Ugyanakkor ez az üzemmód a szivattyúk szállításának megszűnésével, és kavitáció fellépésével fenyegetett. A reaktoron keresztül szállított vízmennyiség megnövekedése a gőzképződés csökkenéséhez, nyomás csökkenéséhez, a reaktor más paramétereinek megváltozásához vezetett.

- az operátorok kézi beavatkozással igyekeznek fenntartani a reaktor paramétereit, de ezt teljes mértékben megvalósítani nem sikerül;
- hogy elkerüljék a reaktor leállítását, a "gőzleválasztó szint és nyomás alacsony" jelekre az üzemzavari védelmet bénítják;
- a reaktivitás lassan tovább csökken;

01:22:30 – az operátor észleli, hogy az operatív reaktivitástartalék felénél kevesebb a megengedettnek;

Ez a reaktor haladéktalan leállítását követelné meg.

- a kezelők nem állítják le a 200 MW teljesítményen üzemelő reaktort, a kísérletek elkezdődnek;
- bénítják az utolsó turbina gyorszáróinak zárására fellépő üzemzavari védelmet is;

Ez további eltérés volt a programtól. Indítéka az volt, hogy ha a kísérlet sikertelen lenne, meg tudják ismételni.

01:23:04 – lezárják a 8. turbogenerátor gyorszároít.

A turbina gőznyelésének megszűnése miatt a gőz nyomása lassan nőni kezdett, a reaktoron átmenő víz forgalma csökkent, mivel 4 szivattyú a "kifutó" turbínáról működött. Az adott állapotban a reaktor érzékenyen reagál minden kis változásra, a teljesítmény növekedése a gőzfejlődésen keresztül növeli a reaktivitást, ami a teljesítmény további növekedését vonja maga után.

- a kezelők a műszereken látják a teljesítmény kezdetben lassú, majd egyre gyorsuló növekedését;

01:23:40 – megnyomják a reaktor üzemzavari leállítására szolgáló gombot, amelynek hatására a szabályzó és biztonságvédelmi rudak lefele mozognak;

- néhány másodperc múlva robbanások hangzanak;

- az operátor észleli, hogy a rudak közbelső helyzetben megállnak, ekkor hajtásukat feszültségmentesíti, hogy szabadeséssel a zónába essenek.

Az épületen kívül tartózkodó szemtanúk szerint 2 egymás utáni robbanásra került sor, a 4. blokk felett tűzijátékszerűen égő anyagdarabok és szikrák repültek szét, amelyek egy része a gépház tetejére esett, és tüzet okozott.

A baleset idején az erőműben 176 fő műszakos üzemviteli személyzet és a bővítésen dolgozó 286 fő építő és szerelő tartózkodott.

A robbanások közvetlen magyarázata

Az, hogy a kezelők túl alacsony reaktivitás tartálékkal dolgoztak, oda vezetett, hogy gyakorlatilag az összes megmaradt elnyelő rúd az aktív zóna felső részébe került, ami az üzemzavari védelem időbeli beavatkozási hatékonyságának erős csökkenését eredményezte.

A technológiai csatornákon keresztül áramló víz forgalmának további folyamatos csökkenése a teljesítmény állandó növekedése mellett intenzív gőzfejlődéshez, azt követően pedig a hőátadási krízis fellépéséhez, az üzemanyag túlmelegedéséhez, majd sérüléséhez, a víz gyors kiforrásához, a sérült üzemanyag-részecskék hőhordozóba kerüléséhez, a technológiai csatornáknál a nyomás hirtelen növekedéséhez, majd a csatornák sérüléséhez, gőzrobbanáshoz vezetett. A gőzfejlődés és az aktív zóna hőmérsékletének hirtelen növekedése megteremtette a gőz-cirkónium kölcsönhatás és más kémiai, hővel és robbanó gázok keletkezésével járó reakciók feltételeit. A gázok a gőzrobbanás után néhány másodperccel robbantak be. Ennek során megsérült a reaktor, súlyosan megromlott az épület is. A reaktorépületen keletkezett nyíláson keresztül folyamatosan áramlott ki radioaktív anyag a levegőbe.

A baleset okai

A fentiek szerint Csernobilban nagymértékű pozitív reaktivitás bevitelével járó, balesetbe torkolló üzemzavar történt. A reaktorberendezés tervezése során hasonló típusú üzemzavari esetekre védelmi rendszereket irányoztak elő, számításba vették a reaktor bizonyos kedvezőtlen fizikai jellemzőit, így a pozitív, gőztartalom szerinti reaktivitáseggyütthatót is.

A műszaki védelmi berendezésekhez tartoznak a teljesítménylülépést és a kis periódusidő kialakulását megakadályozó reaktor szabályzó és védelmi rendszerek, ezen kívül különféle reteszek és védelmek, tartalék átkapcsoló automatikák, valamint a reaktor üzemzavari hűtőrendszere.

A tervezés kiterjedt az atomerőművi technológiák szigorú rendjére, szabályaira is, amelyeket a kezelési utasítások rögzítenek. A legfontosabb előírások egyike az, hogy tilos az operatív reaktivitástartalékot alacsonyabb értéken tartani, mint amennyit 30 rúd leköt.

A turbogenerátor háziüzemi fogyasztókat ellátó kivitási próbájának előkészítésekor és lefolytatásakor a kezelők hatástalanítottak egy sor védelmi berendezést és megsértették a technológia biztonságos kézbentartását garantáló kezelési utasítás alapvető pontjait.

Az alábbi táblázat felsorolja a kezelők által elkövetett, legveszélyesebbnek bizonyult hibákat:

Nº Hibás művelet	Motiváció	Következmények
1. Az operatív reaktivitás tartalék mélyen a megengedett érték alá való csökkentése	A mérgeződésből való gyors kijóval	A reaktor védelme hatástalanná vált
2. A munkaprogramban megadott alatti teljesítmény beállítása	Az operátor hibája a szabályzó kikapcsolásakor	A reaktor nehezen szabályozhatóvá vált
3. A 8. szivattyú indítása, a kezelési utasításban megengedettnél nagyobb egyenkénti forgalom előidézése	A munka-programban rögzített üzemmód előállítása	A vízhőmérséklet megközelítette a telítési hőmérsékletet
4. A reaktorvédelem bénítása az utolsó turbina leállításának jelére	Ismétlési lehetőség biztosítása	Elveszett a reaktor automatikus leállításának lehetősége

5. A reaktorvédelem bénítása a gőzleválasztó alacsony szint és kis nyomás jelére	Bár a reaktor instabil, de a kísérletet végre kellene hajtani	A hőtechnikai paraméterek szerinti reaktorvédelem teljesen ki lett kapcsolva
6. A reaktor üzemzavari hűtő rendszerének kikapcsolása (maximális tervezett üzemzavar védelmének kiiktatása)	A próba alatt hamis jelre éles működés ne legyen	Elveszett az üzemzavar méreteinek csökkentésére irányuló beavatkozási lehetőség

A kezelők viselkedésének motiváltsága nem szándékos kártétel jellegű, hanem pozitív volt, törekedtek a kísérlet minél hamarabb történő befejezésére. A legfontosabb előírások megszegése a kísérlet előkészítése és lefolytatása során, magának a kísérlet munkaprogramjának a megszegése, a reaktor berendezés irányításában elkövetett felelőtlen műveletek arról tanúskodnak, hogy a kezelők nem ismerték kellően a reaktorberendezésben végbemenő technológiai folyamatok menetét, és elveszett belőlük a félelemérzet.

A reaktorberendezés tervezői nem dolgoztak ki olyan biztonsági rendszereket, amelyek képesek lettek volna megelőzni az üzemzavart abban a kialakult helyzetben, amikor a legfontosabb reaktorvédelmi rendszerek nem éltek, és a kezelési utasítás alapvető pontjait sokszorosán megszegték, mivel a tervezés során az események ilyen jellegű alakulását lehetetlennek tekintették.

Tehát az üzemzavar elsődleges oka a blokk kezelői által elkövetett (ilyen halmozottan igen csekély bekövetkezési valószínűséggel várható) szabályszegések és üzemviteli előírászegések sorozata volt.

Az üzemzavar azért érhetett el katasztrófális méreteket, mert a kezelők tevékenysége által a reaktor olyan, a kezelési utasítástól eltérő állapotba került, amelyben lényegesen megnőtt a pozitív reaktivitástételező teljesítménynövelő hatása.

A baleset áldozatai

Közvetlenül a baleset során két ember halt meg, kórházba 197 fő került. Mintegy 40 fő szenvedett súlyos sérülést és sugársérülést. Később további 102 embert szállítottak kórházba. A kezelések (pl. csontvelő-átültetés) ellenére eddig a balesetet követő egy hónapon belül kilenc sérült vesztette életét, június első hetéig a sugárbeteg halálos áldozatok száma 24 fő.

Tűzoltás

A robbanást követően a 4. blokk reaktorcsarnokának környezetében nagy tűz ütött ki, amely átterjedt a gépház, valamint a 3. blokki segédrendszereket tartalmazó épületrész födémszerkezetére is. A tűz több helyen tombolt a 12,5 m-es szinttől a 71,5 m-es szintig.

A közvetlen oltási munkálatokat a robbanást követő mintegy 3–5 percen belül az erőműben, vagy annak közelében pillanatnyilag tartózkodó 28 tűzoltó kezdte meg. Egyidejűleg az egész kijevei körzetre érvényes tűzvédelmi riasztást adtak ki, de a távolságok miatt az első félórán csak a helyszíni létszámra lehetett számítani. Az oltást elsősorban a gépház tetőszerkezetén végezték, ahova a külső tűzlépcsőkön és a tűzoltóautók létráin jutottak fel. A gépházi födém is megsérült, helyenként a betonlapok inogtak, sőt több helyen le is zuhantak a csarnokba.

A tüzet reggel öt órára oltották el, azaz mintegy három és fél óra alatt.

Helikopteres műveletek

Rövid időn belül a helyszínre irányítottak a hadsereg kötelékeiből helikopteres csapatokat.

Ezek első feladata a sugárfelderítés volt. A levegőben végzett méréseik és földfelszínről, mocsarokból, felszíni vizekből helyenként, leszállás nélkül vett mintáik alapján hozták meg a kitelepítésre, annak szükséges méreteire vonatkozó döntést. A levegőből derítették fel a reaktor állapotát is. A katonai légi fényképészek a továbbiakban is folyamatosan készítették felvételeiket, amelyek fontos információkat adtak a megközelíthetetlen részek állapotáról és a munkák szervezésének nélkülözhetetlen feltételei voltak.

A következő igen nehéz és veszélyes feladat a reaktor elzárása volt. Ezt — a már ismertté vált módon — ugyancsak a helikopteresek oldották meg. A homokot, dolomit zúzalékot, ólomsörétet és bört tartalmazó zsákokat mintegy 200 méter magasságból dobták a reaktorra. A helikopterekre alulról ólomlemezeket szereltek biológiai védelemként, de különösen kezdetben, a még nyílt reaktornál a személyzetük viszonylag nagy dózisoskat kapott, később orvosi megfigyelés alatt pihentek. A zsákokkal és a védelemmel túlterhelt gépek — legalább 30-ra becsülhető számuk — egy nagy körben, a levegőben egymás után sorakozva dobták le terhüket, majd indultak a következő fordulóra.

Összesen 5000 tonna anyaggal tömítették a reaktort. A ledobott zsákok ugyan a reaktorépületekre estek, de nem képeztek egyenletes záróréteget. Ezért a későbbiekben igyekeztek pontosabban célózni, alacsonyabbról, és kisebb ejtőernyők segítségével irányítottabban lejuttatni a zsákokat. Sor került ólomsörét leszórására is, amely belegurul a kisebb kráterekbe.

A tűz elfojtása miatt a reaktorra helikopterekről ejtőernyőre függesztett zsákokban ledobott 5000 tonnányi anyag súlya, illetve a zóna bizonyos hányadában bekövetkezett üzemanyagolvadás hosszú ideig azzal a veszéllyel járt, hogy a megolvadt üzemanyag a reaktor alatti betonréteget elroncsolva a talajba jut. Ezért elsőrendű fontosságú volt a reaktor alatt elhelyezkedő két buborékoltató tálcasorból a víz kiszivattyúzása, ill. ebben a térben kb. 3 m vastagságú kiegészítő betonlap készítése, amit sikeresen elvégeztek.

Vizépítési munkák

Földmunkákkal megakadályozták, hogy az erőmű területéről a Pripjaty folyóba kerüljön az esővíz által összemosott radioaktív szennyeződés. Gátat építettek az esővíz övások bevezető szakaszára is.

Technikai eszközök összevonása

Légi úton, nagyon rövid idő alatt, az ország több pontjáról az atomerőműbe szállítottak több nehéz és különleges berendezést.

Cseljabinszkból, az Uralból 19 tonnás rádióirányítású buldózer érkezett az udvartéri igen szennyezett törmelékeltakarítására, és a felső talajréteg összegyűjtésére. Kb. 150 méterről, egy páncélozott katonai járműből vezették. További példányok előkészítésére, a vezérlésük tökéletesítésére is sor került. Sokan tanulták ilyen szerkezetek irányítását. Kijevben összpontosították az ország automatizálási és robotikai szakembereinek egy csoportját, amely manipulátorokat, robotokat fejleszt, meglévőket adaptál a helyi körülményekhez. Az NSZK-ból is érkezett televíziós érzékelőkkel ellátott különleges önjáró lánctalpas szerkezet.

Szibériából, a BAM körzetéből komplett alagút-fúró pajzsot hoztak. A helyszínre alagút- és metró-építő szakembereket összpontosítottak. Az ő feladatuk a reaktorépület alatti betonozási munkák előkészítése volt. A 3. blokki reaktorcsarnok takarásában egy aknákat mélyítették le, innen indult az alagút építése 150–200 m hosszban a 4. blokk alá. Az aknáig az utat még hónapokig csak páncélozott katonai szállítójárműben lehetett megtenni az udvartérben foltokban jelenlevő nagy aktivitások miatt.

Vizleeresztés a reaktor alól

A munkálatok első szakaszában nagy fenyegetést jelentett a reaktor alatti helyiségek vízzel telített állapota. Itt a lokalizációs rendszer buborékoltató medencéi vannak. Ezek a robbanáskor bekövetkezett csőtörések és az üzemzavari hűtőrendszer működése

miatt kerültek víz alá. Az aktív zóna maradványai a folyékony nitrogénnel való hűtés ellenére még izzó, olvadt állapotban voltak, fenyegetett a reaktor alatti fődém átolvadása. Másrésztől a leszórt 5000 tonnányi anyag által okozott járulékos fődémterhelés ugyancsak az amúgy is elferdült fődém beszakadásához, áttöréséhez vezethetett. Amennyiben a felhevült zóna a vízbe esett volna, gőzrobbanások az egész épületet szétvethették volna, és a korábbinál is jóval súlyosabb helyzet alakulhatott volna ki.

A medence leürítését először kb. száz tűzoltó autó végezte. Az összes vizet nem tudták eltávolítani. Ez csak két olyan tolózár kézi nyitásával volt lehetséges, amelyek a víz alatt voltak. Három önkéntes — a baleset idején szolgálatban levő műszakból — különleges búváruhában behatolt a helyszínre. A sötétben, víz alatt megtalálták a két tolózarat, sikerült is kinyitniuk, s a víz végül elfolyott. A hírek szerint az eset után tovább tudtak dolgozni, tehát nem kaptak extrém nagy dózisoskat a művelet során.

Betonozás

A szándék: a teljes reaktorépületet minden oldalról körülbetonozni. A reaktor alatti betonlepenybe hűtési lehetőségeket is biztosító szerkezet került. A kész betont csöveken sajtolták a helyszínre. Hogy esetleges problémák miatt a beton ne kössön a nagy nehézségek árán kiépített csőnyomvonalba, háromszorosan tartalékolták a betongyártást, vízellátást. A reaktor alatti sugárzási körülmények csak néhány óras műszakokat tettek lehetővé, ezek elteltével az embereket cserélték. A reaktor alatti munkák július közepére befejeződtek. A sérült blokkot méternél vastagabb modul acélszerkezetű zsaluzattal vették körbe — távirányítással juttatták az elemeket helyükre — majd ezt is kiöntötték betonnal.

Környezeti hatások

A reaktorbaleset következtében hosszú időn keresztül nagy mennyiségű radioaktív anyag került a légtérbe. Ez a Szovjetunió határain kívülre is elterjedt. Először a skandináv országokban és Lengyelországban észleltek a szokottnál nagyobb mennyiségű radioaktív anyagot a levegőben, majd amikor a szél északkeleti irányú lett, Európa több országában is — így Csehszlovákiában, az NSZK-ban, Ausztriában, Magyarországon, Romániában és Jugoszláviában — nőtt a levegő aktivitása. Kisebb aktivitásnövekedéseket még több országban mértek. A hivatalos szervek mindenütt hangsúlyozták, hogy a radioaktivitás mértéke nem érte el az egészséget veszélyeztető szintet. Ezt megerősítette az ENSZ Egészségügyi Világszervezetének május 6-i koppenhágai ülésén kiadott do-

kumentum is. Már akkor valószínűtlennek tartották, hogy olyan új helyzet álljon elő, amikor különleges intézkedéseket kellene tenni a Szovjetunió baleset sújtotta területein kívül. A későbbi mérések egyértelműen alátámasztották ezt a véleményt.

Az üzemzavar által a közvetlen környezetben levő lakosságnak okozott sugárterhelést három kedvező körülmény csökkentette:

- az éjjel lezajlott kezdeti kibocsátás alatt az emberek a házak falain belül tartózkodtak (ez kb. 10-szeres csökkentő tényezőt jelentett);
- a nagy hőhatás kb. 1,5–2 km magasságba felvitte a kibocsátott radioaktív anyagokat, ahol aztán a szél jelentős távolságokra szállította;
- a kibocsátás alatt vagy azt követően nem volt eső, ami jelentős kimosást és helyi lecsapódást eredményezett volna.

Záró gondolatok

Az atomenergetika történetének eddigi legnagyobb méretű balesete közvetlen hatásként eddig 28 ember életét követelte, 135 ezer embert telepítettek ki hosszabb időszakra lakóhelyéről, a keletkezett anyagi kár igen nagy összeget tesz ki, jelentős területek szennyeződtek be különféle mértékben időlegesen a Szovjetunióban, s a közvetett hatások több más ország területére is kiterjedtek.

A tanulságok levonása még folyik, de már a szovjet hivatalos tájékoztatást tartalmazó anyagok is kitérnek számos, a jövőt érintő kérdésre, mint például:

- javaslatok az atomenergetika biztonságának növelésére, ezen belül műszaki-tudományos és szervezeti kérdések, valamint nemzetközi érvényű intézkedések;
- a szovjet atomenergetika további fejlődése.

A világ szakmai közvéleménye összességében elégedetten vette tudomásul a balesetről 1986. augusztus 25–29-én Bécsben adott szovjet tájékoztatást. A 70 oldalas jelentés 300 oldalra rugó mellékleteivel, — amely jelen cikkünk fő kiinduló alapját is képezte —, figyelembe véve az elkészítéshez rendelkezésre álló időt kellően mély és részletes képet adott a csernobili 4. blokkon történekről, és az események háttéréről.

Kedves Olvasóink!

Közljük, hogy régebbi Fizikai Szemle, számokat, melynek ára 15,- Ft/db, korlátozott mennyiségben igényelni lehet. Kérjük levélben jelezzék, hogy melyik számot, hány példányban kérik címükre eljuttatni.
Címünk: Eötvös Loránd Fizikai Társulat
1371 Budapest, Fő u. 68.