

CNEN-DR-NT--001/85.



COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR

DEPARTAMENTO DE REATORES

MANUAL DE UTILIZAÇÃO

DO

CÓDIGO FRAPCON - I

GRUPO DE ANÁLISE DO NÚCLEO

CHAO TSU CHIA

NOTA TÉCNICA GAN - Nº 01/85

NOVEMBRO/85

MANUAL DE UTILIZAÇÃO

DO

CÓDIGO FRAPCON-I

GRUPO DE ANÁLISE DO NÚCLEO

Chao Tsu Chia

NOTA TÉCNICA GAN Nº 01/85

INDICE

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. IMPLANTAÇÃO.....	3
3. MANUAL DE UTILIZAÇÃO.....	4
3.1 Instruções sobre o formato livre (NAMELIST).....	4
3.2 Dados de entrada.....	5
3.2.1 Cartão Título.....	5
3.2.2 NAMELIST FRPCN.....	5
3.2.3 NAMELIST FRPCON.....	5
3.2.4 NAMELIST EMFPCN.....	17
4. CONCLUSÕES.....	18
BIBLIOGRAFIA.....	19

1. Introdução

FRAPCON-1¹ é o primeiro de uma série de códigos desenvolvidos pela NRC para descrever o comportamento, em estado estacionário, das varetas de reatores a água leve para longos períodos de queima. O código foi projetado, também, para fornecer as condições iniciais de transientes para análise de acidentes da vareta de combustível usando as versões do código FRAP-T de análise de transientes.

O código calcula as temperaturas, a pressão interna do gás e as deformações da pastilha e revestimento para cada nó axial. O usuário fornece as informações de fabricação da vareta, o histórico e o perfil de potência e as condições do refrigerante. Os cálculos podem ser feitos para varetas submetidas a históricos de potência variável. O código também fornece a probabilidade de falha.

O maior subcódigo do FRAPCON é o MATPRO. Este subcódigo consiste de funções subprograma e subrotinas que definem as propriedades dos materiais necessárias aos outros subcódigos do FRAPCON. Cada função subprograma ou subrotina define uma única propriedade.

O código FRAPCON calcula iterativamente os seguintes fenômenos interrelacionados: temperatura da pastilha e do revestimento, pressão interna, deformação da pastilha e revestimento, liberação de produtos de fissão gasosos, inchamento e densificação do combustível, expansão térmica e crescimento induzido pela irradiação do revestimento, corrosão do revestimento, e deposição de crosta como funções do tempo de irradiação e da potência.

O histórico de potência é aproximado por meio de um conjunto de níveis de potência estacionários com saltos instantâneos de um nível de potência a outro. O comprimento da vareta é dividido pelo usuário em segmentos axiais chamados nós, sendo que é assumido que cada nó está submetido ao mesmo conjunto de condições em todo o seu comprimento. O perfil da potência axial é um dado de entrada, podendo variar com a queima. As temperaturas do combustível e do revestimento, o inchamento, a densificação, as expansões térmicas, o crescimento térmico e induzido pela irradiação do revestimento, as tensões e deformações do revestimento, e a liberação dos gases de fissão são calculados separadamente para cada nó axial. A liberação dos gases de fissão e as deformações da pastilha e do combustível são então integrados no comprimento total da vareta e adicionados aos valores obtidos nos níveis de potência anteriores para obter a pressão interna. Esta pressão realimenta o cálculo da deformação elástica e plástica do revestimento e do combustível nas iterações subsequentes com o propósito de avaliar a expansão térmica, inchamento, densificação, e liberação de gases em cada nó axial.

O código calcula inicialmente a temperatura do refrigerante. Em seguida calcula-se, para cada nó axial, a temperatura externa do revestimento usando a fórmula de Dittus-Boelter para transferência de calor em líquido subresfriado ou a correlação de Jens-Lottes no caso de existir ebulição nucleada. A elevação da temperatura no revestimento devido à presença da crosta e à camada de óxido são também considerados. O cálculo da taxa de corrosão do revestimento (espessura do óxido) calculado no MATPRO é dependente das condições do sistema, líquido em ebulição ou subresfriado. A elevação da temperatura através do revestimento é calculado como uma função das suas dimensões e do nível de potência. A condutividade do gap entre a superfície da pastilha e a superfície interna do revestimento é calculada como uma função da composição e da pressão interna da mistura gasosa e da pressão de contato entre pastilha e revestimento. A temperatura na superfície da pastilha é calculado usando esta condutividade. A distribuição radial de temperatura na pastilha é calculada pelo método dos resíduos ponderados, tendo a sua temperatura na superfície como uma das condições de contorno e derivada nula no centro como a outra. A condutividade da pastilha é corrigida levando-se em consideração as suas rachaduras.

Após o cálculo das temperaturas da pastilha, a fração liberada dos gases de fissão é calculado usando o modelo de Weisman e MacDonald. A quantidade de gás de fissão produzido pelo combustível é calculado em função da queima. A queima é determinada para cada nó axial a partir dos dados de irradiação (potência, tempo e forma axial da potência) fornecidos pelo usuário. O dish, o gap, as rachaduras e a porosidade aberta da pastilha, e o volume do pleno são calculados considerando as deformações induzidas pelas tensões e produtos de fissão na pastilha e no revestimento. A pressão interna dos gases é determinado usando-se a lei dos gases perfeitos. No cálculo da temperatura do pleno leva-se em consideração o fluxo de calor proveniente do topo do empilhamento de pastilhas, do refrigerante e do aquecimento da mola devido à radiação gama.

A nova pressão e composição do gás são usados na iteração seguinte para recalcular a transferência de calor da pastilha para o revestimento.

2. Implantação

O código FRAPCON-1 foi cedido por FURNAS à CNEN em duas versões, CDC (versão original) e IBM (convertido por FURNAS). Além dos códigos foram fornecidos o subprograma MATPRO (versão CDC) e 3 casos exemplos.

Devido à maior compatibilidade entre o nosso computador (Honeywell Bull DPS-7) e o IBM, optou-se por esta versão para ser implantado na CNEN. A implantação do programa foi razoavelmente rápida, graças à larga experiência do Grupo de Apoio Computacional (GAC) do DR em converter o FORTRAN IBM para o FORTRAN 77 do HB.

O único erro detectado no código durante a implantação, que não foi devido às peculiaridades do nosso computador, está na subrotina PRINT2. Aparecem na subrotina, em cartões DATA diferentes, a mesma variável de conversão de unidades CBHTUM com valores de 3.15248 e 5.6745. O valor 3.15248 converte Btu/hr.ft² em W/cm² e o valor 5.6745 converte Btu/hr.°F.ft² em W/°C m². Para o segundo fator de conversão o nome foi modificado para CBFTWM, sendo que HFLMDB, HFLMP, HGRF e CGRPSI são as variáveis que requerem esta transformação.

3. Manual de Utilização

3.1 Instruções sobre o formato livre (NAMELIST)

As características do NAMELIST são:

- o primeiro caractere de cada cartão deve permanecer em branco;
- o segundo caractere no primeiro registro de um grupo de dados deve ser um \$, imediatamente seguido pelo NAMELIST.
- são usados três NAMELIST:
 - FRPCN - indica o tamanho do problema;
 - FRPCON - os dados referentes ao problema;
 - EMFPCN - ativar os modelos EM (modelos conservativos);
- o nome do NAMELIST deve ser seguido por um espaço em branco, após este espaço segue-se a lista de variáveis separados por vírgulas;
- o fim de um grupo de dados é assinalado por um \$.

As variáveis podem ser de dois tipos:

- nome = constante
 - nome = pode ser o nome de um elemento, de um vetor ou de uma variável
 - constante = pode ser um inteiro, real, literal, complexo ou lógico. Se for lógico pode ser da forma T ou .TRUE. e F ou .FALSE.
- nome de vetor = conjunto de constantes
 - conjunto de constantes = podem ser do tipo inteiro, real, literal, complexo ou lógico (número de constantes menor ou igual ao número de elementos do vetor). Se houver K constantes repetidas pode-se usar a forma K*constante.

Observações:

- após o espaço em branco de cada cartão pode vir uma variável completa ou o nome de um vetor ou uma constante;
- brancos entre nomes ou constantes não são permitidos;
- brancos após inteiros e expoentes são tratados como zeros;
- a ordem dos cartões de dados entre o NAMELIST e o \$ não é significativo.

3.2 Dados de entrada

3.2.1 Cartão título

O primeiro cartão deverá ser o título do caso a ser executado e poderá ocupar no máximo 72 colunas.

3.2.2 NAMELIST FRPCN

É usado para fornecer as dimensões dos vetores com dimensionamento dinâmico

VARIÁVEL	DESCRIÇÃO	RESTRICÇÕES E OPÇÕES
IM	número de intervalos de tempo	máximo de 100
NA	número de nós axiais de igual comprimento	deve ser ímpar (3 < NA < 21)
NR	número nós radiais	=11 (sempre)

3.2.3 NAMELIST FRPCON

Dados padrões : as variáveis devem ser fornecidas a menos que seja substituída por uma variável opcional.

Dados opcionais : são as variáveis que possuem um valor default assumido pelo código, e só devem ser incluídas caso se deseje mudar estes valores.

Dados Padrões

VARIÁVEL	DESCRIÇÃO	RESTRIÇÕES E OPÇÕES
CPL	comprimento do pleno (in,m)	
DCI	diâmetro interno do revestimento (in,m)	
DCO	diâmetro externo do revestimento (in,m)	
DE	diâmetro hidráulico (in,m)	
DEN	densidade da pastilha (% da densidade teórica)	
DISHSD	largura do ombro do dish (raio da pastilha menos raio do dish) (in,m)	
DP	diâmetro da pastilha (in,m)	
DSPG	diâmetro externo da mola (in,m)	

DSPGW	diâmetro do arame da mola (in,m)	
ENRCH	enriquecimento do combustível (usado na estimativa da depressão do fluxo)	
FGPRV	pressão inicial do gás (psia, N/m ²)	
GO	taxa de fluxo de massa - vazão (lb/hr.ft ² , Kg/s.m ²)	=0, na superfície do revestimento. Temperatura = TW em todos os nós axiais. Se NSP=1, fornecer um valor para cada time step.
HDISH	altura da pastilha menos a altura do dish (in,m)	
HPLT	altura da pastilha (in,m)	
ICH	índice do material de revestimento	=2, Zr-2 =4, Zr-4
IDXGAS	índice do gás de enchimento inicial	=1 (hélio), =2 (ar), =3 (N) =4 (gases de fissão), =5 (Ar) =6, o usuário especifica a fração molar do gás (ver entrada de dados opcional). Se for usado

gases de fissão, o usuário deve fornecer o burnup inicial (BUIN)

IQ	índice da forma da potência axial	=0, a forma é fornecida =1, forma cosenoidal
JOLPR	índice para fornecer os nós axiais no output	=1, e NUPTR=0 só o nó de potência máxima
JN	número de entradas em cada conjunto de tabelas QF e X	(omitir se IQ=1) máximo de 40. Se houver mais de uma forma deve-se fornecer JST. Número de valores deve ser igual ao número de formas axiais usados
NUNITS	unidade a ser usado (default=SI)	=0, unidades SI =1, unidades britânicas
P2	pressão do sistema (psia, N/m ²)	se NSP=1, fornecer um valor para cada time step
QF	fatores de normalização do fluxo axial de calor	número de entradas deve ser igual a JN para cada forma axial. Se houver mais de uma forma, normaliza todos pela média.
QMPY	fluxo de calor para cada potência (Btu/hr.ft ² ou Kw/ft, W/cm)	= Kw/ft ou W/m se o primeiro valor é menor que 100

= Btu/hr.ft².se o primeiro valor é maior que 100

TIME	tabela dos tempos acumulados (fim dos períodos de time step). Correspondentes aos valores de QMPY (horas).	= segundos se o primeiro valor for maior que 17.0 = horas se o primeiro valor for > 0.01 horas mas < 1.0 horas
TOTL	altura da estaca (empilhamento) do combustivel	
TW	temperatura da água na entrada	se GO=0.0, TW é a temperatura na superfície do revestimento. Se NSP=1, fornecer um valor para cada time step
VS	número total de espiras da mola	
X	tabela dos pontos axiais correspondentes aos valores de QF (ft,m)	número de entradas deve ser igual a JN para cada forma axial até 8. (o primeiro valor deve ser igual a 0.0 e o último igual ao comprimento total TOTL para cada forma axial)

Dados Opcionais

VARIÁVEL	DEFAULT	DESCRIÇÃO	RESTRIÇÕES E OPÇÕES
AFAL	1.0	fator adicional de expansão térmica	≠ 0.0
AFCR	1.0	fator adicional de aceleração de creep	≠ 0.0
AFDN	1.0	fator adicional de densificação	
AFGR	1.0	fator de multiplicação adicional da fração de gás liberado	≠ 0.0
AFTC	1.0	fator de multiplicação adicional da condutividade térmica do gás	≠ 0.0
AFSW	1.0	fator de multiplicação adicional do inchamento do combustível	≠ 0.0
AMFAIR	0.0	fração molar absoluta do ar	só pode ser usado se IDXGAS=6
AMFARG	0.0	idem para argônio	idem

AMFFG	0.0	idem para gases de fissão	idem
AMFKRY	0.0	idem para kriptonio	idem e AMFFG=0.0
AMFXE	0.0	idem para xenonio	idem e AMFFG=0.0
AMFHE	0.0	idem para hélio	idem
AMFH2	0.0	idem para hidrogênio	idem
AMFH2O	0.0	idem para vapor	idem
AMFN2	0.0	idem para nitrogenio	idem
BUIN	0.0	burnup inicial (Mwd/MtU, Mws/Kg)	deve ser fornecido quando se inclui no input a fração molar dos produtos de fissão
CATEXF	0.05	fator de textura	0.0 (<= CATEXF >= 1.0
COLDWK	0.1	cold work of the cladding	
COMP	0.0	porcentagem em peso de PuO ₂ no combustível de óxido misto	0.0 (<= COMP >= 100.0

CRDT	1.0	espessura inicial da crosta (mil,m)	
CRDTR	1.14155 $\times 10^{-4}$	taxa de crescimento da crosta (mil/hr,m/s)	usado apenas se ICOR=0
DENG	0.75	a densidade da pastilha é corrigida pela porosidade (%) densidade de emersão (verdadeira) pela densidade geométrica	
EMSWCH	0.0	ativar modelos conservativos (EM)	= -1
FR	1.0	'peaking factor' do nó axial mais quente (Peak/average)	=1.0, se a tabela de QF está normalizado pela média, e QMPY= fluxo de calor médio >1.0, se QMPY= pico do fluxo de calor e IQ=1 ou a sua tabela está normalizado pelo pico
FLUX	6×10^{17}	fluxo de neutrons rápidos na vareta	
FQE	1.0	fator de multiplicação dos valores de QMPY	

GRNSZ	5.0M	tamanho inicial do grão	
ICOR	0	índice para o modelo da crosta	<p>=0, crosta constante, sem queda de temperatura na crosta se ocorrer ebulição.</p> <p>=1, crosta constante, queda de temperatura na crosta se ocorrer ebulição.</p> <p>=2, crosta variável, com queda de temperatura se ocorrer ebulição</p>
JST	IM*1	indica a forma do tipo de potência axial a ser usado em cada time step	IQ deve ser =0. Deve ter um tipo de número para cada time step (o primeiro vetor de QF e X é do tipo 1, o segundo do tipo 2, etc.), máximo de 8 tipos. As formas axiais devem ser normalizados pela média
NFROD	1	número de varetas sendo analisados	
NGRPC	1	seleção do modelo de condutância do gap	<p>=0, modelo da pastilha fraturado</p> <p>=1, modelo do gap anular</p>
NOFAIL	0	chamada do subcódigo falha	<p>=0, o subcódigo de falha é chamado e os resultados apresentados</p> <p>=1, o subcódigo é ignorado</p>
NOPT	3	seleciona a opção de	=0, output completo

		saída	=3, output simplificado (tabular)
NPCYCL	0	número prévio de ciclos de potência	
NPLTAB	0	parâmetro da abcissa no ploter	=0, tempo =1, potencia média da vereta =2, burnup local
NREAD	0	leitura do índice de restart do FRAPCON	=0, sem restart =1, leitura da fita de restart
NRESTR	0	índice de restart	=0, não escreve restart =1, escreve a fita de restart
NSP	0	variação dos parâmetros do sistema	=0, parâmetros do sistema constantes (P2,TW,GO) =1, parâmetros do sistema variando
NTAPE	0	índice de restart de FRAP-T	=0, sem dados de restart armazenados =1, dados de restart armazenados para FRAP-T usados ao fim de cada time step
PPMH2O	0.0	conteúdo inicial de água no combustível (ppm)	
PPMN2	15.0	conteúdo inicial de	

nitrogênio no combustível
(ppm)

QEND	0.3	fluxo de calor normalizado no topo da estaca de combustível	deve ter um valor para cada forma axial. Usado para determinar o fluxo de calor dentro da câmara plena
RC	0.0	raio do núcleo da pastilha (in,m)	
ROUGHC	4.5×10^{-5}	rugosidade média do revestimento (in,m)	
ROUGHF	8.5×10^{-5}	rugosidade média do combustível (in,m)	
SGAPF	30	átomos de gases de fissão por 100 fissões	
TSINT	2912°	temperatura de sinterização do combustível (°F, °K)	
UMELT	valor da MATPRO	o usuário especifica a temperatura de fusão para falha do revestimento	
UOFD	17.0%	o usuário especifica o critério de	

falha por oxidação

3.2.4 NAMELIST EMFPCN

Este NAMELIST é usado para ativar e desativar o uso dos modelos conservativos (evaluation models - EM) pelo código. O valor default é sempre =0 e corresponde à opção desativada, e é =1 quando se deseja usar o modelo.

Os modelos² e os seus respectivos pontos de atuação são:

- EMPOWR : potência linear;
- EMFUEL : variações dimensionais da pastilha;
- EMENRG : energia armazenada na pastilha;
- EMDENS : densificação da pastilha;
- EMRELO : relocação da pastilha;
- EMCLRD : variações dimensionais do revestimento;
- EM93WC : condutividade térmica da pastilha;
- EMFGAS : liberação de gases de fissão;
- EMGAPC : condutância do gap.

4. Conclusões

O código FRAPCON-1 está implantado e disponível no DR, sendo os resultados obtidos com a versão HB do caso exemplo contido no manual (ref. 1) compatível com os resultados da versão CDC.

BIBLIOGRAFIA

1. Berna, G. A. et all; FRAPCON-1: A Computer Code for the Steady-State Analysis of Oxide Fuel Rods; CDAP-TR--78-032-R1 November/78.
2. Estudo de Sensibilidade com o Código FRAPCON-1/EM: Obtenção de um Modelo de Cálculo Licenciável; Nota Técnica DCS.N.0015.84 (Furnas) Abril/84.