

Władysław ŁUKASZEK

WYZNACZANIE WSPÓŁCZYNNIKÓW NAROSTU PROMIENIOWANIA GAMMA DLA OSŁÓN DWUWARSTWOWYCH I TRZYWARSTWOWYCH

Streszczenie. Model matematyczny opisany w pracach [1], [2] zastosowany został do obliczeń współczynników narostu promieniowania gamma dla osłón dwuwarstwowych i trzywarstwowych. Opracowane programy komputerowe wykorzystują algorytm obliczeń numerycznych metodą Monte Carlo opisany w pracy [2].

CALCULATION OF TRANSMISSION BUILDUP FACTORS FOR GAMMA-RAYS AND STRATIFIED SHIELDS COMPOSED OF TWO OR THREE SLADS

Summary. The mathematical model elaborated in papers [1], [2] have been used for calculations or transmission buildup facotrs for gamma-rays and for two- or three-layered stratified shields in plane geometry. The Monte Carlo algorithm described in paper [2] have been adopted in computer programs for numerical calculation.

BESTIMMUNG DER AUFBAUFAKTOREN DER GAMMA- STRAHLUNG IN ABSCHIRMUNGEN DIE AUS ZWIE ORDER DREI SCHICHTEN GEBAUT WURDEN

Zusammenfassung. Das mathemetische Modell [1], [2] wurde für Berechnungen der Aufbaufaktoren der Gammastrahlung für ebene Abschirmungsschichten angewandt. Ausgearbeitete Computerprogramme wenden den numerischen Monte Carlo Algorithmus an, der in Arbeit [2] veröffentlicht wurde.

1. WPROWADZENIE

Model matematyczny wyznaczenia współczynników narostu promieniowania jądrowego opisany został w pracach [1] i [2]. W pracy [2] wykonano

również obliczenia współczynników narostu promieniowania gamma padającego normalnie na osłony jednowarstwowe z zastosowaniem metody Monte Carlo. W stosunku do danych literaturowych wyniki otrzymane w pracy [2] wykazują błędy względne nie przekraczające ok. 2%.

W pracy niniejszej model opisany w pozycjach [1] i [2] zastosowany został do wyznaczania współczynników narostu promieniowania gamma padającego normalnie na osłony dwuwarstwowe i trzywarstwowe. Obliczenia wykonano metodą Monte Carlo na mikrokomputerze IBM PC/AT przy zastosowaniu programów PW2.FOR i PW3.FOR (osłony dwuwarstwowe) oraz PW4.for (osłony trzywarstwowe) napisanych w języku FORTRAN 77. Wartości współczynników narostu zostały obliczone zgodnie ze wzorami podanymi w pracy [2].

2. PROGRAMY KOMPUTEROWE PW2.FOR, PW3.FOR I PW4.FOR

Algorytm programu PW2.FOR umożliwia analizę historii fotonu w granicach fizycznych rozpatrywanego ośrodka materialnego złożonego z dwóch podobszarów warstw jednorodnych. Ze względu na trudności uwzględnienia i precyzyjnego opisu wszystkich możliwych typów historii algorytm programu przewiduje możliwość przerywania analizy historii i zaliczenia fotonu uczestniczącego w tej historii do grupy fotonów pominiętych. Dla wariantów zrealizowanych za pomocą programu PW2.FOR otrzymano udziały fotonów pominiętych dochodzące do ok. 2,5% ogólnej liczby fotonów analizowanych. Należy oczekiwać, że w przypadku ośrodków złożonych z trzech lub więcej warstw jednorodnych, ze względu na zwiększone trudności opisu możliwych typów trajektorii, udziały fotonów pominiętych będą się zwiększać. Warianty zbadane w pracy [2] za pomocą programu PW1.FOR dla osłon jednowarstwowych charakteryzują się zerowymi udziałami fotonów pominiętych.

Wymienione uwagi krytyczne związane z algorytmem programu PW2.FOR skłoniły do opracowania koncepcji programu dla osłony wielowarstwowej będącego odpowiednim połączeniem programów dla osłony jednowarstwowej. Nie wnikając w szczegóły można przyjąć, że w strukturze programu dla osłony n -warstwowej sekwencja instrukcji dotycząca osłony jednowarstwowej wystąpi w charakterze n -krotnie powtórnego elementu. Zgodnie z opracowaną koncepcją zostały przygotowane programy PW3.FOR i PW4.FOR.

W programie PW3.FOR (jak również w programie PW4.FOR) przyjęto zasadę autonomicznego analizowania historii fotonu w granicach fizycznych ośrodka materialnego należącego do każdej warstwy. W strukturze programu PW3.FOR można wyróżnić sekwencję dotyczącą warstwy pierwszej (warstwa, do której wpływa promieniowanie pierwotne) oraz sekwencję dotyczącą warstwy drugiej. Foton może opuścić warstwę wchodząc do zbioru fotonów odbitych lub do zbioru fotonów przestrzeliwujących warstwę. Fotony odbite z warstwy pierwszej określają albedo osłony dwuwarstwowej. Fotony przestrze-

liwujące warstwę pierwszą oraz odbite z warstwy drugiej można interpretować odpowiednio jako fotony źródłowe warstwy drugiej lub pierwszej. Zbiór fotonów przenikających osłonę dwuwarstwową stanowią fotony przestrzelające warstwę drugą.

3. WYNIKI OBLICZEŃ I UWAGI KOŃCOWE

Wyniki obliczeń programem PW3.FOR dla 8 wariantów osłony dwuwarstwowej zostały zebrane w tablicy 1. Wszystkie warianty z tablicy 1 dotyczyły osłony o grubości optycznej równej 2 długościom relaksacji. Przed realizacją wariantów wymienionych w tablicy 1 wykonano obliczenia testujące dla 4 wariantów. W każdym z wariantów testujących przyjęto, że osłona składa się z dwóch warstw wykonanych z tego samego materiału. Tak interpretowana osłona dwuwarstwowa jest w rzeczywistości osłoną jednowarstwową o grubości równej sumie grubości poszczególnych warstw. Dla wariantów testujących uzyskano wyniki dobrze zgodne z odpowiednimi wynikami podanymi w pracy [2].

W tablicy 2 podane zostały wyniki obliczeń dla 2 wariantów osłony trzywarstwowej, z których każda posiadała grubość optyczną równą 3 długościom relaksacji.

Podobnie jak w przypadku programu PW1.FOR w wariantach realizowanych za pomocą programów PW3.FOR i PW4.FOR uzyskano zerowe udziały fotonów pominiętych.

W przypadku wariantów osłony wymienionych w tablicy 1 dostępne dane literaturowe [3] umożliwiły porównanie wyników dotyczących jedynie dawkowego współczynnika narostu. Dla wszystkich 8 wariantów z tablicy 1 błędy względne są mniejsze od 5%. Brak dostępnych danych literaturowych dotyczących współczynników narostu dla osłon trzywarstwowych uniemożliwia porównanie wyników dla wariantów zestawionych w tablicy 2.

Obliczenia współczynników narostu wykonane dla osłon jednowarstwowych i dwuwarstwowych stanowią dobrą weryfikację zastosowanego modelu matematycznego i algorytmów wykorzystanych w programach numerycznych. Należy oczekiwać, że opracowany model matematyczny oraz zaproponowana metodyka przygotowania programów komputerowych mogą być z powodzeniem stosowane do szacowania współczynników narostu dla osłon wielowarstwowych.

Tablica 1

Warianty wykonanych obliczeń – Program PW3.FOR

Lp.	Określenie wariantu	Warianty							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	Materiały warstw	H ₂ O + Pb	H ₂ O + Pb	H ₂ O + Pb	H ₂ O + Pb	Pb + H ₂ O	Pb + H ₂ O	Pb + H ₂ O	Pb + H ₂ O
2	Gęstości materiałów warstw, g/cm ³	1,0 + 11,3	1,0 + 11,3	1,0 + 11,3	1,0 + 11,3	11,3 + 1,0	11,3 + 1,0	11,3 + 1,0	11,3 + 1,0
3	Energia fotonów padających, MeV	1,0	3,0	6,0	10,0	1,0	3,0	6,0	10,0
4	Grubości warstw: optyczne geometryczne, cm	1,0 + 1,0 14,17 + 1,29	1,0 + 1,0 25,25 + 2,10	1,0 + 1,0 36,34 + 2,03	1,0 + 1,0 45,73 + 1,81	1,0 + 1,0 1,29 + 14,17	1,0 + 1,0 2,10 + 25,25	1,0 + 1,0 2,03 + 36,34	1,0 + 1,0 1,81 + 45,73
5	Liczba analizowanych historii	26 000	26 000	26 000	26 000	26 000	26 000	26 000	26 000
6	Procent fotonów zawróconych	6,57	13,40	16,01	16,60	4,13	8,49	9,67	8,81
7	Prawdopodobieństwo niepochłonięcia fotonu padającego	<u>0,1383</u> 0,1353	<u>0,1365</u> 0,1353	<u>0,1340</u> 0,1353	<u>0,1343</u> 0,1353	<u>0,1343</u> 0,1353	<u>0,1313</u> 0,1353	<u>0,1362</u> 0,1353	<u>0,1378</u> 0,1353
8	Liczbowy współczynnik narostu	1,7812	1,9969	1,9159	1,7701	2,7334	2,6773	2,1903	1,8420
9	Współczynnik narostu energii	1,7227	1,6730	1,5096	1,3636	2,2525	1,8017	1,4752	1,2954
10	Dawkowy współczynnik narostu	<u>1,7465</u> 1,70	<u>1,7847</u> 1,73	<u>1,6220</u> 1,56	<u>1,4498</u> 1,39	<u>2,2864</u> 2,33	<u>1,9558</u> 1,97	<u>1,5943</u> 1,61	<u>1,3687</u> 1,42

Uwagi do tablicy 1:

1. W przypadku wierszy 7 i 10 licznik oznacza wartość obliczoną według programu PW3.FOR, natomiast mianownik oznacza wartość teoretyczną (wiersz 7) lub podaną w literaturze [3]. Odpowiednich danych dla liczbowego współczynnika narostu oraz dla współczynnika narostu energii w literaturze nie znaleziono.
2. Dane dotyczące warstw podawane są w kolejności: warstwa 1 (od strony padania promieniowania), warstwa 2.

Tablica 2

Warianty wykonanych obliczeń – Program PW4.FOR

Lp.	Określenie wariantu	Wariant 1	Wariant 2
1	Materiały warstw	Pb + H ₂ O + Pb	H ₂ O + Pb + H ₂ O
2	Gęstości materiałów warstw, g/cm ³	11,3 + 1,00 + 11,3	1,00 + 11,3 + 1,00
3	Energia fotonów padających, MeV	3,0	3,0
4	Grubości warstw: optyczne geometryczne, cm	1,0 + 1,0 + 1,0 2,1 + 25,25 + 2,10	1,0 + 1,0 + 1,0 25,25 + 2,10 + 25,25
5	Liczba analizowanych historii	30 000	30 000
6	Procent fotonów zwróconych	8,6	18,9
7	Prawdopodobieństwo niepochłonięcia fotonu padającego	<u>0,0497</u> 0,0498	<u>0,0516</u> 0,0498
8	Liczbowy współczynnik narostu	2,4933	3,4674
9	Współczynnik narostu energii	2,0185	2,2065
10	Dawkowy współczynnik narostu	2,1818	2,4348

Uwagi do tablicy 2:

1. W wierszu 7 licznik oznacza wartość obliczoną wg programu PW4.FOR, natomiast mianownik oznacza wartość teoretyczną. W literaturze nie znaleziono danych dotyczących wartości współczynników narostu dla osłon trzywarstwowych.
2. Dane dotyczące warstw podawane są w kolejności: warstwa 1 (od strony padania promieniowania), warstwa 2, warstwa 3.

LITERATURA

- [1] Łukaszek W.: Zasada wzajemności przenikania promieniowania jądrowego przez ośrodki warstwowe, ZN Pol. Śl., Energetyka z. 114, Gliwice 1993.
- [2] Łukaszek W.: Wyznaczanie współczynników narostu promieniowania gamma metodą Monte Carlo, ZN Pol. Śl., Energetyka z. 117, Gliwice 1993.
- [3] Harima Y., Nishiwaki Y.: An Approximate Transmission Dose Buildup Factor for Stratified Slabs, Journal of Nuclear Science and Technology, Vol. 6, December 1969, p. 711–714.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Andrzej Zastawny

Wpłynęło do Redakcji: 28. 01. 1995 r.

Abstract

The mathematical model described in paper [1] can be used for estimation the values of transmission buildup factors for stratified shields in plane geometry with assumption that the slabs have the terminate thicknesses and infinite cross sections.

In paper [2] has been elaborated a mathematical model for estimation the values of transmission buildup factors for stratified shields (determined in paper [1]) by help of computations performed for the slabs having a finite cross section.

According to mathematical model described in paper [2] have been performed the following computations of transmission buildup factors:

- a) in paper [2] for stratified shields composed of one slab (computer program PW1.FOR),
- b) in present paper for stratified shields composed of two slabs (computer program PW3.FOR) or composed of three slabs (computer program PW4.FOR).

In the quality of numerical method the Monte Carlo method has been applied.

The two autonomous sequences of statements are included in computer program PW3.FOR. The sequences describe the behavior of fotons in the first or in the second slab. The foton present in the first slabe (neglecting the absorbtion) ca be reflected or can be transmited (scattered) in the second slab. The foton present in the second slab can be returned in the first slab or can penetrate through the shield. In the computer program PW4.FOR exist three autonomous sequences of statements (for the first, second and third slab).

The computational results according to the computer programs PW3.FOR and PW4.FOR are given in the tables 1 and 2. The informations accessible from professional literature afforded only a comparison of results with the values of dose buildup factors for stratified shields composed of two salbs. The deviations from the results given in [3] are less than 5%.

The method for estimation the values of transmission buildup factors, described in present paper, can be easily adopted for stratified shields composed of four or more slabs.