ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1981

Seria: ENERGETYKA z. 79 Nr kol. 703

Władysław ŁUKASZEK, Stanisław KUCYPERA

# ZASTOSOWANIE METODY PÓŁANALITYCZNEJ DO OBLICZANIA GRUBOŚCI OSŁON BIOLOGICZNYCH REAKTORÓW JĄDROWYCH

## CZEŚĆ II. OSŁABIENIE PROMIENIOWANIA GAMMA. PRZYKŁAD OBLICZENIA GRUBOŚCI OSŁONY

Streszczenie. Wykorzystując założenia i wyniki pracy [1], zastosowano metodę półanalityczną do obliczania osłabienia promieniowania gamma i wyznaczenia grubości osłony biologicznej reaktora. Podano krótki opis programu dla m.c. i wyniki wykonanych obliczeń przykładowych.

## WYKAZ WAŻNIEJSZYCH OZNACZEŃ

### Litery łacińskie

A - parametr wzoru J.J. Taylora,

B - dawkowy współczynnik narostu,

E - energia, MeV,

h - przyrost grubości osłony, cm,

m - parametr funkcji FW,

M - moc cieplna, W,

N - rozkład J.W. Motza, fotonów (MeV) rozszczepienie,

P - moc dawki, mrem/h,

s - umowna wydajność źródeł promieniowania gamma, $\frac{1}{cm^3 s} / \frac{1}{cm^2 s}$,

S - wydajność źródła objętościowa $(\frac{1}{cm^3 s})$ lub powierzchniowa $(\frac{1}{cm^2 s})$,

V - objętość, $cm^3$,

y - współrzędna, cm,

z - współrzędna, cm,

Z - grubość osłony (końcowa), cm.

### Litery greckie

$\alpha$ - parametr wzoru J.J. Taylora,

$\beta$ - parametr wzoru J.J. Taylora,

$\eta$ - wydajność emisji promieniowania przypadająca na jedną reakcję (np. na rozszczepienie, wychwyt, rozpad),

$\varkappa$ - odwrotność długości dyfuzji, $cm^{-1}$,

$\mu$ - współczynnik oddziaływania, $cm^{-1}$,

$\Sigma$ - przekrój makroskopowy, $cm^{-1}$,

$\varphi$ - gęstość strumienia, $\frac{1}{cm^2 s}$.

Symbole mieszane

$\bar{\varphi}_t$ - średnia gęstość strumienia neutronów termicznych w rdzeniu, $\frac{1}{cm^2 s}$,

$(\frac{\mu_a}{\rho})_p$ - masowy współczynnik absorpcji energii dla powietrza, $\frac{cm^2}{g}$.

Indeksy

akt - aktywacja,

M - dotyczy rozkładu J.W. Motza,

p - źródło płaskie,

r - rozpad,

R - usunięcie,

t - neutrony termiczne,

v - dotyczy objętości,

w - wychwyt,

1 - dotyczy rdzenia (z wyłączeniem symboli funkcji $E_1$, $F_1$),

2 - dotyczy reflektora,

3 - dotyczy osłony.

## 1. Wprowadzenie

W pracy [1] zostały wyznaczone rozkłady gęstości strumieni dwóch grup neutronów (prędkiej i termicznej) w przypadku płaskiej geometrii reflektora i osłony. Obliczenie grubości osłony reaktora wymaga uwzględnienia neutronów i promieniowania gamma. Osłabienie promieniowania gamma wyznaczono w niniejszym artykule metodą półanalityczną, dostosowując się do założeń przyjętych w pracy [1] przy obliczaniu osłabienia neutronów.

W obliczeniach osłabienia promieniowania gamma uwzględnia się następujące źródła promieniowania emitowanego z rdzenia reaktora:

- neutrony prędkie i termiczne,

- promieniowanie gamma natychmiastowe, wychwytowe, rozpadowe i krótkożyciowych produktów rozszczepienia U-235 (lub Pu-239).

W reflektorze i w osłonie uwzględnia się źródła wychwytowego i rozpadowego promieniowania gamma.

Emitowane promieniowanie gamma zebrano w 7 grup energii. Przedziały grupowe i energie grupowe dla promieniowania gamma podane są w tablicy 1.

Tablica 1

Grupy energii promieniowania gamma

| Numer grupy | Przedział energii, MeV | Energia fotonów grupy, MeV |
|---|---|---|
| 1 | < 1,0 | 0,5 |
| 2 | 1,0-2,0 | 1,5 |
| 3 | 2,0-3,0 | 2,5 |
| 4 | 3,0-5,0 | 4,0 |
| 5 | 5,0-7,0 | 6,0 |
| 6 | 7,0-9,0 | 8,0 |
| 7 | > 9,0 | 10,0 |

Program obliczenia grubości osłony reaktora przewiduje wyznaczenie gęstości strumieni i mocy dawek dla neutronów oraz mocy dawek dla 7 grup promieniowania gamma. Całkowita moc dawki wszystkich grup i rodzajów promieniowania jest podstawą do obliczenia grubości osłony.

## 2. Promieniowanie gamma

W przypadku źródeł promieniowania gamma przyjęty został następujący schemat obliczeń mocy dawki w zakresie każdej grupy energii:

- wyznaczenie umownych wydajności źródeł promieniowania gamma, $\frac{1}{cm^3 s} \Big/ \frac{1}{cm^2 s}$,
- wyznaczenie wydajności zastępczego źródła płaskiego, $\frac{1}{cm^2 s}$,
- obliczenie mocy dawki z uwzględnieniem współczynnika narostu w postaci J.J. Taylora zastosowanego dla osłony warstwowej zgodnie ze wzorem D.L. Brodera, $\frac{mrem}{h}$.

Umowną wydajność źródła promieniowania gamma można zdefiniować za pomocą wydajności objętościowej przypadającej na jednostkową gęstość strumienia neutronów termicznych generujących promieniowanie gamma rozpatrywanego źródła.

Opisany poniżej przebieg wyznaczenia mocy dawki promieniowania gamma odnosi się do jednej grupy energii i w przypadku obliczenia całkowitej mocy dawki musi być zrealizowany siedmiokrotnie.

Fotonom należącym do wybranej grupy przyporządkowuje się energię zgodnie z tablicą 1.

## 2.1. Promieniowanie gamma z rdzenia

Umowną (grupową) wydajność źródeł promieniowania gamma występujących w rdzeniu można określić za pomocą sumy złożonej z trzech wyrazów

$$s_1 = s_{W,1} + s_{r,1} + s_{M,1}.$$

Wyraz $s_{W,1}$ dotyczy promieniowania wychwytowego powstającego w materiałach występujących w rdzeniu, wyłączając U-235 (lub P-239). Wyraz $s_{r,1}$ dotyczy promieniowania rozpadowego emitowanego przez materiały rdzenia w konsekwencji reakcji aktywacji. Z obliczeń otrzymujemy odpowiednio

$$s_{W,1} = \sum_{(k)} (\Sigma_w \eta_w)_k, \tag{1}$$

$$s_{r,1} = \sum_{(k)} (\Sigma_{akt} \eta_{akt})_k. \tag{2}$$

Wyraz $s_{M,1}$ dotyczy U-235 (lub Pu-239) i uwzględnia:
- promieniowanie natychmiastowe,
- promieniowanie krótkożyciowych produktów rozszczepienia,
- promieniowanie wychwytowe.

Widmo wymienionych trzech źródeł promieniowania gamma opisuje wzór J. W. Motza ([2], s.31)

$$N(E) = 18,5\ e^{-1,24E}. \tag{3}$$

Wydajność grupową (przypadającą na rozszczepienie) można obliczyć wg wzoru

$$\eta_M = \int_{(E_j)} N(E)dE,$$

gdzie symbol $(E_j)$ oznacza przedział energii dla j-tej grupy (j=1,2,...,7). Znając wartości $\eta_M$ otrzymujemy

$$s_{M,1} = \eta_M \frac{3,1 \cdot 10^{10} M}{V\bar{\varphi}_t}. \tag{4}$$

Wydajność objętościową źródeł promieniowania gamma w rdzeniu wyraża związek

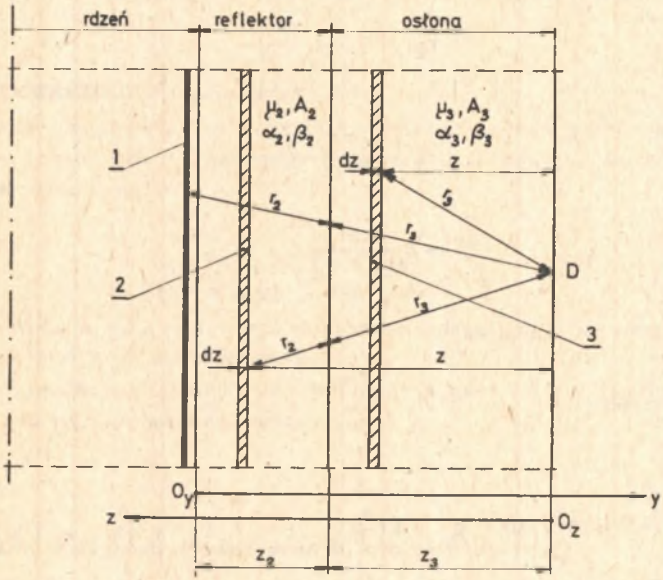
$$s_{v,1} = s_1 \varphi_t,$$

skąd wynika wydajność zastępczego źródła płaskiego ulokowanego na powierzchni rdzenia

$$S_{p,1} = \frac{S_{v,1}}{\mu_1}. \tag{5}$$

Moc dawki promieniowania gamma emitowanego przez zastępcze źródło płaskie (rys. 1) w odległości $z = z_2 + z_3$ (tj. na powierzchni zewnętrznej osłony) może być obliczona wg wzoru

$$P_1(z) = 6{,}57 \cdot 10^{-2}\, E\left(\frac{\mu_a}{\rho}\right)_p \int_z^{\infty} \frac{2\pi R\, dR\, S_{p1}}{4\pi R^2}\, e^{-(\mu_2 r_2 + \mu_3 r_3)} B, \tag{6}$$




Rys. 1. Ilustracja źródeł wykorzystywanych w obliczeniach.

1 - zastępcze źródła płaskie neutronów prędkich i promieniowania gamma rdzenia o wydajnościach równych odpowiednio $S_{p,f,1}$ i $S_{p,1}$, 2 - elementarne źródło płaskie promieniowania gamma o wydajności $dS_{p,2}(y)$ w reflektorze, 3 - elementarne źródło płaskie promieniowania gamma o wydajności $dS_{p,3}(y)$ w osłonie.

Punkt obliczenia mocy dawki na zewnętrznej powierzchni osłony oznaczono literą D

gdzie:

$$R = r_2 + r_3.$$

Zgodnie ze wzorem D.L. Brodera

$$B = B_2(\mu_2 r_2) + B_3(\mu_2 r_2 + \mu_3 r_3) - B_3(\mu_2 r_2). \tag{7}$$

Poszczególne człony wzoru (7) można rozpisać, dostosowując odpowiednio ogólną postać dawkowego współczynnika narostu J.J. Taylora dla materiałów reflektora (i = 2) i osłony (i = 3)

$$B_i(\mu_r) = A_i e^{\alpha_i \mu r} + (1 - A_i) e^{-\beta_i \mu r}. \tag{8}$$

Jeżeli wzory (7) i (8) wprowadzi się pod znak całki z zależności (6) oraz wykorzysta się związki

$$r_2 = z_2 \frac{R}{z_2 + z_3},$$

$$r_3 = z_3 \frac{R}{z_2 + z_3},$$

$$\int_{z=z_2+z_3}^{\infty} \frac{e^{-\delta \frac{R}{z_2 + z_3}}}{R} dR = E_1(\delta),$$

wówczas otrzymujemy

$$P_1(z) = 3{,}285 \cdot 10^{-2} S_{p,1} E\left(\frac{\mu_a}{\rho}\right)_p \cdot \Big[A_2 E_1(y_1 + (1 - A_2) E_1(y_2) +$$

$$A_3 E_1(y_3) + (1 - A_3) E_1(y_4) + A_3 E_1(y_5) - (1 - A_3) E_1(y_6)\Big]. \tag{9}$$

gdzie:

$$\left.\begin{aligned}
y_1 &= (1-\alpha_2)\mu_2 z - \left[(1-\alpha_2)\mu_2 - \mu_3\right]z_3,\\
y_2 &= (1+\beta_2)\mu_2 z - \left[(1+\beta_2)\mu_2 - \mu_3\right]z_3,\\
y_3 &= (1-\alpha_3)\mu_2 z - (1-\alpha_3)(\mu_2-\mu_3)z_3,\\
y_4 &= (1+\beta_3)\mu_2 z - (1+\beta_3)(\mu_2-\mu_3)z_3,\\
y_5 &= (1-\alpha_3)\mu_2 z - \left[(1-\alpha_3)\mu_2 - \mu_3\right]z_3,\\
y_6 &= (1+\beta_3)\mu_2 z - \left[(1+\beta_3)\mu_2 - \mu_3\right]z_3.
\end{aligned}\right\} \tag{10}$$

Symbolem $E_1$ została oznaczona funkcja specjalna znana w literaturze ([3], s. 703) pod nazwą "wykładnicza funkcja całkowa pierwszego stopnia".

Wyrażenia $y_i$ $(i = 1,2,\ldots,6)$ mogą być zapisane w krótszej bardziej zwięzłej postaci. Przyjęta forma zapisu jest dogodna dla dalszych zastosowań.

## 2.2. Promieniowanie gamma z reflektora

W reflektorze uwzględnia się źródła promieniowania gamma generowane przez neutrony termiczne w reakcjach wychwytu i aktywacji. Umowną wydajność źródeł określa suma

$$s_2' = s_{w,2} + s_{r,2},$$

gdzie poszczególne wyrazy mogą być obliczane odpowiednio wg wzorów (1) i (2) zastosowanych dla składników reflektora.

Wydajność objętościowa źródeł promieniowania gamma w reflektorze zależy od wyboru punktu i wyraża się związkiem

$$S_{v,2}(y) = s_2\varphi_t(y),$$

z którego wynika wydajność elementarnego źródła płaskiego

$$dS_{p,2}(y) = s_2\varphi_t(y)dy. \tag{11}$$

Moc dawki na zewnętrznej powierzchni osłony, uwarunkowaną elementarnym źródłem płaskim o wydajności (11) wybranym w punkcie z $(z_3 < z < z_2 + z_3)$, można formalnie wyrazić za pomocą zależności

$$dP_2(z) = \frac{P_1(z)}{S_{p,1}}\, dS_{p,2}(y), \tag{12}$$

gdzie czynnik $P_1(z)/S_{p,1}$ wynika ze wzoru (6). Pomiędzy współrzędnymi y i z zachodzi związek

$$y + z = z_2 + z_3.$$

Wzór

$$P_2 = \int_{z_3}^{z_2+z_3} \frac{P_1(z)}{S_{p,1}} dS_{p,2}(z_2 + z_3 - z), \tag{13}$$

określa moc dawki na zewnętrznej powierzchni osłony o grubości $z_3$ uwarunkowaną promieniowaniem gamma generowanym w obszarze reflektora.

Całka (13) może być obliczana jako suma 18 całek o podobnej postaci. Dowolna z całek (pomijając stałe współczynniki) jest określona funkcją

$$FW(m,p,q,z_a,z_b) = \int_{z_a}^{z_b} e^{mz} E_1(pz + q)dz \tag{14}$$

z odpowiednio dobranymi parametrami m, p, q, $z_a$, $z_b$.

Funkcję FW wyrazić można za pomocą funkcji specjalnej ([4], s.261)

$$F_1(u,v) = \int_0^u e^{vt} E_1(t)dt. \tag{15}$$

Stosując podstawienie

$$pz + q = t$$

otrzymujemy

$$FW(m,p,q,z_a,z_b) = \frac{1}{p} e^{-m\frac{q}{p}} \left[F_1(pz_b + q, \frac{m}{p}) - F_1(pz_a + q, \frac{m}{p})\right]. \tag{16}$$

Wykorzystując funkcję FW oraz rozkład gęstości strumienia neutronów termicznych w reflektorze [1]

$$\varphi_t(y) = ae^{-\varkappa_2(z_2+z_3-z)} + be^{\varkappa_2(z_2+z_3-z)} + c_2 e^{-\Sigma_{R,2}(z_2+z_3-z)},$$

można zapisać wzór (13) w postaci

$$P_2 = 3{,}285 \cdot 10^{-2}\, s_2 E\left(\frac{\mu_a}{\rho}\right)_p \Big[ a e^{-\varkappa_2(z_2+z_3)}\, U(\varkappa_2) +$$

$$+ b e^{\varkappa_2(z_2+z_3)}\, U(-\varkappa_2) + c_2 e^{-\Sigma_{R,2}(z_2+z_3)}\, U(\Sigma_{R,2})\Big], \tag{17}$$

gdzie:

$$U(x) = A_2 FW\Big\{x,\ (1-\alpha_2)\mu_2,\ -\big[(1-\alpha_2)\mu_2 - \mu_3\big]z_3,\ z_3,\ z_2+z_3\Big\} +$$

$$+ (1-A_2)\, FW\Big\{x,\ (1+\beta_2)\mu_2,\ -\big[(1+\beta_2)\mu_2 - \mu_3\big]z_3,\ z_3,\ z_2+z_3\Big\} +$$

$$+ A_3\, FW\Big\{x,\ (1-\alpha_3)\mu_2,\ -(1-\alpha_3)(\mu_2-\mu_3)\, z_3,\ z_3,\ z_2+z_3\Big\} +$$

$$+ (1-A_3)\, FW\Big\{x,\ (1+\beta_3)\mu_2,\ -(1+\beta_3)(\mu_2-\mu_3)z_3,\ z_3,\ z_2+z_3\Big\} +$$

$$- A_3\, FW\Big\{x,\ (1-\alpha_3)\mu_2,\ -\big[(1-\alpha_3)\mu_2 - \mu_3\big]z_3,\ z_3,\ z_2+z_3\Big\} +$$

$$- (1-A_3)\, FW\Big\{x,\ (1+\beta_3)\mu_2,\ -\big[(1+\beta_3)\mu_2 - \mu_3\big]z_3,\ z_3,\ z_2+z_3\Big\}. \tag{18}$$

## 2.3. Promieniowanie gamma z osłony

W osłonie, podobnie jak w reflektorze, uwzględnia się źródła wychwytowego i rozpadowego promieniowania gamma. Z wymienionymi źródłami są związane odpowiednie umowne wydajności $s_{w,3}$ i $s_{r,3}$. Wydajność elementarnego płaskiego źródła promieniowania gamma w osłonie określa związek

$$dS_{p,3}(y) = s_3 \varphi_t(y)dy, \tag{19}$$

gdzie:

$$s_3 = s_{w,3} + s_{r,3}.$$

Moc dawki na zewnętrznej powierzchni osłony, uwarunkowaną elementarnym źródłem płaskim o wydajności (19) wybranym w punkcie $z$ $(0<z<z_3)$, określa wyrażenie

$$dP_3(z) = 3{,}285 \cdot 10^{-2}\, dS_{p,3}(z_2+z_3-z)E\left(\frac{\mu_a}{\rho}\right)_p \cdot$$

$$\cdot \Big\{A_3 E_1\big[(1-\alpha_3)\mu_3 z + (1-A_3)E_1\big[(1+\beta_3)\mu_3\, z\big]\Big\}. \tag{20}$$

Dla gęstości strumienia neutronów termicznych w osłonie [1]

$$\varphi_t(y) = ce^{-\varkappa_3(z_2+z_3-z)} + c_3e^{-\Sigma_{R,3}(z_2+z_3-z)}$$

(określonej przy uwzględnieniu czwartego z warunków brzegowych) otrzymujemy po scałkowaniu (20) w granicach $(0,z_3)$ następujący wzór na moc dawki promieniowania gamma z całej osłony

$$P_3 = 3{,}285 \cdot 10^{-2} s_3 E\left(\frac{\mu_e}{\rho}\right)_p \left[ce^{-\varkappa_3(z_2+z_3)} V(\varkappa_3) + c_3e^{-\Sigma_{R,3}(z_2+z_3)} V(\Sigma_{R,3})\right], \tag{21}$$

gdzie:

$$V(x) = A_3 FW\left[x,(1-\alpha_3)\mu_3,0,0,z_3\right] + (1-A_3)FW\left[x,(1+\beta_3)\mu_3,0,0,z_3\right]. \tag{22}$$

## 3. Program obliczeń

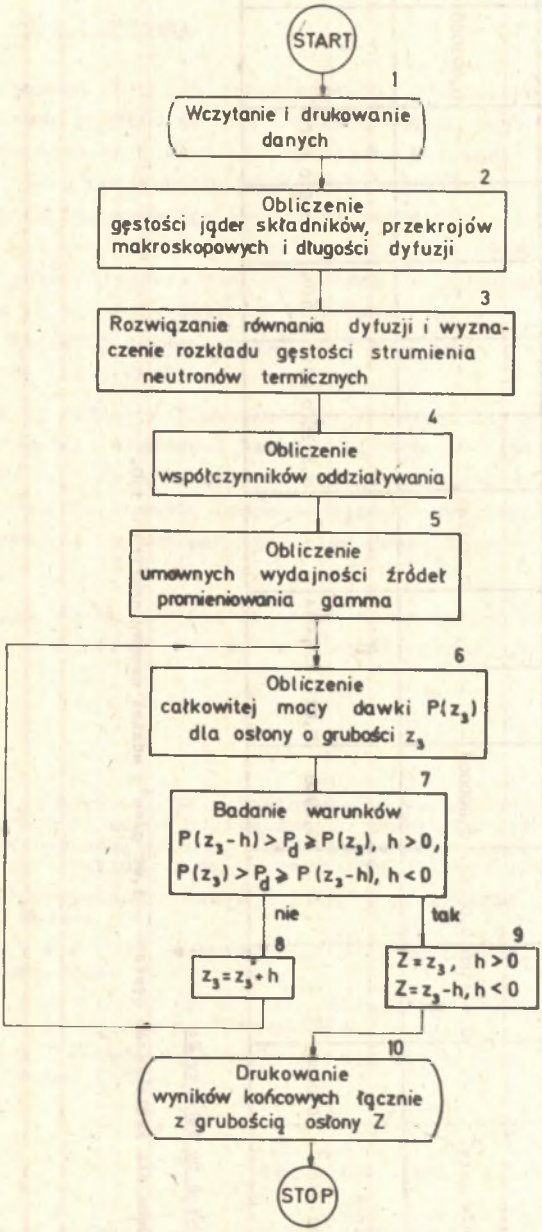
Program obliczania grubości osłony biologicznej reaktora wykorzystujący opracowane wzory został napisany w języku ALGOL 1204. Uproszczony schemat blokowy programu jest pokazany na rysunku 2. Obliczenia przykładowe wykonano dla reaktora o mocy cieplnej równej 4 MW, z rdzeniem sześciennym o krawędzi 730 cm, posiadającego reflektor grafitowy o grubości 61 cm i osłonę z betonu zwyczajnego. Przyjęte gęstości średnie i udziały wagowe składników dla rdzenia, reflektora i osłony podane są w tablicy 2. Maksymalną (dopuszczalną) moc dawki na zewnętrznej powierzchni osłony założono równą 7,5 $\frac{\text{mrem}}{\text{h}}$.

Dla przyjętej, startowej grubości osłony $z_3$, program oblicza całkowitą moc dawki określoną wzorami (6) i (12) z pozycji [1] oraz wzorami (9), (17) i (21) podanymi w niniejszym artykule, rozciągając sumowanie na wszystkie grupy promieniowania gamma. Wartość całkowitej mocy dawki jest porównywana z mocą dawki maksymalnej $P_d$. W zależności od wyniku porównania grubość osłony jest zwiększana lub zmniejszana o pewien przyjęty krok h. Jeżeli dla $h>0$ (po wykonaniu pewnej liczby kroków) znane będą dwie grubości osłony $z_3-h$ oraz $z_3$, dla których odpowiadające moce dawek spełniają warunek

$$P(z_3-h) > P_d \geqslant P(z_3),$$

wówczas przyjmuje się grubość osłony $Z = z_3$ i następuje zakończenie obliczeń.

Stosunkowo trudne i wymagające przeszukania wielu pozycji literaturowych okazało się zadanie skompletowania danych niezbędnych do wykonania obliczeń.




Rys. 2. Uproszczony schemat blokowy programu obliczeń

Tablica 2

Gęstości średnie i udziały wagowe składników rdzenia, reflektora i osłony

| Składnik | H | C | N | O | Na | Mg | Al | Si | S | K | Ca | Fe | U-235 | U-238 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Rdzeń 1,824 g/cm$^3$ | - | 0,844180 | 0,000014 | 0,000004 | - | - | 0,003240 | - | - | - | - | - | 0,001060 | 0,151510 |
| Osłona 2,32 g/cm$^3$ | 0,0056 | - | - | 0,4950 | 0,0171 | 0,0024 | - | 0,3135 | 0,0012 | 0,0192 | 0,0826 | 0,0122 | - | - |

Uwaga do tablicy 2:

Dane dla reflektora: gęstość - 1,62 g/cm$^3$, udział wagowy grafitu - 1,0.

Do opracowanego programu włączono również procedury, realizujące obliczenia wartości funkcji specjalnych $E_1$ i $F_1$.

## 4. Wyniki obliczeń i wnioski

Zgodnie z tematem obliczeń przykładowych, sformułowanym w punkcie 3, została wyznaczona grubość osłony z betonu zwyczajnego równa 218 cm, odpowiadająca całkowitej mocy dawki 7,19 mrem/h. Moc dawki promieniowania gamma stanowi ok. 94,3% całkowitej obliczonej mocy dawki i w ok. 96,7% jest uwarunkowane promieniowanie gamma źródeł osłony.

Czas pracy maszyny cyfrowej zależy od przyjętej startowej grubości osłony i w skrajnym przypadku nie przekracza ok. 10 minut.

W programie obliczeń zostały wykorzystane dostępne dane dotyczące reaktora X-10. Ze względów porównawczych pożyteczne są następujące informacje dotyczące reaktora X-10:

1. Materiałowi osłony o grubości 230 cm (wykonanej z dwóch rodzajów betonu) można przypisać własności betonu zwyczajnego ([5], s. 115).
2. Moc dawki zmierzona na zewnętrznej powierzchni osłony, w miejscach oddalonych od wylotów kanałów (odpowiadająca mocy cieplnej reaktora równej 4 MW), określona była promieniowaniem gamma i wynosiła ok. 2 mrem/h ([5], s. 308).

Ekstrapolując liniowo wyniki obliczeń można stwierdzić, że całkowitej mocy dawki równej 2 mrem/h odpowiada grubość osłony równa 228,8 cm.

## LITERATURA

[1] Łukaszek Wł., Kucypera St.: Zastosowanie metody półanalitycznej do obliczania grubości osłon biologicznych reaktorów jądrowych. Część I. Podstawy metody półanalitycznej. Osłabienie neutronów. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Energetyka z. 79, Gliwice 1981.

[2] Blizard E.P.: Biologiczeskaja zaszczita rieaktorow. (Tłum. z jęz.ang.), Atomizdat, Moskwa 1963.

[3] Glastone S.: Podstawy techniki reaktorów jądrowych. (Tłum.z jęz.ang.), PWN, Warszawa 1958.

[4] Rockwell T.: Zaszczita jadiernych rieaktorow. (Tłum. z jęz. ang.), Izd. Innostrannoj Litieratury, Moskwa 1958.

[5] Stephenson R.: Wwiedienije w jadiernuju tiechniku. (Tłum. z jęz.ang.), Gosizdat, Moskwa 1956.

Recenzent: Doc. dr hab. Józef SZPILECKI

Praca wpłynęła do Redakcji w dniu 9 września 1980 r.

ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛУАНАЛИЧЕСКОГО МЕТОДА ДЛЯ РАСЧЕТА ТОЛЩИНЫ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ

II часть. Ослабление гамма - излучения.
Пример расчёта толщины защиты

Р е з ю м е

Используя исходные данные и результаты статьи (1) применяется полуаналитический метод для расчёта ослабления гамма-излучения и определения толщины биологической защиты ядерного реактора. Приводится короткое описание программы для цифровой машины и результаты примерных расчётов.

THE APPLICATION OF SEMIANALITIC METHOD FOR CALCULATING THE THICKNESS OF BIOLOGICAL SHIELDS OF NUCLEAR REACTORS

Part II. Attenuation of gamma rays.
An example of shield's thickness calculation

S u m m a r y

Using the assumptions and the results of the semianalytic method given in the work [1], the thickness of biological shield of nuclear reactor's calculations is described. A short description of the computer programme and some obtained results have been given.