

IMPLEMENTAÇÃO DO MÉTODO DE BONDARENKO PARA O TRATAMENTO DA AUTOBLINDAGEM NO CODIGO HAMMER-TECHNION

Alfredo Y. Abe,* Adimir dos Santos
 Coordenadoria de Projetos Especiais - COPESP
 Av. Professor Lineu Prestes, 2242 - São Paulo
 * Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN

R E S U M O

O presente trabalho apresenta a implementação do método de Bondarenko para o tratamento da autoblindagem no código de cálculo celular HAMMER-TECHNION. A implementação do método foi avaliada utilizando a bibliotecas de dados nucleares JENDL-3 e ENDFB/V, solucionando-se problemas padrões clássicos tais como: TRX-1, TRX-2, BAPL-1, BAPL-2, BAPL-3 e a série DIMPLe. Os resultados obtidos apresentam excelente concordância quando comparados com os resultados obtidos via módulo ROLAIDS do sistema AMPX-II, que executa o cálculo de autoblindagem pontual e explícito, como também em comparação com os resultados experimentais.

INTRODUÇÃO

Atualmente os códigos celulares [1-3] mais recentes e correntemente utilizados tem-se utilizado do método de Bondarenko [4] para o tratamento da autoblindagem. Apesar de ter sido inicialmente desenvolvido para a utilização em reatores rápido, este método foi estendido a cálculos de reatores térmicos e epitérmicos. O método tem-se mostrado vantajoso em relação aos métodos tradicionais, tanto sob o ponto de vista computacional quanto em termos de resultados; isto deve-se à simplicidade do método que reproduz a autoblindagem em termos de um conjunto parametrizado de dados (σ_0, T) "independente" da aplicação.

O código HAMMER-TECHNION [5], um dos códigos mais intensivamente utilizado no IPEN/CNEN-SP, originalmente executa o tratamento da autoblindagem utilizando o método de Nordheim [6], o qual exige que as ressonâncias resolvidas sejam expressas pelo formalismo Single Level Breit-Wigner [7]. No entanto, os dados nucleares mais recentes como da biblioteca JENDL-3 e ENDF/B-VI utilizam outros formalismos de Multi-Level tais como: Adler-Adler [8], Reich More [9], Breit-Wigner [10]. A implementação do tratamento da autoblindagem via método de Bondarenko no código HAMMER-TECHNION viabilizaria a utilização desses novos dados nucleares.

Desta forma o objetivo desse trabalho é implementar no código de cálculo celular HAMMER-TECHNION o tratamento com o método de Bondarenko utilizando os dados nucleares básicos da biblioteca JENDL-3 [11] e da biblioteca ENDF/B-V para o nuclídeo U-235.

MÉTODO DE BONDARENKO

O tratamento das absorções nas ressonâncias envolve a resolução da equação de fluxo de nêutrons na célula combustível; os cálculos mais precisos são executados com a utilização de técnicas de Monte-Carlo [12] com energias pontuais. No entanto, este tipo de procedimento é bastante dispendioso em

tempo computacional.

Usualmente utiliza-se aproximações para descrever o tratamento das absorções das ressonâncias tais como: NRA (Narrow Resonance Approximation), WRA (Wide Resonance Approximation), Nordheim, Bondarenko, etc.

O método de Bondarenko consiste basicamente na parametrização do fluxo, utilizado como função ponderação, através de duas variáveis: seções de choque de referência (diluição σ_0) e temperatura (T) que irão descrever os fatores de autoblindagem.

Define-se o fator de autoblindagem para um dado nuclídeo k, num grupo de energia g, da seguinte forma:

$$f_{g,k} = \frac{\bar{\sigma}}{\sigma_{g,k}^{\infty}} \quad (1)$$

onde:

$\bar{\sigma}$: seção de choque autoblindada efetiva
 $\sigma_{g,k}^{\infty}$: seção de choque à diluição infinita

Desta forma descreve-se, para cada nuclídeo, os fatores de autoblindagem de uma dada reação (captura, fissão, espalhamento) em termos de grupos de energia, temperatura e várias diluições. A descrição destes conjuntos de dados é feita de forma tabular pois os fatores serão computados para várias temperaturas e várias diluições para um dado nuclídeo num dado grupo de energia.

Conforme amplamente discutido por Willians [13], o fator de autoblindagem para uma dada temperatura é obtido interpolando o valor de σ_0 , obtido no processo iterativo da equação abaixo.

$$\sigma_{0,k}^{n+1} = \frac{1}{N_k} \sum_{i \neq k} N_i (f_{i,c}^n \sigma_{i,c}^{\infty} + f_{i,f}^n \sigma_{i,f}^{\infty} + f_{i,e}^n \sigma_{i,e}^{\infty}) + \frac{1}{N_k} \sum_{i \neq k} \left\{ \frac{N_i \lambda_i \sigma_i}{p_i} \right\} + \mu \Sigma / N_k \quad (2)$$

onde : λ, μ = parâmetro intermediário de ressonância [14]

Σ_e = seção de choque de escape

σ_p = seção de choque potencial

Os índices c, f, e referem-se à reações de captura, fissão e espalhamento elástico.

A expressão acima (2) foi obtida utilizando-se o princípio de equivalência [15] entre os sistemas homogêneos e heterogêneos e o efeito da heterogeneidade do sistema é descrito em termos da seção de choque de escape [15]; que é uma função do fator de Dancoff [16] e do fator de Bell [15].

O fator de autoblindagem para uma aplicação específica é obtido através do processo iterativo e com auxílio de uma lei de interpolação entre σ 's e temperaturas.

Obtida a convergência da expressão acima para um dado nuclide, obtém-se a seção de choque utilizando a expressão (1).

BIBLIOTECAS PARA O HAMMER-TECHNION

O código HAMMER-TECHNION utiliza-se de duas bibliotecas em estrutura de multigrupo (térmica e epitérmica/rápida) em 30 grupos e 54 grupos respectivamente. Devido à implementação dos fatores de Bondarenko fazem-se necessários várias modificações para a elaboração da biblioteca epitérmica/rápida.

Inicialmente, para elaborar a biblioteca com os fatores de Bondarenko deve-se determinar o intervalo de temperaturas a serem consideradas e os números de diluições de um dado nuclide.

A quantidade de pontos de temperatura e de números de diluições é importante para os procedimentos de interpolação, na medida que quanto maior o número de pontos mais preciso será a interpolação.

A biblioteca com os fatores de Bondarenko é elaborada com uma estrutura de dados compatível com a biblioteca epitérmica/rápida do código HAMMER-TECHNION, sendo utilizados os sistemas NJOY [17], AMPX-II [18] e um programa desenvolvido para a formatação da biblioteca dos fatores de Bondarenko. O fluxograma abaixo ilustra o sistema para geração dos fatores de Bondarenko :

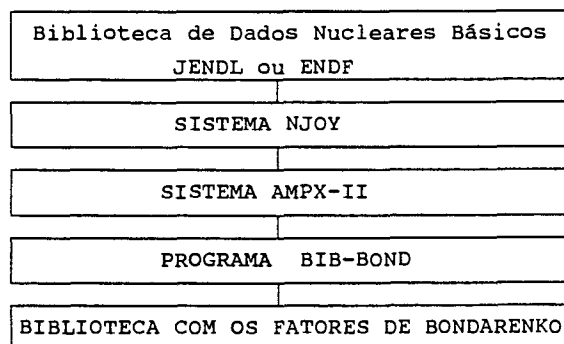


Figura 1. Fluxograma de Elaboração da Biblioteca com os fatores de Bondarenko

A biblioteca com os fatores de Bondarenko elaborada acima é inserida na biblioteca de seções de choque em multigrupo da região de energia epitérmica/rápida do código HAMMER-TECHNION.

Assim, a biblioteca em estrutura de multigrupo do código HAMMER-TECHNION, da região epitérmica/rápida conterá os fatores de autoblindagem de determinados núcleos. A biblioteca da região térmica não sofrerá nenhuma alteração.

A metodologia utilizada no IPEN/CNEN-SP para elaboração das bibliotecas no código HAMMER-TECHNION baseia-se principalmente no sistema NJOY/AMPX-II e os programas LITHE e HELP. No sistema NJOY não foi necessário modificar nenhuma parte, mas para o sistema AMPX-II foram desenvolvidos dois módulos correspondentes ao módulo NITAWL do sistema AMPX-II.

Os dois módulos objetivam a formatar os arquivos de entrada a serem utilizados pelos programas LITHE e HELP.

O programa HELP, responsável pela formatação final da biblioteca epitérmica/rápida foi modificado para incluir os fatores de Bondarenko elaborado anteriormente.

Assim a biblioteca foi elaborada com programa NJOY acessando os dados nucleares básicos da biblioteca JENDL-3 para os seguintes núcleos : U-238, Hidrogênio, Oxigênio, Ferro Natural, Níquel Natural, Silício Natural, Cromo Natural, Titânio Natural, Alumínio 27, Manganês 55, com a temperatura de 300 K. Para o nuclide U-235 utilizou-se a biblioteca de dados nucleares básicos ENDF/B-V (Arquivo Standard) pois, sabe-se que a qualidade dos dados é bastante superior as demais bibliotecas.

Os núcleos U-235 e U-238 foram gerados com fatores de Bondarenko e com quatro temperaturas : 300, 600, 900 e 1200 Kelvin. Os fatores de diluição escolhidos são : 1.0E+03, 300.0, 100.0, 70.0, 50.0, 30.0, 10.0 para o nuclide U238 e 1.0E+06, 5.0E+03, 500.0, 100.0, 50.0 e 1.0 para o nuclide U235.

Os núcleos U235 e U238 foram gerados com a opção Flux-Calculator no código NJOY . A seção de choque potencial a ser utilizada é de 10.20. Além disso, utilizou-se o espectro de fissão do U-235 da ENDF/B-V para o programa HELP.

IMPLEMENTAÇÃO NO CÓDIGO HAMMER-TECHNION

Com a biblioteca, com os fatores de Bondarenko elaborada, é preciso implementar o equacionamento do método dentro do código HAMMER-TECHNION. Neste sentido afim de não alterar a estrutura do programa, optou-se em localizar inicialmente as rotinas responsáveis pelo tratamento da autoblindagem via método de Nordheim e substituí-lo pelo método de Bondarenko.

As rotinas de interpolação na temperatura, iteração de sigma-zero e consequentemente a interpolação no sigma-zero que constituem efetivamente o método de Bondarenko, foram elaboradas de forma isolada e testada antes da implementação.

A implementação representou a eliminação de 20 subrotinas ligadas ao tratamento da autoblindagem, resultando numa redução sensível no tamanho do programa fonte.

Além disso, implementou-se os fatores intermediários de ressonância utilizados no código EPRI-CELL [19] afim de tratar as ressonâncias intermediárias e o fator de Bell para a correção do fator de Dancoff.

RESULTADOS

Com a biblioteca elaborada e as implementações do método de Bondarenko introduzidas no código HAMMER-TECHNION submeteu-se a avaliação através de uma série de "benchmarks" de reatores térmicos tais como : série TRX, série BAPL e a série DIMPLe.

As tabelas abaixo ilustram os resultados dos índices espectrais (k_{eff} , ρ_{28} , δ_{25} e δ_{28}) de células : obtidos com a implementação do método de Bondarenko, obtidos com o tratamento via ROLAIDS do sistema AMPX-II[20], valores da literatura e o resultado experimental.

Tabela 1 - Resultados para TRX-1

PROGRAMAS	T R X - 1 Í N D I C E S			
	Kef	ρ_{28}	δ_{25}	δ_{28}
HAMMER-TECHNION c/ Bondarenko JENDL-3 + ENDF/B-V	0.99893	1.34718	0.09500	0.09747
HAMMER-TECHNION[20] c/ Roloids JENDL-3 + ENDF/B-V	0.99649	1.34505	0.09610	0.09756
SRAC/JAERI [21] c/ JENDL-3	0.983	1.386	0.0987	0.10027
WIMS-D/PSI [22] c/ JEF-1	0.9950	1.362	0.0974	0.0995
EPRI-CELL [23] c/ ENDF/B-V	0.9961	1.359	0.1003	0.0989
RAHAB/OZMA [24] c/ ENDF/B-V	0.9958	1.365	0.1007	0.0989
Valor [25] Experimental	1.0000	1.320 ± 0.021	0.0987 ± 0.001	0.0946 ± 0.0041

Tabela 2 - Resultados para TRX-2

PROGRAMAS	T R X - 2 Í N D I C E S			
	Kef	ρ_{28}	δ_{25}	δ_{28}
HAMMER-TECHNION c/ Bondarenko JENDL-3 + ENDF/B-V	1.00032	0.84035	0.05822	0.06908
HAMMER-TECHNION c/ Roloids JENDL-3 + ENDF/B-V	0.99889	0.83641	0.05886	0.06906
SRAC/JAERI c/ JENDL-3	0.987	0.86211	0.06078	0.07137
WIMS-D/PSI c/ JEF-1	0.9951	0.8530	0.0597	0.0705
EPRI-CELL c/ ENDF/B-V	0.9984	0.846	0.0614	0.0699
RAHAB/OZMA c/ ENDF/B-V	0.99775	0.847	0.0617	0.0701
Valor Experimental	1.0000	0.837 ± 0.016	0.0614 ± 0.0008	0.0693 ± 0.0035

Tabela 3 - Resultados para BAPL1

PROGRAMAS	B A P L - 1 Í N D I C E S			
	Kef	ρ_{28}	δ_{25}	δ_{28}
HAMMER-TECHNION c/ Bondarenko JENDL-3 + ENDF/B-V	1.00192	1.42368	0.08118	0.07579
HAMMER-TECHNION c/ Rolands JENDL-3 + ENDF/B-V	0.99953	1.42375	0.08173	0.07590
WIMS-D/PSI c/ JEF-1	0.9989	1.4284	0.0820	0.0773
EPRI-CELL c/ ENDF/B-V	1.0028	1.414	0.0840	0.0762
RAHAB/OZMA c/ ENDF/B-V	1.00398	1.397	0.0846	0.0761
Valor Experimental	1.0000	1.39 ± 0.01	0.084 ± 0.02	0.078 ± 0.004

Tabela 4 - Resultados para BAPL2

PROGRAMAS	B A P L - 2 Í N D I C E S			
	Kef	ρ_{28}	δ_{25}	δ_{28}
HAMMER-TECHNION c/ Bondarenko JENDL-3 + ENDF/B-V	1.002689	1.18091	0.06611	0.06515
HAMMER-TECHNION c/ Rolands JENDL-3 + ENDF/B-V	1.00075	1.17920	0.06653	0.06522
WIMS-D/PSI c/ JEF-1	0.9991	1.1889	0.0669	0.0665
EPRI-CELL c/ ENDF/B-V	1.0031	1.173	0.0680	0.0653
RAHAB/OZMA c/ ENDF/B-V	1.00401	1.159	0.0689	0.0653
Valor Experimental	1.0000	1.12 ± 0.01	0.068 ± 0.001	0.070 ± 0.004

Tabela 5 - Resultados para BAPL3

PROGRAMAS	B A P L - 3 Í N D I C E S			
	Kef	ρ_{28}	δ_{25}	δ_{28}
HAMMER-TECHNION c/ Bondarenko JENDL-3 + ENDF/B-V	1.003728	0.92399	0.05073	0.05338
HAMMER-TECHNION c/ Rolands JENDL-3 + ENDF/B-V	1.00237	0.92106	0.05102	0.05341
WIMS-D/PSI c/ JEF-1	0.9997	0.9308	0.0514	0.0545
EPRI-CELL c/ ENDF/B-V	1.0055	0.914	0.0525	0.0533
RAHAB/OZMA c/ ENDF/B-V	1.00433	0.907	0.0529	0.0536
Valor Experimental	1.0000	0.906 ± 0.001	0.052 ± 0.001	0.057 ± 0.003

Tabela 6 - Resultados da série DIMPLE

PROGRAMAS	C A S O	D I M P L E - 1 Í N D I C E S			
		Kef	ρ_{28}	δ_{25}	δ_{28}
HAMMER-TECHNION c/ Bondarenko JENDL-3 + ENDF/B-V	DIMPLE-1	1.002763	4.04200	0.23072	0.08703
	DIMPLE-2	1.006090	1.41663	0.07474	0.03821
	DIMPLE-3	1.002131	5.16920	0.30244	0.10349
RAHAB/OZMA c/ ENDF/B-V	DIMPLE-1	1.00256	4.010	0.245	0.0870
	DIMPLE-2	1.00424	1.391	0.0792	0.0385
	DIMPLE-3	1.00284	5.143	0.321	0.1035
Valor Experimental	DIMPLE-1	1.00000	-----	-----	0.0929 ± 0.0009
	DIMPLE-2	1.00000	-----	-----	-----
	DIMPLE-3	1.00000	-----	-----	0.1113 ± 0.0018

As Tabelas 1 a 6 apresentam os principais resultados obtidos dos vários "benchmarks"; os resultados são autovalores (Kef) e taxa de reações (ρ_{28} , δ_{25} , δ_{28}).

Nos comentários dos resultados a serem relatados abaixo não será discutido sistematicamente a questão da qualidade dos dados nucleares (biblioteca de dados nucleares básicos), pois o interesse do trabalho é verificar a consistência dos resultados e as inconsistências da implementação do método de Bondarenko no código HAMMER-TECHNION. Neste contexto ressalta-se principalmente a comparação de resultados em relação aos obtidos via módulo ROLAIDS do sistema AMPX-II, que executa um tratamento da autobindagem de forma mais rigoroso. O módulo ROLAIDS executa a resolução da equação de "slowing-down" de forma pontual.

Nos trabalhos futuros poder-se-á discutir a relevância da qualidade dos dados nucleares básicos, elaborando várias bibliotecas com diferentes dados tais como: ENDF/B-VI, BROND, CENDL, JENDL-3.1 e outros disponíveis.

Assim com relação às Tabelas 1 e 2 respectivamente aos "benchmarks" TRX-1 e TRX-2 observa-se:

a) excelente concordância com os resultados no Kef, observando diferença de aproximadamente 100 pcms para o TRX-1 e 32.0 pcms para o caso do TRX-2, quando comparados com os valores experimentais.

b) para a taxa de reação ρ_{28} desvio da ordem de 2.0% no caso do TRX-1 e 0.4% para o caso de TRX-2; para o δ_{25} o desvio da ordem de 3.7% a 5.2% no TRX-1 e TRX-2 respectivamente, para o δ_{28} o desvio de aproximadamente 3.0% no TRX-1 e 0.3% no caso do TRX-2.

Nos resultados acima mencionados observa-se que o parâmetro Kef é integral e neste sentido a concordância deste resultado é importante mas, as taxas de reações que são relativas a determinados nuclídeos, para determinadas faixas de energia, são bastante importantes, na medida que ilustram melhor determinados aspectos tais como a taxa de captura de nêutrons nas ressonâncias do U238 e taxa de fissões no U235 e U238.

Para a série BAPL (BAPL-1, BAPL-2 e BAPL-3) observando a Tabelas 3,4 e 5 tem-se:

a) em termos de autovalor (Kef) os desvios se encontram na faixa de 192 pcms até 269 pcms, demonstrando boa concordância com os demais resultados, verificando-se também o comportamento coerente à medida que aumenta-se o "pitch" (razão de moderação).

b) para as taxas de reações (ρ_{28} , δ_{25} e δ_{28}) encontram-se desvios de 2.0% a 5.4% para o ρ_{28} (superestimado), para o δ_{25} desvios de 1.9% a 3.4% (subestimado) e finalmente para δ_{28} desvios de 3.0% a 7.0% (subestimado). No entanto os valores estão de acordo com os resultados obtidos via HAMMER-TECHNION com autobindagem pelo módulo ROLAIDS do sistema AMPX-II.

Apesar dos desvios maiores para o δ_{28} no caso do BAPL-2 e BAPL-3 os resultados são coerentes quando comparados com outros cálculos.

Para a série DIMPLE (DIMPLE-1, DIMPLE-2 e DIMPLE-3) dos resultados apresentado na Tabela 6 observa-se:

a) em termos de autovalor (Kef) obteve-se resultados excelentes e concordantes, sendo que apenas no DIMPLE-2 observou-se um desvio maior (609 pcms).

b) para as taxas de reações os resultados também foram coerentes, podendo apenas ser comparado o valor de δ_{28} experimental.

CONCLUSÕES

A implementação do método de Bondarenko no código HAMMER-TECHNION para o tratamento da autobindagem mostrou-se bastante eficiente em termos de tempo computacional (redução de aproximadamente 40.0% no tempo de CPU) em relação ao tratamento original executado pelo método de Nordheim; os resultados preliminares obtidos foram excelentes e bastantes concordantes, principalmente com o tratamento via ROLAIDS do sistema AMPX-II. Futuramente deve-se elaborar um sistema de geração de bibliotecas com os fatores de autobindagem de forma sistemática e também elaborar uma metodologia de obtenção dos parâmetros intermediários de ressonâncias.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] - Yamamoto, M., Sakurada, K., Mizuta, H., Makino, K., " Validation of the HELIOS.HX code for high conversion light water reactor core"; Nuclear Technology Vol-80, p240-249, Feb. 1998
- [2] - Ishiguro, Y; et alli ; "SRAC :JAERI Thermal Reactor Standard Code System for Reactor Design and Analysis"; JAERI-1285 (1983).
- [3] - Broeders, C.H.M.; "KARBUS, The Karlsruhe Reactor Burnup System", Nuclear Technology Vol-80, Feb. 1988.
- [4] - J.J. Bondarenko; Ed. Group Constants for Nuclear Reactor Calculations, Consultants Bureau, New York (1964).
- [5] - Barhen, J., Rhotenstein, W., Taviv, E.; "The HAMMER Code System Technion", Israel Institute of Technology, Haifa, Israel, NP-565, Oct. 1978.
- [6] - Nordheim, L.W.; Nucl. Sci. Eng., 12,457 (1962).
- [7] - Breit, G.; Wigner, E.P. ; Phys. Rev. ; 49, 519 (1936).
- [8] - Adler, F.T. and Adler, D.B.; Conf. on Neutron Cross Section Technology, Vol. II, 873, (1967).
- [9] - Reich, C.W., Moore M.S.; Phys. Rev. 111, 929 (1968).
- [10] - Breit, G., Wigner, E.P., Phys. Rev., 49, 519 (1936).
- [11] - Shibata, K., et alli; "Japanese Evaluation Nuclear Data Library Version 3 - JENDL-3"; JAERI-1319 (1990).
- [12] - Segev, M.; " A theory of Resonance Group-Shielding", Nucl. Sci. Eng. 56, 72-82 (1975).
- [13] Williams, M.L.; "Correction of Multigroup Cross Section for Resolved Resonance Interference in Mixed Absorbers ", Nuc. Sci. Eng., 83, p37-49 (1983).
- [14] - Goldstein, R., Brooks, H.; "Intermediate Resonance Absorption in Nonhomogeneous System", Nuc. Sci. Eng.; 20, 331, (1964).
- [15] - Bell, G.I, Glasstone, S.; Nuclear Reactor Theory, Robert E. Krieger Publishing Company, New York, 1979.
- [16] - Dancoff, S.M., Ginsburg, M.; "Surface Resonance Absorption in Close Packed Lattices"; Manhattan Project Report CP-2157 (1944).
- [17] - MacFarlane, R.E., Muir, D.W., Boicourt, R.M.; "The NJOY Nuclear Data Processing System, Vol-I : User's Manual", Report LA-9393-M, 1982.
- [18] - Greene, N.M., Ford III, W.E. et alli, "AMPX-II: A Modular Code System for Generating Coupled Multigroup Neutron-Gamma Libraries from Data in ENDF Format", PSR-63, Oak Ridge National Laboratories..
- [19] - ARMP - Advanced Recycle Methodology Program : EPRI-CELL code description, Report CCM-3, Electric Power Research Institute, Sept. 1977.
- [20] - Santos, A.; "Solução de Problemas Padrões com os sistemas acoplados NJOY/AMPX-II/HAMMER-TECHNION e a Biblioteca JENDL-3", Anais do VIII ENFIR, Atibaia, Setembro de 1991.
- [21] - Iijima, S.; "Thermal Reactor Benchmark Test of JENDL-3", Proceedings of the 1989 Seminar on Nuclear Data, Feb. 1990, JAERI-M-90025.
- [22] - Pelloni, S., Grimm, P., Mathews, D.R.; "Validation of Light Water Reactor Calculation Methods and JEF-1 Based Data Libraries by TRX and BAPL critical experiments", Nuc. Techn. Vol 94, p15-27, April 1991.
- [23] - Hardy, J.; "ENDF/B Data Testing Results for Thermal Reactor Benchmark"; Proceedings of Thermal Reactor Benchmark Calculations Techniques Results and Applications, EPRI-NP-2855.
- [24] - Graig, D.S.; "Testing ENDF/B-V Data for Thermal Reactor"; AECL-7690, Chalk River Nuclear Laboratories, Chalk River, Ontario, Oct. 1992.
- [25] - Cross Section Evaluation Working Group Benchmark Specifications, USAEC Report BNL 19302 (ENDF-202), 1974.

ABSTRACT

The present work summarizes the implementation of the treatment of self-shielding based on Bondarenko method in the HAMMER-TECHNION cell code. The Bondarenko method implementation has been analysed using JENDL-3 and ENDF/B-V nuclear data libraries and the very well know classical benchmark experiments : TRX, BAPL and DIMPLE series. It has been found that the Bondarenko method gives not only excellent results compared to that of more rigorous mathematical methods like in ROLAIDS module of AMPX-II system, but also compared to experimental results.