

TK 155.352

KFKI-1982-07

ZÁGONI M.

A VVER-440 TÍPUSÚ ATOMERŐMŰVI REAKTOROK
SZÁMÍTÁSÁRA KÉSZÜLT BIPR-5K PROGRAM
ISMERTETÉSE

Hungarian Academy of Sciences

CENTRAL
RESEARCH
INSTITUTE FOR
PHYSICS

BUDAPEST

2017

KFKI-1982-07

A VVER-440 TÍPUSÚ ATOMERŐMŰVI REAKTOROK
SZÁMÍTÁSÁRA KÉSZÜLT BIPR-5K PROGRAM ISMERTETÉSE

Zágoni Miklós

Központi Fizikai Kutató Intézet
1525 Budapest 114, Pf. 49

HU ISSN 0368 5330

KIVONAT

A VVER-440 típusu atomerőművi blokkok fizikai számítására készült szovjet BIPR-5 programnak egy jelentősen módosított változatát dolgozták ki a szófiai Atomenergetikai Kutató Intézet munkatársai, a BIPR-5K programot, melyet adaptáltunk a KFKI R-40 számítógépére. A Paksi Atomerőmű blokkjaival kapcsolatos számításokra való, várhatóan széles körű alkalmazása miatt - az eredeti bolgár reportok alapján - elkészítettük a BIPR-5K program jelen magyar nyelvű felhasználói utmutatását a leendő felhasználók munkájának elősegítésére.

АННОТАЦИЯ

Сотрудники Института ядерных исследований и ядерной энергетики (София) разработали программу БИПР-5К, являющуюся значительно модифицированным вариантом программы БИПР-5, предназначенной для проведения физических расчетов блоков АЭС типа ВВЭР-440. Программа БИПР-5К была адаптирована на ЭВМ типа Р-40 в Центральном институте физических исследований (Будапешт). В связи с тем, что программа будет широко использоваться при расчетах блоков АЭС (Пакш), с целью облегчения работы пользователей программы БИПР-5К нами было подготовлено это руководство, составленное на основе оригинальных болгарских отчетов.

ABSTRACT

The investigators of the Sofian Atomic Energy Research Institute have worked out a remarkably modified variant of the Soviet computer programme BIPR-5 made in order to perform physical calculations of the VVER-440 type power station blocks: the BIPR-5K programme, which has been adapted for the R-40 computer of KFKI, Budapest. Because of its probable wide use for the calculation of the Paks Atomic Power Plant Blocks, on the basis of the original Bulgarian reports we have prepared this users' guide in Hungarian to help the forthcoming users of the BIPR-5K programme.

BEVEZETÉS

Az atomerőművi reaktorok számítására való BIPR program első változata az 1963-1964-es évek során alakult ki a Szovjetunióban. Az ötödik, az eredetinek többször, lényegesen módosított és továbbfejlesztett változata 1975-ben készült el [1], [2], [3]. A program adaptálása a KFKI-ben működő R-40-es számítógépre 1978-ban megtörtént [4]. A program rendeltetésszerű használhatóságáról a KFKI és a PAV munkatársai közösen végzett munkában győződtek meg [5]. E munka során világossá vált, hogy a program adatkezelő rendszerében jelentős egyszerűsítés lehetséges. Ezt, valamint egy ennél lényegesen nagyobb méretű fejlesztést - az egyes urán és plutónium izotópok változásának nyomonkövetését - a KFKI munkatársai az 1979-es év során végrehajtották [6].

Időközben a Szovjetunióban is folyt a program fejlesztése. A néhány változtatást tartalmazó újabb variánst a Kurcsatov Intézet megküldte a Szófiában létesült programkönyvtárnak, ahonnan a KFKI is megkapta, s az R-40-es gépre adaptálta. A programnak az eredeti BIPR-5-höz viszonyított változtatásait az 1. fejezetben foglaljuk össze.

Ezalatt a szófiai Magenergetikai Kutatóintézet munkatársai elkészítették a BIPR-5 program lényegesen módosított változatát, a BIPR-5K programot [7]. Ezt a KFI szintén megkapta, adaptálása az R-40-es számítógépre 1981-ben megtörtént. Tekintettel arra, hogy ez a program több vonatkozásban eltér az eredeti változattól, célszerűnek látszik részletesebb áttekintést adni róla. Ez a 2. és 3. fejezetben található.

1. A BIPR-5 PROGRAM FŐBB SZOVJET MÓDOSÍTÁSAI

1.1 A KR program

A KR program a BIPR-5 programmal együtt volt használatos, elsősorban a reaktivitástényezők kiszámítására. A jelenlegi változatban ez a 26. számú szubrutinban a BIPR-5 program részévé vált. E szubrutint a program akkor hívja, ha a KR változó nem nulla: ha $KR=1$, minden állapot számítása után, ha $KR=2$, a kritikus állapot megtalálása után lép működésbe. A szubrutinban használatos változók az eredetihez képest nem módosultak, leírásuk megtalálható pl. [4]-ben.

1.2 KAMPÁNYHOSSZABBÍTÁS MEGADOTT NAPIG

RESULT/4/=3 megadása esetén a program DN időlépésekben TD effektív napig meghosszabbítja a kampányt, annak formális feltevésével, hogy $CB < 0$. DN és TD bemenő adatok.

1.3 A VALÓDI ÜZEMVITEL IMITÁLÁSA

A program módosításával lehetőség nyílt egy adott kampányon belül megváltoztatni az aktív zóna hőteljesítményét /TAN/, a szabályozórud-csoportok magasságát /TAST/ és a hőhordozó közeg átlaghőmérsékletét /TADT/. A kiégés számítása ekkor egy effektív napokban megadott TTK időpontig történik. A program által kiszámított kritikus borkoncentráció /CBKR, CBKRH, CBKRT/ ilyenkor nincs hatással a kampány végére.

CBKR - a kritikussági borkoncentráció az adott teljesítményen és szabályozócsoporthoz tartozó magasságnál

CBKRH - ugyanez, figyelembe véve a rudmagasságok megváltozását

CBKRT - ugyanez, figyelembe véve a hőhordozó átlaghőmérsékletének megváltozását.

A CBKRH és CBKRT mennyiségek az előző BIPR-5 verzióban nem szerepeltek.

$T = TTK$ - kor kazettaátrakás történik. TTK-nak nem kell az időlépés /DT/ egész számu többszörösének lennie. A hőteljesítmény /KBT/ változtatása a TAN/3,20/ tömb használatával lehetséges:

TAN/1,I/ = T_i /azok a napok, amikor a teljesítmény változik/

TAN/2,I/ = KBT_i /a teljesítményértékek/

TAN/3,I/ = 0 /szabad hely/

Adott szabályozócsoporthoz tartozó magasságának a változtatása a TAST/3,20/ tömbben történik:

TAST/1,I/ = T_i /a változások napjai/

TAST/2,I/ = HST_i /az új magasságok/

TAST/3,I/ = 0 /üres/

A hőhordozó átlaghőmérséklete a TADT tömbben változtatható:

TADT/1,I/ = T_i /a napok/

TADT/2,I/ = t_i /a hőmérsékletek/

A T_i értékeknek a DT egész számu többszörösöknek kell lenniük, de a három tömbben egymástól különbözők lehetnek. RESULT/3/ = 2 megadása esetén a kampányra kiégési számítás történik.

Ha a szabályozórudak magasságai a TAST tömbben a DH lépésköznél nem egész számu többszörösök, akkor a neutronfluxusban és az energiakiválásban lineáris interpoláció lehetséges RESULT/3/ = 3 megadásával.

2. A BIPR-5K PROGRAM. AZ ALGORITMUS LEIRÁSA

2.1 A fizikai-matematikai modell

A BIPR-5K program fizikai-matematikai modellje azonos a BIPR-5 programéval. Az alapegyenlet:

$$\Delta\phi(\underline{r}) + \kappa^2(\lambda, \underline{r})\phi(\underline{r}) = 0 \quad (1)$$

leírja az aktiv zóna fűtőanyaggal kitöltött V_F részének neutronfizikai tulajdonságait. Itt $\phi(\underline{r})$ a lassulási sűrűség a termikus csoportban. $\kappa^2(\lambda, \underline{r})$ az alábbi kifejezéssel állítódik elő:

$$\kappa^2(\lambda, \underline{r}) = \frac{\kappa_\phi(\underline{r})/\lambda - 1}{\bar{M}^2} \quad (2)$$

ahol \bar{M}^2 a gyorsneutronok átlagos migrációs területe és $\kappa_\phi(\underline{r})$ a végtelen rács sokszorozási együtthatójával (κ_∞) és a gyorsneutronok migrációs területével $M^2(\underline{r})$ állítható elő:

$$\kappa_\phi(\underline{r}) = 1 + \frac{(\kappa_\infty - 1)\bar{M}^2}{M^2(\underline{r})} \quad (3)$$

Az /1/ egyenlet csak azokra a V_F részterületekre használható, ahol $\kappa_\phi(\underline{r})$ a helykoordináták folytonos függvénye. A V_F terület azon belső határán, ahol a $\kappa_\phi(\underline{r})$ rohamosan csökken, folytonossági határfeltétel használatos ϕ -re és normális irányu deriváltjára. A V_F terület külső S_F határán logaritmikus határfeltétel van előírva:

$$\frac{1}{\phi(\underline{r})} \cdot \frac{\partial\phi(\underline{r})}{\partial\underline{n}} = - \frac{1}{d_{lg}(\underline{r})} \quad (4)$$

ahol az \underline{n} vektor merőleges irányu az S_F határfelületre az \underline{r} pontban, és $d_{lg}/r/$ az extrapolációs távolság. Az /1/ egyenlet a határfeltétellel peremértékfeladatot határoz meg. A program megkeresi az egyenlet legnagyobb sajátértékét, majd azonosítja az effektív sokszorozási tényezővel, K_{eff} -el, a neki megfelelő pozitív sajátfüggvényt pedig a $\phi(\underline{r})$ neutroneloszlással. A fajlagos energiakiválás, $\psi(\underline{r})$ az aktiv zóna térfogatában a

$$\psi(\underline{r}) = C_\psi \cdot \kappa_\phi(\underline{r}) \cdot \phi(\underline{r})/v(\underline{r}) \quad (5)$$

kifejezéssel áll elő, ahol $v(\underline{r})$ a hasadásonként keletkező neutronok átlagos száma. C_ψ arányossági tényező. A program ezután azonosítja a fajlagos teljesítményeloszlást a fajlagos hasadási sebességgel.

2.2 Geometria

A BIPR-5K program a VVER-440 reaktor aktív zónájának különböző hányadát számítja ki a MIS változó értékétől függően:

- MIS = 1 - a teljes aktív zóna számítása
- MIS = 2 - 180°-os szektor, tükörszimmetriával
- MIS = 3 - 120°-os szektor, forgási szimmetriával
- MIS = 6 - 60°-os szektor, forgási szimmetriával

Az egész aktív zóna geometriája a következő azonosítókkal van megadva:

NR - a horizontális sorok száma a kartogrammán; a sorok fentről lefelé számozódnak.

NK360 - a kazetták száma a teljes aktív zónában; a kazetták a teljes aktív zónában egymásután következő számokkal számozódnak balról jobbra minden sorban és felülről lefelé soronként.

NK - a kazetták száma a figyelembe vett szektorban. Ha a program az aktív zóna 120°-os vagy 60°-os szektorát számítja, akkor fel van téve, hogy az a teljes aktív zóna jobb alsó részébe lokalizálódik. A tekintetbe vett szektorban a kazetták szintén balról jobbra és felülről lefelé számozódnak.

A BIPR-5K-ban a kartogramma számozása ily módon a középső vízszintes sorra tükörszimmetrikusan történik ahhoz képest, ahogyan a BIPR-5-ben megy. A ki-nyomtatásban ezért lehetőség van arra, hogy a kazetták kartogrammájának számozása a BIPR-5 szerinti legyen /ekkor KARTOG=1 adandó/ vagy a BIPR-5K szerinti /KARTOG=0/.

A tekintetbe vett szektorban minden kazettahely függőlegesen NZ részre osztódik egyforma HZ magasságokkal. HZ az aktív zóna H magasságából és NZ-ből számítható ki. Az aktív zóna valamennyi kazettája ily módon van felosztva, függetlenül attól, hogy fűtő-kazettáról, abszorbens illetve szabályozókazettáról van-e szó. A számozás letről fölfelé, 1-től NZ-ig megy. Az aktív zónát így egy térháló fedi le, amely horizontálisan kazettánként egy pontot, vertikálisan pedig NZ pontot tartalmaz. A térháló pontjait egyértelműen azonosítja az /N,M/ indexpár, ahol N a kazetta sorszáma, M pedig a kazettán belüli függőleges osztáspont.

A szabályozóelemeket az /L,M/ páros írja le, hol L a tekintetbe vett szabályozókazetta sorszáma a reaktor tekintetbe vett szektorában, M szintén a függőleges pozíció. Látható, hogy az abszorbensrudak lehetséges magasságai a HST/L/, L=1, NST értékeket vehetik fel, ilyen NZ+1 van, az aktív zónák aljától a tetejéig: 0, HZ, 2xHZ, ..., NZxHZ. A figyelembe vett kazetták eloszlása az adott szektorban meghatározza az NKST/L/, L=1, NST tömböt amely összefüggést állít fel az abszorbenskazetták L száma és e kazetták NKST/L/ elhelyezkedési pozíciói között.

Az abszorbenskezelték a figyelembe vett szektorban különböző csoportokba foglalhatók össze: az egyes kazetta lehet

- egyik csoporthoz sem tartozó
- egy csoportba tartozó
- több csoportba tartozó.

Az abszorbensrudak csoportjait az NRST/J,K/, J=1, 7; K=1, 10 tömb írja le, ez a szám a K-adik csoport J-edik rudját adja meg. Ha ilyen nincs, NRST/J,K/=0. Az abszorbensrud-csoportok magasságait a HDST/K/, K=1, 10 írja le.

Ha a számolás nem a teljes aktív zónára történik, akkor vannak olyan kazetták, amelyek nem teljes térfogatukban tartoznak az adott zóna-szektorhoz. Ezért lett bevezetve a CVOL/N/, N=1, NK tömb, amely megmondja, hogy az N-ik kazetta hányadrészben tartozik a figyelembe vett szektorba.

A BIPR-5K-ban néhány további tömb tartozik még a geometria leírásához:

NOK/J,N/, J=1, 6; N=1, NK 360 - az N-ik kazetta körüli kazettahelyek sorszámainak adja meg

KON/N360/, N360=1, NK360 - összehasonlítja a teljes aktív zóna kazettahelyeinek számát a reaktor tekintetbe vett szektorában levő helyek számával

KON360/N/, N=1, NK - az előző fordítottja, a tekintetbe vett szektor kazettahelyeinek sorszámainak egyeztetési a teljes aktív zóna kazettahelyeinek sorszámaival.

Ha az N-ik kazettát körülvevő helyek közül a J-ik a radiális reflektorhoz tartozik, akkor NOK/J,N/=-IS, ahol IS azon kazettahelyek száma, amelyek a radiális reflektorban körülveszik az N-ik kazettát.

2.3 Az aktív zóna előtörténete

Az aktív zóna előtörténete az adott időpontig magában foglalja az üzemelési viszonyokat, az első töltéstől kezdve az átrakásokon keresztül egészen a legutolsó átrakásig és kiegészi viszonyokig. Ez határozza meg, hogy a kezdetben meghatározott, diszkrét izotópösszetételű, különböző típusú /densitás/ fűtőkazetták lokális neutronfizikai tulajdonságai miképpen változnak a különböző független állapotjelzők /kiegész, hőhordozóközeg hőmérséklete, stb./ függvényében. Sem a BIPR-5-ben, sem a BIPR-5K-ban nem lehet figyelembe venni a fűtőkazettákban a fűtőanyag magasság szerinti profilizálódását, minden fűtőkazettához egyetlen szám tartozik, a teljes aktív zónát az

NC360/N360/, N360=1, NK360

tömb írja le. Ebből a tömbből a program előállítja az

NCOPT/N/, N=1, NK

tömböt a fentivel analóg módon, de csak a tekintetbe vett szektorra vonatkozóan.

A fűtőanyag izotópösszetételének változását a kiégés menete szerint három tömb követi:

SH/N,M/, SM/N,M/, PM/N,M/, N=1, NK; M=1, NZ
a salak /kg/T_U/, szamárium /10¹⁷/cm³/ és promécium /10¹⁷/cm³/ eloszlástereket a kazetták térfogatelemeiben a figyelembe vett szektorban.

A fűtőkazetta típusa csak a friss zónára van megadva, a rákövetkező számításokhoz a kazetták minősége a könyvtárak segítségével számítható ki.

Az abszorbenskazetták is lehetnek különböző minőségűek, ezek eloszlását az

ISHIFR/L/, L=1, NST

tömb írja le.

2.4 Termohidraulika

A BIPR-5K-ban lehetőség van a hűtőviz aktiv zónabeli átlaghőmérsékletének változtatására. A hűtőviz hőmérsékleteloszlását a következő mennyiségek írják le:

POWER - az egész aktiv zóna hőteltjesítménye

PSI/N,M/, N=1,NK;M=1,NZ a teljesítménykiválás eloszlása

TBX - a hűtőviz hőmérséklete az aktiv zónába való belépéskor

G - a teljes hőhordozó hozam a reaktorban

AAA/3/ - hűtővizátfolyási együttható

GN/N/, N=1, NK - a hőhordozó-hozam eloszlása kazettánként a tekintetbe vett szektorban

GAMMA, Q1, Q2 - együtthatók a hőhordozó sűrűségének a hőmérséklettől való függésének leírására.

Ezt a függést a következő alakban közelítjük:

$$\text{FUNGAM}/\text{TEM}/ = \text{GAMMA} \times /1 + \text{Q1} \times / \text{TEM} - \text{TCPCT} / + \text{Q2} \times / \text{TEM} - \text{TCPCT} / \times \times 2 /$$

Itt TCPCT a hűtőviz átlaghőmérséklete az aktiv zónában. A hűtőviz fajhőjének a hőmérsékletfüggését a

CP, DCPDT1, DCPDT2 együtthatók adják meg a következő alakban:

$$\text{FUNCP}/\text{TEM}/ = \text{CP} + \text{DCPDT1} \times / \text{TEM} - \text{TCPCT} / + \text{DCPDT2} \times / \text{TEM} - \text{TCPCT} / \times \times 2$$

A POWER hőteltjesítmény megadható vagy kW egységekben, vagy a nominális teljesítmény /POWERN/ százalékában. A második esetben a POWER változó negatív előjellel adandó meg.

A hűtővi-hozam is kétféleképpen adható meg: ha előjele pozitív, térfogati hozamként /m³/óra/ van értelmezve az aktiv zónába való belépési hőmérsékleten. A hűtőviz tömege a reaktorban

$$\text{GMASSR} = \text{FUNGAM}/\text{TBX} \times \text{G}$$

alapján van kiszámítva. A második esetben a hőhordozó hozamának tömegét kell megadni 10^3 kg/óra egységekben, akkor a G mennyiséget kell negatív előjellel venni. Ekkor:

$$GMASSR = 1000 \times /-G/.$$

A kazettánkénti hőhordozó-hozam:

$$GMASS = /1-AAA/3// \times GMASSR$$

A hőhordozó hőmérsékleteloszlásának leírására tekintünk az N-ik kazetta M-edik térfogatelemét. Legyen ismert a hőhordozó belépési hőmérséklete /TNMI/ az /N,M/-edik térfogatelemben. Az ezen térfogatelemből való kilépésekor a hőhordozó hőmérséklete:

$$TNMO = TNMI + \frac{860 \times POWER \times PSI / N, M /}{FUNCP / TNMI / \times GMASS \times GN / N / \times NZ}$$

A legalsó térfogatelemre $TNMI = TBX$, a legalsó térfogatelem $TNMO$ -ja egyenlő a következő térfogatelem $TNMI$ -jével, s i. t. Az /N,M/-edik térfogatelem a TNM hőmérséklettel jellemezhető, amely az AAA/6/ bemenő segédparaméter segítségével áll elő:

$$TNM = AAA/6/ \times TNMI + /1-AAA/6// \times TNMO$$

Az AAA/6/-nak adhatjuk a 0.5 értéket, de ha az /5/ szerinti teljesítménykiadás nulla, akkor ez is nulla.

A programban a hőhordozó-hozamok két tömbben vannak: a

GN/NT/, N=1, NK-ban az adott szektorra, a

GN360/N360/, N360=1, NK360-ban az egész aktív zónára.

A GN360 tömb megőrződik standard változatban /BLOCK DATA szubrutin/, amíg a zóna hűl, vagy pedig kiszámítható a könyvtárból. Ha a GN tömb számára nincsenek bemenő adatok, akkor a GN360-ból számítható ki, és viszont. Az eloszlásokat a program normálja.

2.5 Könyvtárak

Az aktív zóna előtörténetének megőrzése érdekében könyvtár file-ok használatosak, amelyek a következő eloszlásokat tartalmazzák:

NC360/J/, J=1,349	- a kazetták minőség szerinti eloszlása
GN360/J/, J=1,349	- a hőhordozó-hozam kazettánkénti eloszlása
F/N,M/, N=1, NK; M=1, NZ	- a fluxuseloszlás
SH/N,M/, N=1, NK; M=1, NZ	- a salakeloszlás
SM/N,M/, PM/N,M/, N=1, NK; M=1, NZ	- a szamárium és a promécium eloszlása időpillanatonként

Az LMLIN változó azonosítja a bemenő adatokhoz a perifériát, az LMLOUT a kimenő adatokhoz. Az NMLIN annak a file-nak a sorszáma, amelyen az adott számításához szükséges adatok vannak, az NMLOUT az első üres file sorszáma,

ahová a számítási adatok a további számításokhoz kimenthetők. Ha friss aktiv zónával kezdődik a számítás, MNLIN=0. Uj variáns számításánál az adatok vehetők közvetlenül a megelőző számításból, ekkor NMLIN=-2, illetve a kimenő adatokat tartalmazó /LMLOUT/ könyvtárból, ekkor NMLIN=-1.

2.6 Átrakás

Az átrakások során egyes kazetták kikerülnek az aktiv zónából, frissek kerülnek be és egyes kazetták, megváltoztatva zónabeli helyzetüket, továbbra is a zónába maradnak. Kétféle átrakási sor lehetséges:

- egy E dusitásu kazetta kerül az N1 számu helyre, az ottlévő az N2-be, az utolsó az NL sorszámú helyről kikerül a zónából;
- be- és kikerülő kazetta nincs, csak a zónabeliek cserélnek helyet.

Példák az első típusu átrakásra:

- friss, 3.6 %-os dusitásu kazetta kerül az 55. pozícióba, az eddig ott lévő a 44.-be, ..., az 5. pozícióban lévő pedig kikerül a zónából:

- `&A MOVES=1001,55,44,28,5 &END` itt a 1000 jelenti, hogy a fűtőelem friss, a +1 pedig, hogy a dusitása 3.6 %. Ha nem friss kazetta kerül be, 2000-rel kell kezdeni:

- `&A MOVES=2003,5,3 &END`

a+3 jelenti, hogy a bekerült, már dolgoztatott kazetta 1.6 % dusitásu volt, ez az 5. pozícióba kerül, az ott levő a 3-ba, a 3-ban eddig levőt pedig kirakják.

A berakott kazetta eloszlásait az ezután következő lyukkártyákon kell megadni:

`& SHSM SHOLD=`

`SMOLD=`

`PMOLD=`

`& END`

A második típusu átrakási sorok hasonlóképpen adandók meg:

`&A MOVES=36,26,13,36 &END`

a megfelelő kazettahelyekről való lépkedést jelenti. Az átrakásra vonatkozó adatok végét az `&A MOVES=0 &END` kártya adja meg.

Átrakást csak egy adott számítás elején lehet csinálni, ilyenkor IPRINT/9/=1 irandó. Az átrakó szubrutin a PEREGR.

A berakás kezdeti sémájával induló első variáns számításakor, amikor valamennyi kazetta be- vagy átrakásra kerül, használjuk az NMLIN=-1-et. Ha csak néhány kazetta átrakásáról van szó, használjuk az NMLIN=-2 adatot /ld. 2.5/, ezzel gépidőt takaríthatunk meg.

A MOVES= után nem állhat 11-nél több szám.

2.7 Határfeltételek

A programban hat különböző típusu reflektor különböztethető meg.

Az ezeknek megfelelő extrapolációs távolságok:

- RD - a radiális reflektor határára
- ZB - az alsó reflektor határára
- ZT - a felső reflektor határára, kivéve a szabályozó- és munkaelemeket
- ST - a munkaelemek fűtőanyag-részének felső végére, ha azok a felső szélső helyzetben vannak
- SZ - a munkaelemek fűtőanyag-részének felső végére, ha azok közbenső helyzetben vannak
- SR - az abszorbensek oldalsó felületére

Ezek mindegyikéhez esetek tartoznak. A radiális reflektor esetében négy eset lehetséges, amelyeket azoknak a kazettáknak a száma határoz meg, amelyek a reflektor jelenléte miatt hiányzó kazettahelyekkel érintkeznek. Ha ez a szám IS, akkor az IS-edik esethez megfelelő extrapolációs távolság veendő a reflektorban. Gyakorlatilag három ilyen létezik, de a programban lehetséges egy negyedik típus is, amelyben speciális kazettahelyek választhatók ki a reflektorban.

Az abszorbensek oldalsó felületére vonatkozó extrapolációs távolságok is többfélék lehetnek. Az elsőben a különböző típusu abszorbensekhez különböző extrapolációs távolságok tartoznak, a másodikban pedig az adott típusu abszorbens minden térfogateleméhez különbözők.

Az extrapolációs távolságot előállító formula:

$$DLG = DLG\phi/I/ + ADLG/I/*CBX + BDLG/I/*CBX^2 + CDLG/I/*CBX^3 + DLG/I/*DELTX$$

Az I indexet a típus és az altípus határozza meg:

- 1 - radiális, domboru határ
- 2 - radiális, sík határ
- 3 - radiális, homoru határ
- 4 - radiális, szabad választásu
- 5 - az alsó reflektorhatárhoz
- 6 - a felső reflektorhatárhoz, kivéve a szabályozóelemeket
- 7 - a felső reflektorhatárhoz szabályozóelemeknél
- 8 - a fűtőanyag és az abszorbens határán a szabályozóelemekben, amikor azok a szélső helyzetben vannak, és /ISHIFR/L/-1/*25+M az L-edik abszorbens M-edik térfogatelemének oldalsó felületére.

A CBX és DELTX mennyiségek különbözőképpen számítódnak ki az IPRINT/11/ értéktől függően:

1. IPRINT/11/ = 0.

Ekkor $CBX = CB$, ahol CB a bór súlykoncentrációja a hőhordozó közegben /g/kg/ és $DELTX = TCPAZ - TCPCT$ ahol TCPAZ a hőhordozó közeg átlaghőmérséklete a kazettában /C°/.

2. IPRINT/11/ = 1.

CBX és DELTX különböző értékeket kap a különböző extrapolációs távolságtípusok szerint:

- radiális és alsó reflektorhatárookra DELTX = TBX - TCPCT
- a többi extrapolációs távolság-típushoz DELTX = TBDKAS - TCPCT ahol TBDKAS a kazettából kilépő hőhordozó hőmérséklete.

Mindkét esetben

$$CBX = CB * /1 + Q1*DELTX + Q2*DELTX^2/$$

3. IPRINT/11/ = 2.

Ebben az esetben:

- radiális és alsó reflektorhatárookra DELTX = TBX - TCPCT
- a további esetekben DELTX = TBDN/N/ - TCPCT, ahol TBDN/N/ a hőhordozó hőmérséklete az N-ik kazettából való kilépéskor, azaz az extrapolációs távolság minden kazettára külön számítódik ki.

2.8 Iterációk

A BIPR-5 modellben háromfajta iteráció van:

- belső iteráció / ϕ iteráció/ az F/N,M/ fluxuselozslás meghatározására adott hasadási forrás esetén
- "fordított" iteráció / ψ iteráció/ a K8/N,M/ és a PSI/N,M/ terek egyidejű meghatározására /ezek a

$$\kappa_{\phi}(\underline{r}) = 1 + (\kappa_{\infty} - 1) (\bar{M}^2/M^2(\underline{r}))$$

$$\psi(\underline{r}) = C_{\psi} \kappa_{\phi}(\underline{r}) \phi(\underline{r}) / v(\underline{r})$$

terek programbeli megfelelői/

- külső iteráció a CAFF effektív sokszorozási tényező / k_{eff} / és az S/N,M/ hasadási tér kiszámítására. Minden ilyen magában foglal egy-egy ϕ és ψ iteráció-ciklust.

A K8/N,M/ tér a következő formulából számítódik ki:

$$K8/N,M/ = /K8\phi/N,M/ + APSINM/*PBNM*PTNM*PXENM$$

ahol $K8\phi/N,M/ = /1 + B\phi/E/ + AI/I,E/*SH/N,M/*I + EL2/E/*SM/N,M/*T$

itt

$$APSINM = BI/1,E/*WNM + BI/2,E/*WNM^2$$

$$PBNM = 1 + C1/E/*CBNM + C2/E/*CBNM^2$$

$$PTNM = 1 + D1/E/*DTNM + D2/E/*DTNM^2$$

$$PXENM = 1 + E21/E/*XE/N,M/$$

$$T = 1 + \frac{C1/E/\kappa CB \kappa C3/E/\kappa SH/N,M/^{1/2}}{1+C1/E/\kappa CB}$$

és E az N-ik kazetta dusitása, WNM az /N,M/ térfogatelembeli fajlagos energia-kiválás, DTNM = TNM - TCPCT, itt TNM a hőhordozóközeg hőmérséklete az /N,M/ térfogatelemben.

A BIPR-5-ben a ψ iteráció szervezése olyan, hogy minden ciklushoz a K8/N,M/ kezdő közelítéseként K8 ϕ /N,M/ vevődik. A BIPR-5K-ban az első külső iteráció után lehetőség van arra, hogy a K8/N,M/ kezdő közelítéseként az előző külső iteráció által adott K8/N,M/ legyen figyelembe véve, ehhez IPRINT/16/=1-et kell megadni. Így ugyanannyi gépidő alatt növekszik a K8/N,M/ meghatározásának pontossága. Az IPRINT/15/ változóval a ϕ iterációk száma adható meg.

Divergencia vagy nagyon lassu konvergencia esetén a program leállítható az IPRINT/14/-edik külső iteráció után.

A BIPR-5K az aktiv zóna előtörténetére vonatkozó adatok között a fluxusteret is kiírja a könyvtárfile-ba. A számítás folytatásakor ez a tér lesz a kezdeti eloszlás. Ez az eljárás jelentősen lerövidíti a külső iterációk első ciklusának futásidejét, de csak akkor, ha a beolvasott és az új, kiszámítandó fluxus nem tér el lényegesen. Ha igen, mint pl. átrakás után, akkor IPRINT/8/=1 megadásával a program egy kezdeti, standard eloszlással közelíti a fluxusteret.

3. A BIPR-5K PROGRAM /FOLYTATÁS/. PROGRAMSZERVEZÉS ÉS SZUBRUTINOK

3.1 A lehetséges számítási típusok

- 1 - az aktiv zóna adott állapotának számítása
- 2 - kritikus állapot keresése bóros /IUPR=1/ és szabályozórudas /IUPR=2/ szabályozással
- 3 - kampányszámítás
- 4 - xenon átmeneti folyamatok számítása
- 5 - szabályozóelemek értékességének számítása

3.2 Munka-szubrutinok

BLOCK DATA

Standard kezdőértéket ad valamennyi változónak és tömbelemnek, amelyekhez van bemenő adat. A VVER-440 munkaállapotaihoz tartozó approximációs együtthatók [8]-ban találhatóak. A kazetták kezdeti dusitáseeloszlása azonos a Kozloduj-i standard kezdeti berakással.

DISK

Adatátvitelt végez a belső memória és a közvetlen hozzáférésű diszk munkafájel-ök között. Az ENTRY WRITES/JJ/ a BIGG általános tömbből írja ki a JJ-edik tömböt az FT12FOOL munkafájel meghatározott helyére. Ellenkező irányu adatátvitel az ENTRY READS/JJ/-vel történik.

TAPE

Adatátvitelt végez a belső memória és a könyvtárak között. Az ENTRY WRITEC írja a fűtőanyageloszlásokat és a megfelelő hőhordozóeloszlási tömböket a kimenő könyvtárba. ENTRY WRITEL/JJ/ írja a BIGG-ből a megfelelő JJ-edik tömböt a könyvtárba. Az ellenkező irányu adatátvitel az ENTRY READC-vel és az ENTRY READL/JJ/-vel történik.

INPREP

Beolvassa és kinyomtatja az adott variánshoz tartozó bemenő adatokat, a zóna előtörténetére vonatkozó adatokat, és elvégzi a számításokhoz szükséges adat-csoportosításokat és preparálásokat.

GEOMET

Leírása a 2.2-ben.

PEREGR

Leírása a 2.6-ban.

PSIIT

Minden iterációt ez a szubrutin szervez és hajt végre, kivéve a belsőt.

FITER

A belső iterációt hajtja végre

ENDOIT

Minden külső iterációs ciklus után hívódik. Az adott állapot integrális karakterisztikáit számítja és nyomtatja ki, és normálja az energiakiválási teret.

BOUNDC

Az extrapolációs távolságokat számolja ki a 2.7-beli képletekből.

PRINT1, PRINT2, PRINT3, PRINT4

Az energiakiválási, salak, hőhordozó-melegedési, kiegészi és egyéb tereket nyomtatják ki külön-külön vagy kartogrammákba szervezve.

PUNCHY

Az aktiv zóna adatait a kampány megadott időpontjaiban kiírja könyvtárba.

PSNSM

A nemegyensúlyi promécium- és szamáriumkoncentrációk megváltozásait számítja ki időlépésenként.

MOVECR

A szabályozórudak mozgásait imitálja, amely a salak, szamárium, promécium, fluxus-tömbök megfelelő megváltoztatásait jelenti, valamint - a xenonos folyamatokban - a jódét és a xenonét.

XENON

Az egyensúlyi és nemegyensúlyi jód- és xenonkoncentrációkat számítja.

REAKT

Ebben a szubrutinban történik a reaktivitásegységütthetők, valamint a prompt- és későneutronok jellemzőinek számítása.

3.3 Az aktiv zóna adott állapotának számítása

/SINGLE szubrutin/

Az effektív sokszorozási tényezőt /CAFF/, a fluxusteret /F/N,M// és a relatív energiakiválást /PSI/N,M// számítja ki a következő adatokból:

- az aktiv zóna előtörténete az adott pillanatig
- a reaktor hőteltjesítménye, a hőhordozó közeg hőmérséklete az aktiv zónába való belépéskor, a hőhordozóhozam a reaktor egészében és kazettánként
- bórkoncentráció a hőhordozóban és szabályozóelem-magasságok
- standard középhőmérséklet és a hozzá tartozó approximációs együtthetők.

Egy állapot számítása egy külső iterációs ciklus után véget ér. Ha LPCH nagyobb, mint nulla, az eredmények kinyomtatódnak kartogrammában és mezőként. Ha KR nagyobb, mint nulla, hívódik a REAKT szubrutin.

3.4 Kritikus állapot keresése bóros szabályozással

/KRBOR szubrutin/

Ez a feladat egy adott állapot számításától abban különbözik, hogy a bórkoncentráció indulóértékként van figyelembe véve, és csökken, hogy CAFF közeledjen 1-hez. A kritikusság keresése a CDBKF segítségével történik, melynek kezdőértékét AAA/1/ adja meg.

Az első állapot a Cb1 kezdeti bórkoncentrációval számítódik ki, majd megvizsgálódik a kritikussági feltétel:

$$|CAFF - 1| \leq EPS/6/$$

Ha ez teljesül, az állapot kritikusságnak minősül, a keresésnek vége.

Ha nem, az új bórkoncentráció-érték:

$$CB2 = CB1 + DCBDF*/1 - CAFF1/$$

ezzel ismét állapotszámítás történik. A második állapotszámítás után

$$DCBDF = \frac{CB2 - CB1}{CAFF2 - CAFF1}$$

lesz az új szorzó.

Általában két /igen ritkán három/ állapotszámítás megtalálja a kritikusságot. Ha a kritikussághoz a bórkoncentrációt az AAA/7/ minimális érték alá kellene csökkenteni, a számítás az AAA/7/-tel megy végbe, majd a keresés leáll. Kritikusság számítása után reaktivitás-számolás is történik, ha KR > 1.

3.5 Kritikusság keresése a szabályozókazetták mozgatásával

/KRST szubrutin/

A kritikusság keresésében résztvevő valamennyi kazettának az első NRG csoporthoz kell tartoznia, ezen belül NNRG azonosítja a munkaelemek csoportjának a számát. Szükséges, hogy az NNRG-nél kisebb sorszámú csoportok a legfelső helyzetben legyenek, az NNRG-nél nagyobb sorszámú csoportok pedig az alsó szélső helyzetben. A szabályozóelemek "egyszerű" illetve "bonyolult" mozgatásának a módja a BIPR-hez képest nem változott, részletes leírás [4]-ben található.

3.6 Kampányszámítás

/XBURN szubrutin/

A kampányszámítás kiégés- és állapotszámítást jelent adott időlépésenként, ahol az állapot lehet adott /ekkor a SINGLE szubrutin hívódik/ vagy pedig a program keresi meg bóros szabályozással /ekkor a KRBOR szubrutin dolgozik/. Az I-ik állapotot a következő mennyiségek jellemzik:

XTPMSM/I/ - az az időtartam, ameddig a reaktor állt az I-edik állapotig
XPOVER/I/ - a reaktor hőteljesítménye
XHRG/I/ - a szabályozókazetták közül a munkacsoport magassága
XTBX/I/ - a belépési vízhőmérséklet
XG/I/ - a vízhozam
XCB/I/ - ha < 0 bóros szabályozással kritikus állapot keresése
 ha > 0 CB=XCB/I/ bórkoncentrációval állapotszámítás
XDT/I/ - az I-edik kiégési időlépés hossza
T - a reaktor teljesítményen való működésének valódi időtartama
TEFF - a reaktorműködés effektív időtartama

Minden számítás elején $T=0$, és az I-edik időlépésben $T=T+XDT/I/$.

TEFF értéke pedig így alakul:

$$TEFF = TEFF + /POWER/POWERN/*XDT/I/,$$

ahol POWERN a reaktor névleges teljesítménye.

A BIPR-5K-ban lehetséges valamennyi alapvető aktivzóna-paraméter változtatása a kampányszámítás alatt. Az XHRG tömb segítségével lehetséges a szabályozókazetták közül a munkacsoport magasságának változtatása, csak a munkacsoportok számát nem lehet csökkenteni. Valamely szabályozórúd beesése vagy beakadása is imitálható, ekkor un. SPUSK kampányt kell folytatni, amelyet a következő azonosítók irnak le:

NSPG - az átrakandók teljes száma

NGSP/I/, I=1, NSPG - a szabályozókazetták azon csoportjának a sorszáma, amelyek az elkövetkező áthelyezésekkor mozogni fognak. A SPUSK kampányban szabályozókazetta-csoport mozoghat, ezeket az NRST és HDST tömbök írják le.

SPUSK/1, I/, I=1, NSPG - az átrakás valódi időpontja, meg kell egyeznie az állapotszámításnál használt T idővel.

SPUSK/2, I/, I=1, NSPG - azok a magasságok, amelyekre az áthelyezés után a csoportok kerülnek.

Az I-edik mozgás az I-edik állapot számítása előtt megy végbe /a T időpontban/, az előző kiégési lépés számítása után. Ekkor az NGSP/I/-edik csoport a SPUSK/2, I/ magasságon van függetlenül az eddig elfoglalt helyzetétől. Ha az áthelyezésig a csoport magassága HDST/NGSP/I// volt, ezen csoport minden kazettája SPUSK/2, I/-HDST/NGSP/I// lépéssel változtatja helyzetét. Ezután a HDST/NGSP/I// felveszi SPUSK/2, I/ értékét.

Ha a kiégési lépés után kritikussági számítás történik bóros szabályozással, a kezdeti bórkoncentráció a programban

$$CB = CBKRS + AAA/2/\ast HRO$$

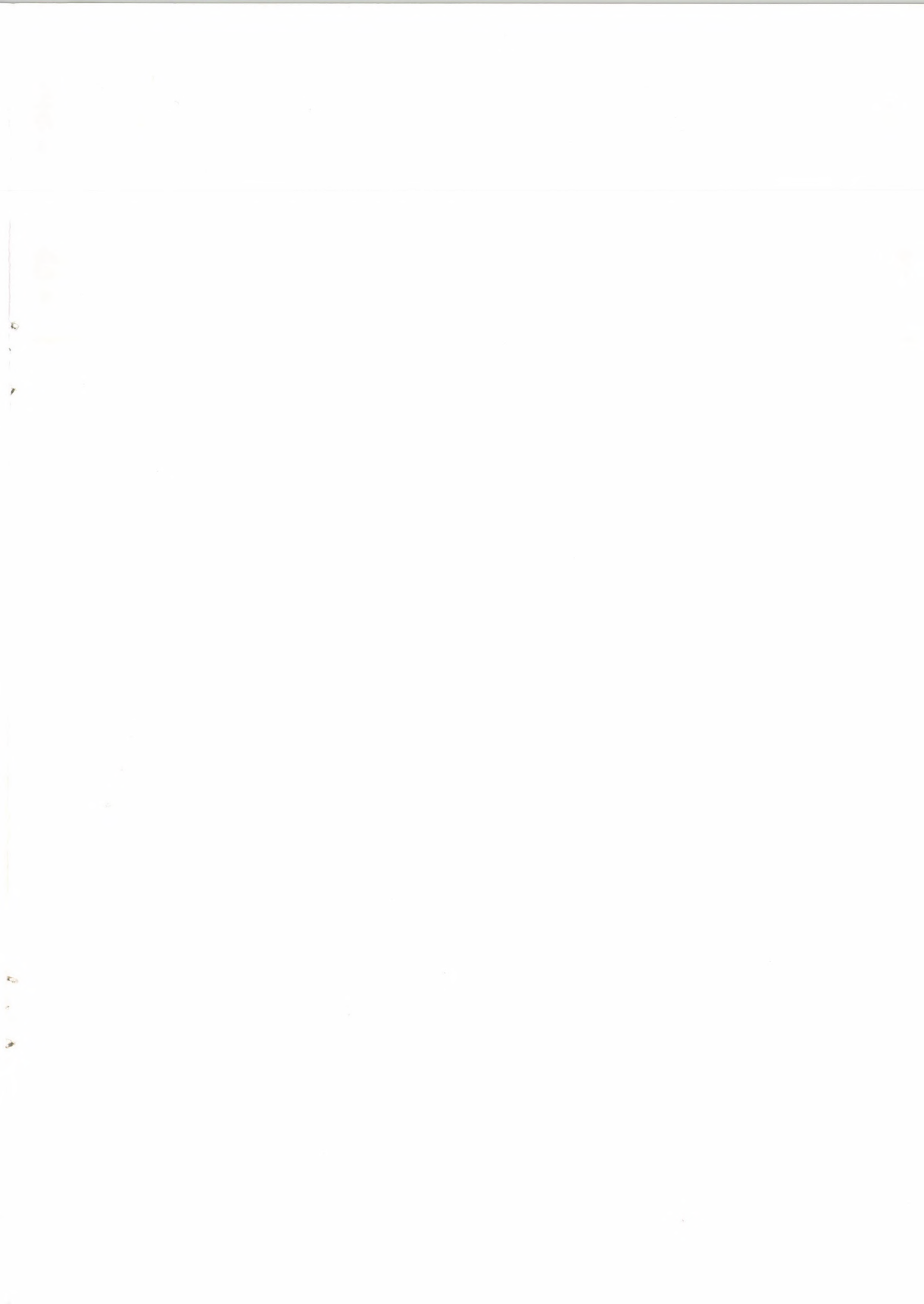
lesz, ahol CBKRS az előző állapot kritikus bórkoncentrációja, AAA/2/ a $\partial C_B / \partial \rho$ közelítő értéke, HRO pedig a salaknövekedés átlagos értéke a kiégési lépésben. AAA/2/ értéke bemenő adat, de a számolás alatt folyamatosan módosul, pontosítódik. A kezdeti bórkoncentráció kiszámítása csak akkor marad el, ha a kiégési lépés számítása után, ill. az állapotszámítás előtt szabályozókazetta-mozgatás történik az XHRG tömbbel vagy SPUSK kampánnyal.

3.7 A PSNXE és a DEFARK szubrutinok

A xenonos átmeneti folyamatokat a PSNXE szubrutin, a szabályozókazetta-csoportok effektivitását a DEFARK szubrutin számítja; a számítások módja lényegében azonos a BIPR-5-belivel.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Д.М. Петрунин, Е.Д. Беляева, И.Л. Киреева: БИПР-5 программа для расчета трехмерных полей энерговыделения и выгорания топлива в одноклассовом приближении для реакторов типа ВВЭР. Отчет-2518, 1975.
- [2] Д.М. Петрунин, Е.Д. Беляева, И.Л. Киреева: Программа БИПР-5. Описание структуры и входных данных. Отчет ИАЭ-2519, 1975.
- [3] Ю.И. Савчук: Одноклассовый расчет коэффициентов реактивности реактора, времени жизни мгновенных нейтронов и эффективной доли запаздывающих нейтронов - программа КР. Отчет ИАЭ-2158, 1971.
- [4] Gadó J.: A VVER-440 típusu atomerőművi reaktorok számítására készült BIPR program ismertetése, KFKI-1978-72 report, 1978.
- [5] Jelentés a BIPR-5 program ellenőrző számításairól, KFKI, 1979.
- [6] Fejlesztések a BIPR-5 programban, KFKI-1980-77 report, 1980.
- [7] П.Т. Петков, Т.Г. Апостолов: Программа БИПР-5К, руководство для пользования. KFKI-ZR-6/605, 1981.
- [8] В.В. Сапрыкин, Е.А. Жолкевич: "Константы для проведения нейтронно-физических расчетов активной зоны реактора ВВЭР-440 по программам БИПР-5 и КР. Материал IV-ого совещания специалистов ВМК, г. Фрунзе, СССР, 1975.





Kiadja a Központi Fizikai Kutató Intézet
Felelős kiadó: Gyimesi Zoltán
Szakmai lektor: Gadó János
Gépelte: Balczer Györgyné
Példányszám: 65 Törzsszám: 82-49
Készült a KFKI sokszorosító üzemében
Felelős vezető: Nagy Károly
Budapest, 1982. január hó