

TECHNIKA JĄDROWA	NORMA BRANŻOWA	<b>BN-79</b>
	Urządzenia elektroniczne dla techniki jądrowej <b>Detektory promieniowania dla oprzyrządowania i zabezpieczenia reaktorów</b>	<b>3412-01</b>
	Charakterystyki i metody badań Wytyczne przedmiotowe	Grupa katalogowa <del>KIX-77</del>

1872

## PRZEDMOWA

Norma jest tłumaczeniem Publikacji 515 IEC, w którym zachowano układ, numerację i sposoby formułowania tekstu normy według oryginału. Tylko w przypadkach niezbędnych dokonano drobnych adaptacji do warunków polskich, nie naruszając jednak nigdzie zasady pełnej, merytorycznej zgodności między postanowieniami obu dokumentów.

## ROZDZIAŁ PIERWSZY — WSTĘP

**1. Przedmiot normy i zakres stosowania.** Norma ustala wytyczne przedmiotowe opracowywania norm w zakresie parametrów (charakterystyk) i metod badań gazowych detektorów promieniowania używanych do kontroli i zabezpieczeń reaktorów jądrowych. Detektory te pracują jako przetworniki elektryczne i są stosowane głównie w następujących pomiarowo-kontrolnych torach:

- pomiaru mocy i szybkości zmian mocy przez pomiar gęstości strumienia neutronów,
- alarmowych i kontrolno-zabezpieczających,
- pomiarów mocy za pośrednictwem promieniowania gamma,
- mierników okresu i mierników reaktywności.

Detektory objęte niniejszą normą nie służą do pomiarów dozymetrycznych dla celów ochrony personelu.

Jeżeli nie ma sprzeczności z niniejszą normą, to należy przestrzegać zasad<sup>1)</sup> i parametrów<sup>2)</sup> według ogólnych przepisów oprzyrządowania reaktorów jądrowych, oraz zaleceń dotyczących bezpieczeństwa urządzeń elektrycznych, obowiązujących w tym zakresie.

Niniejsza norma dotyczy następujących typów detektorów:

- borowe prądowe komory jonizacyjne,
- rozszczepieniowe komory jonizacyjne, impulsowe lub prądowe,
- komory jonizacyjne na promieniowanie gamma,

<sup>1)</sup> Publikacja 231 IEC.

<sup>2)</sup> Publikacja 232 IEC.

- liczniki proporcjonalne z trójfluorkiem boru,
- liczniki proporcjonalne z twardym pokryciem borowym,
- liczniki proporcjonalne z helem-3.

Powyższy wykaz nie ogranicza możliwości korzystania z niniejszej normy również użytkownikom innych rodzajów detektorów promieniowania stosowanych w instalacjach reaktorowych. Norma w rozdziale na badania dotyczy równocześnie do kabli łączących i złączy, jeśli stanowią one integralną część detektora.

**2. Określenia<sup>3)</sup>**

**2.1. Promieniowanie towarzyszące** — promieniowanie towarzyszące promieniowaniu mierzonemu, które nie jest obiektem pomiaru i którego wpływ na pomiar powinien być wyeliminowany.

**2.2. Czulość (układu pomiarowego)**, dla danej wartości mierzonej wielkości — stosunek przyrostu zmiennej obserwowanej do odpowiedniego przyrostu mierzonej wielkości.

$$S = \frac{\text{zmiana wielkości na wyjściu (odpowiedź detektora)<sup>4)</sup>$$

<sup>3)</sup> Określenia 2.1, 2.2 oraz 2.4 do 2.9 sformułowano na podstawie IEV — publikacja IEC 50 (391) IEV. Pozostałe określenia w IEC są jeszcze w stadium dyskusji i podano je w celu ułatwienia rozumienia niniejszej normy.

<sup>4)</sup> Dla wielu zastosowań, w których detektor ma charakterystykę liniową i zanedbywalny sygnał wyjściowy przy sygnale wejściowym równym zero, czulość

$$S = \frac{\text{wielkość na wyjściu}}{\text{wielkość na wejściu}}$$

Zgłoszona przez Instytut Badań Jądrowych  
Ustanowiona przez Ministra Energetyki i Energii Atomowej  
dnia 21 lutego 1979 r. jako norma obowiązująca od dnia 1 września 1979 r.  
(Dz. Norm. i Miar nr 8/1979 poz. 39)

**2.3. Wrażliwość na promieniowanie towarzyszące ( $S_z$ )**<sup>1)</sup> — wrażliwość detektora na promieniowanie towarzyszące określone jest jako

$$S_z = \frac{\text{zmiana wielkości na wyjściu (odpowiedź detektora)}}{\text{zmiana wielkości na wejściu (promieniowanie towarzyszące)}}$$

jeżeli wszystkie inne wielkości wpływające pozostają stałe. Innymi wielkościami wpływającymi mogą być również: temperatura, ciśnienie, potencjał polaryzacji itp.

Jeżeli praca detektora jest zakłócona przez promieniowanie towarzyszące, to mówi się że detektor jest wrażliwy na to promieniowanie. Promieniowanie towarzyszące jest wielkością wpływającą.

**2.4. Współczynnik kompensacji (skompensowanej komory jonizacyjnej)** — stosunek czułości komory jonizacyjnej skompensowanej na promieniowanie towarzyszące do czułości na to samo promieniowanie towarzyszące, jeżeli komora nie jest skompensowana.

**2.5. Stosunek kompensacji (skompensowanej komory jonizacyjnej)** — odwrotność współczynnika kompensacji, używana jako oznaczenie jakości skompensowanej komory jonizacyjnej.

**2.6. Materiał uczulający (detektora neutronów)** — materiał używany w niektórych detektorach neutronów w postaci np. pokrycia lub gazu, w którym na skutek reakcji jądrowej z neutronami wytwarzane są cząstki bezpośrednio jonizujące.

Uwaga: Słowo „cząstka” użyte jest tu w ogólnym sensie obejmując fragmenty rozszczepienia.

**2.7. Czas wypalania (detektora neutronów)** — strumień neutronów o danym rozkładzie energetycznym, po którym materiał uczulający jest zużyty do takiego poziomu, że parametry detektora przekraczają tolerancję dla określonych zastosowań.

**2.8. Użyteczna trwałość (detektora)** — czas pracy w promieniowaniu i przy warunkach otaczających, mieszczących się w zadanych granicach, po którym parametry detektora przekroczą dopuszczalne tolerancje. Użyteczna trwałość może być wyrażona w wartości strumienia trafiającego na detektor, w liczbie wytworzonych impulsów itp.

**2.9. Gęstość strumienia (cząstek)  $\varphi$**  — wartość przyrostu strumienia  $\Delta\Phi$  w odpowiednio małym przedziale czasu  $\Delta t$  podzielona przez wartość tego przedziału

$$\varphi = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

Uwaga: Gęstość strumienia jest identyczna z iloczynem liczby cząstek w jednostce objętości przez ich średnią prędkość.

**2.10. Niezakłócona gęstość strumienia neutronów** — średnia gęstość strumienia neutronów w miejscu umieszczenia detektora wówczas, gdy detektora tam nie ma.

**2.11. Zakłócona gęstość strumienia neutronów** — średnia gęstość strumienia neutronów w miejscu umieszczenia detektora wówczas, gdy detektor jest zainstalowany w celu przeprowadzenia pomiaru. Wartość ta równa jest stosunkowi sygnału z detektora do jego czułości i w praktyce równa jest wartości średniej gęstości strumienia na powierzchni detektora.

**3. Skala określeń używanych w normie.** Czasowniki stosowane w normie wyrażają następujące formy:

- zobowiązująca — „musi” lub „należy”,
- zalecająca — „powinien”,
- przyzwalająca — „może”.

## ROZDZIAŁ DRUGI — WYMAGANIA OGÓLNE

**4. Uwagi ogólne.** Każdy rodzaj detektora oraz każdy rodzaj aparatury odznacza się swoimi konkretnymi warunkami pracy i zakresem stosowania, jednakże można zdefiniować pewne ogólne zasady, które uzależnione są od takich czynników jak:

- a) istotne parametry każdego typu detektora,
- b) ograniczenie wynikające pośrednio z rodzaju mierzonych wielkości np. aktywacja materiałów przez neutrony,
- c) stosowane urządzenia pomiarowe, których parametry muszą odpowiadać parametrom detektora,
- d) parametry ośrodka otaczającego detektor, a szczególnie ich wpływ na detektor.

Musi być zdefiniowany sposób wykorzystania wytwarzanej jonizacji w reżimie impulsowym, prądowym lub fluktuacyjnym (średnie wartości wariancji prądu).

Jeżeli detektory pracują nie tylko w jednym reżimie, to ich parametry należy podać dla każdego reżimu.

**5. Rodzaje mierzonego promieniowania.** Dwa podstawowe rodzaje mierzonego promieniowania to neutrony i fotony. Są one reprezentowane przez gęstość strumienia neutronów — w pierwszym przypadku oraz przez moc dawki pochłoniętej lub moc dawki ekspozycyjnej — w drugim przypadku.

Każdy detektor jest konstruowany w zasadzie tak, aby mierzył jeden rodzaj promieniowania, jednak prawie zawsze mają na niego wpływ również inne rodzaje promieniowania, występujące w otoczeniu. Oznacza to:

<sup>1)</sup> Indeks  $z$  został wprowadzony w polskim tłumaczeniu dla odróżnienia od symbolu czułości  $S$ .

— nakładanie się tła na pomiar, co pogarsza dokładność oraz ogranicza zakres pomiarowy,

— jeżeli wpływ promieniowania towarzyszącego staje się znaczny, to promieniowanie mierzone może się stać niezauważalne. Szczególnie powyłaczeniowe resztkowe promieniowanie gamma często pogarsza jakość pomiarów neutronów.

Każde promieniowanie w otoczeniu detektora musi być uwzględnione w warunkach stosowania detektora.

Parametry detektora mogą ulec zmianie na skutek aktywacji materiału przez neutrony, na skutek wydzielania się ciepła przy pochłanianiu promieniowania i zachodzących w związku z tym zmian własności materiałów oraz na skutek innych zmian w gazie wypełniającym.

**6. Warunki pracy detektora.** Detektor umieszczony w rdzeniu reaktora lub jego pobliżu musi odpowiadać bardzo ostrym wymaganiom szczególnie odnośnie do użytych materiałów.

Wielkości zmienne, które powodują ograniczenia w stosowaniu detektora, powinny być podane łącznie z ich wartościami granicznymi dla każdego typu detektora. Takimi znaczącymi wielkościami zmiennymi są na ogół gęstość strumienia neutronów oraz jego widmo, temperatura otoczenia, ciśnienie, wilgotność itp.

**7. Warunki pomiaru za pomocą detektora.** Warunki pomiaru są głównie scharakteryzowane przez:

— szeroki zakres pomiaru (często rzędu sześciu do dziesięciu dekad),

— trudne warunki środowiskowe spowodowane dużymi wartościami strumienia neutronów, dużym natężeniem promieniowania towarzyszącego oraz wysokim ciśnieniem i temperaturą,

— aktywację materiałów, powodującą często duże trudności z wymianą detektora, nawet jeżeli reaktor jest wyłączony.

**7.1. Ograniczenia wynikające z detektora.** Dla komory jonizacyjnej górna granica zakresu pomiarowego jest wyznaczona przez rekombinację jonów, która może powodować odchylenie od proporcjonalności między gęstością strumienia neutronów a wielkością sygnału wyjściowego. Ta górna granica zakresu pomiarowego może być określona przez konkretne odchylenie od proporcjonalności dla danego napięcia polaryzacji lub przez wielkość prądu wyjściowego, przy którym uzyskuje się dany stosunek lub różnicę między  $U_{1,1}$  oraz  $U_{0,9}$  (patrz p. 16.4.1).

Dla detektorów impulsowych absolutna górna granica zakresu pomiarowego jest uwarunkowana czasem rozdzielczym detektora i współpracującego układu pomiarowego.

Dolna granica zakresu pomiarowego jest określona przez sygnał wyjściowy występujący przy

danych warunkach otaczających pod nieobecność podstawowego promieniowania jonizującego.

Pożądane jest nie przekraczanie takiej wartości gęstości strumienia neutronów, powyżej której aktywacja materiału spowodowałaby tło promieniowania gamma i beta tak duże, że utrudniałoby to pomiary na niskim poziomie.

Szczególnie ważne jest to w przypadku detektorów o bardzo dużej czułości, stosowanych przy rozruchu reaktora (szczególnie liczniki z trójfluorkiem boru lub pokryciem borowym), gdy aktywacja materiałów mogłaby być przeszkodą w natychmiastowym ponownym ich użyciu.

**7.2. Ograniczenia wynikające z aparatury pomiarowej.** Ograniczenia uwarunkowane aparaturą pomiarową zależą głównie od czasu rozdzielczego, szerokości pasma przenoszenia, poziomu szumów oraz pojemności wejściowej w przypadku pomiarów impulsowych, a dla pomiarów prądowych — od czułości prądowej, dryfu, przesuwania się zera oraz od pojemności wejściowej.

**7.3. Ograniczenia wynikające z otaczającego promieniowania gamma.** Otaczające promieniowanie gamma często narzuca dolną granicę stosowalności detektora. Promieniowanie gamma wywołuje powstawanie szkodliwego prądu w prądowych komorach jonizacyjnych i modyfikuje plato, prowadząc do fałszywych zliczeń w komorach impulsowych. Ograniczenia te można zmniejszyć w prądowych neutronowych komorach jonizacyjnych za pomocą kompensacji, a w impulsowych komorach rozszczepieniowych przez zmniejszenie czasu rozdzielczego komory i wzmacniacza. Można też uzyskać polepszenie przez odpowiednie osłanianie detektora od promieniowania gamma. W szczególnym przypadku borowych prądowych komór jonizacyjnych, dolna granica wynikająca z promieniowania gamma jest dosyć wysoka. Jeżeli komory są komorami skompensowanymi, to dolną granicę praktycznej użyteczności można obliczyć z następującej zależności

$$\varphi_{min} = \frac{f}{e} \cdot \frac{S_r}{S_n} \cdot X$$

w której:

- $\varphi_{min}$  — minimalna gęstość strumienia neutronów mierzalna z wymaganą dokładnością,
- $e$  — maksymalny dopuszczalny stosunek prądu gamma do prądu neutronowego (‰),
- $f$  — współczynnik kompensacji (‰),
- $S_n$  — czułość komory na promieniowanie neutronowe, w amperach na jednostkę gęstości strumienia neutronów ( $A \cdot n^{-1} \cdot cm^2 \cdot s$ ),

$S_7$  — czułość komory na promieniowanie gamma bez kompensacji, w amperach na jednostkę mocy dawki ekspozycyjnej ( $A \cdot A \cdot kg^{-1}$ ),

$X$  — moc dawki ekspozycyjnej ( $A \cdot kg^{-1}$ ).

W niektórych rozwiązaniach konstrukcyjnych współczynnik kompensacji można zmieniać, np. poprzez regulację napięcia kompensacji.

Współczynnik kompensacji może zależeć od natężenia promieniowania gamma i od jego widma energetycznego. Dlatego powinna istnieć możliwość regulacji współczynnika kompensacji odpowiednio do natężenia źródła promieniowania gamma oraz geometrii detektora i źródła.

**8. Złącza i kable** stanowią często integralną część detektora i powinny być tak zaprojektowane, aby nie ograniczać przydatności detektora. Konstrukcja złączy i kabli powinna zapewniać łatwość manipulacji zarówno ręcznej, jak i za pomocą urządzeń załadowniczych bez obawy uszkodzenia ich.

Szczególny nacisk powinien być położony na to, aby zapobiec zakłóceniom elektrycznym, które mogą wpłynąć na pracę układów pomiarowych. Aby zmniejszyć zakłócenia elektryczne może być konieczne elektryczne ekranowanie detektora i stosowanie takiej konstrukcji, aby ekran zewnętrzny był odizolowany od układu pomiarowego i od zewnętrznych konstrukcji mechanicznych<sup>1)</sup>.

Należy zapewnić niezawodność połączeń i pożądane jest wyposażenie złączy w takie urządzenia, które pozwoliłyby na sprawdzenie połączeń w dowolnej chwili. Złącza detektora muszą być oznakowane.

## ROZDZIAŁ TRZECI — PARAMETRY (CHARAKTERYSTYKI)

**9. Uwagi ogólne.** Poniższy wykaz zawiera zestawienie danych, które dla danego detektora, muszą być podane przez producenta (w normie przedmiotowej).

### 9.1. Parametry detektora

**9.1.1. Parametry mechaniczne.** Należy załączyć szkicowy rysunek.

#### Wymiary

- długość,
- średnica,
- ciężar,
- położenie objętości czynnej.

#### Podstawowe materiały

- metale,
- izolatory,
- pokrycie uczulające (rodzaj oraz ilość),
- najważniejsze zanieczyszczenia<sup>2)</sup>.

<sup>1)</sup> Np. wg Publikacji IEC 232 p. 2.3.

<sup>2)</sup> Szczególnie te materiały, które mogą spowodować wzrost pasożytniczego sygnału detektora, aktywność po naświetleniu oraz absorpcję neutronów termicznych.

### Temperatura

- zakres normalnej pracy,
- maksymalna, dopuszczalna wartość.

### Gaz wypełniający

- analiza głównych składników,
- ciśnienie.

### Ciśnienie zewnętrzne

- maksymalna dopuszczalna wartość.

### Udary i wibracje

- wartości graniczne.

### 9.1.2. Parametry elektryczne i jądrowe

#### Rodzaj pracy

#### Napięcie polaryzacji

- znak,
- zalecana wartość lub wartości napięcia pracy,
- maksymalna dopuszczalna wartość lub wartości.

#### Warunki kompensacji

- znak napięcia kompensacji, zalecana wartość oraz dopuszczalny zakres,
- współczynnik kompensacji.

#### Pojemności i oporności izolacji

- elektrody względem elektrody,
  - elektrody względem obudowy,
  - obudowy do zewnętrznych konstrukcji lub do ekranu przeciwwzakłóceniewego.
- } w funkcji temperatury

Ładunek elektryczny zbierany w jednym akcie jonizacji zarówno dla promieniowania mierzonego, jak i dla promieniowania towarzyszącego.

#### Czas zbierania ładunku

#### Czułość

- w reżimie impulsowym,
- w reżimie prądowym,
- w reżimie fluktuacyjnym.

#### Zakres pomiarowy

#### Wrażliwość na promieniowanie towarzyszące

- w reżimie impulsowym,
- w reżimie prądowym,
- w reżimie fluktuacyjnym.

**Sygnal tła** (niepożądany sygnał wywoływany przez radioaktywność naturalną lub sztuczną materiałów detektora)

- początkowy,
- po określonym czasie przebywania w polu neutronowym o znanej gęstości strumienia.

Maksymalna dopuszczalna gęstość strumienia neutronów

Maksymalna dopuszczalna moc dawki ekspozycyjnej gamma

#### Materiał uczulający

- rodzaj,
- czystość.

Czas wypalania

#### Użyteczna trwałość

— producent detektora musi również dostarczyć wyniki badań opisanych w niniejszej normie.

### 9.2. Parametry złączy

**9.2.1. Parametry mechaniczne.** Wielkości fizyczne wymienione w rozdz. 9.1, a dotyczące złączy muszą być również podane przez producenta. Szczególnie istotne są wymagania podane w tabelicy.

Wymagania	Części złączy	
	wtyk	gniazdo
Wymiary	zewnętrzna średnica; typ połączenia; wymiary centralnego bolca; ogólna długość	zewnętrzna średnica; typ połączenia; wymiary części styku; ogólna długość
Materiały	obudowa; część centralna; izolator	obudowa; część centralna; izolator

**9.2.2. Parametry elektryczne** — impedancja właściwa i oporność upływu przy nominalnych warunkach pracy i nominalnej temperaturze.

#### Maksymalne wartości

- napięcie między elektrodami oraz między elektrodami a obudową,
- temperatura,
- ciśnienie zewnętrzne,
- wilgotność otoczenia.

### 9.3. Parametry kabli

#### 9.3.1. Dane techniczne

##### Wymiary

- średnica zewnętrzna,
- średnica przewodu centralnego,
- długość,
- minimalny promień zagięcia,
- ciężar.

##### Materiały

- przewodu centralnego,
- ekranów zewnętrznych,
- izolacji.

#### 9.3.2. Dane elektryczne

- oporność upływności (minimalna) przy zna-

mionowej wilgotności i temperaturze,

- pojemność na jednostkę długości,
- impedancja właściwa i tłumienność (jeśli dotyczy),
- wszystkie niezbędne ograniczenia natury jądrowej.

#### Wartości maksymalne

- napięcie między przewodnikami,
- temperatura,
- ciśnienie,
- wilgotność.

### 10. Impulsowe detektory neutronów — charakterystyki

**10.1. Zasada działania.** Neutronowe detektory impulsowe obejmują rozszczepieniowe komory impulsowe, liczniki z trójfluorkiem boru, liczniki z twardym pokryciem borowym i liczniki proporcjonalne z helem-3.

a) Rozszczepieniowe komory jonizacyjne zawierają materiał rozszczepialny — np. uran-235, którego jądra po wychwyceniu neutronu rozpadają się na „fragmenty rozszczepienia”. Mają one dużą energię kinetyczną, która jest częściowo tracona na wytwarzaniu jonizacji w gazie wypełniającym detektor.

Rozszczepieniowe komory mogą być używane w układach impulsowych, prądowych lub fluktuacyjnych.

b) Liczniki z trójfluorkiem boru są detektorami neutronów termicznych, w których wykorzystywana jest reakcja



zachodząca w trójfluorku boru wypełniającym detektor. Jonizacja wywoływana jest cząstkami alfa oraz jądrami litu, impulsy wzmacniane są w polu elektrycznym i liczniki pracują w reżimie proporcjonalnym.

c) Liczniki z twardym pokryciem borowym, w których również wykorzystywana jest reakcja jądrowa między neutronami termicznymi a borem nałożonym w postaci twardego pokrycia na wewnętrznych ściankach licznika. Gaz wypełniający detektor może być tak dobrany, aby uzyskać odpowiednie parametry np. pożądany czas zbierania.

d) Liczniki proporcjonalne z helem-3 są detektorami neutronów termicznych, w których wykorzystywana jest reakcja neutronów z helem-3:



**10.2. Czulość w zakresie liniowości.** Czulość impulsowego detektora neutronów określa się przez podzielenie średniej wartości częstości zliczeń (po odjęciu tła) przez gęstość strumienia neutronów termicznych. Wyraża się ją w jednostkach

liczby impulsów na sekundę na jednostkę gęstości strumienia neutronów termicznych ( $\text{imp} \cdot \text{n}^{-1} \cdot \text{cm}^2$ ). Wartość ta musi być mierzona przy określonych parametrach elektrycznych detektora i urządzenia pomiarowego i przy stwierdzeniu, czy strumień neutronów jest zakłócony czy nie.

**10.3. Zakres pomiaru.** Teoretycznie zakres pomiaru detektora określony jest przez dolną i górną granicę stosowności. Dolna granica w komorach rozszczepieniowych zależy od sygnału, od cząstek alfa oraz od tła powodowanego rozszczepieniami samoistnymi. Górna granica zależy od czasu rozdzielczego, który jest funkcją czasu zbierania ładunku oraz od elektrycznych parametrów układu pomiarowego. W praktyce, dolna granica pracy może być uzależniona od innych czynników, takich jak statystyka zliczeń promieniowania gamma oraz szumy wzmacniacza. Rzeczywiste ograniczenia podano w p. 7.

**10.4. Efekt promieniowania gamma.** Obecność promieniowania gamma wpływa na zniekształcenia widma impulsów oraz długość plato charakterystyki dyskryminacji oraz, w niektórych przypadkach, na zmniejszenie współczynnika wzmocnienia wewnętrznego liczników proporcjonalnych.

**10.5. Temperatura pracy.** Zakres temperatur pracy określony jest przez rodzaj zastosowanych materiałów oraz technologię produkcji. Przy wysokich temperaturach głównym problemem jest zachowanie właściwych parametrów przez materiały izolacyjne.

**10.6. Wypalanie oraz użyteczna trwałość (patrz definicje w p. 2.7 i 2.8).** Czas wypalania zależy od zużycia materiału uczulającego. Mierzy się go liczbą zarejestrowanych impulsów lub wielkością strumienia neutronów, odpowiadającą właściwej ilości wypalonego materiału.

Użyteczna trwałość zależy od warunków otoczenia oraz od wielkości ich wpływu.

Jeżeli warunki składowania mogą wpłynąć na użyteczną trwałość to muszą one być dokładnie sprecyzowane.

**10.7. Napięcie polaryzacji** jest charakteryzowane przez podanie jego znaku i wielkości. Przy pracy w reżimie impulsowym, napięcie polaryzacji jest rozumiane przeważnie jako dodatni, w stosunku do obudowy, potencjał elektrody zbierającej.

Dla liczników proporcjonalnych współczynnik wzmocnienia wewnętrznego zależy od wartości napięcia polaryzacji. Krzywa tej zależności musi być podana przez producenta.

Dla niektórych typów detektorów, przy wybieraniu napięcia polaryzacji, należy brać pod uwagę parametry układu pomiarowego oraz wymaganą trwałość detektora.

**10.8. Odpowiedź detektora na zdarzenia jądrowe.** W celu uzyskania odpowiedzi detektora musi być znany średni ładunek elektryczny wytwarzany w jednym zdarzeniu. Wyraża się go w kolumbach. W przypadku liczników proporcjonalnych, wielkość ta jest funkcją wzmocnienia i pomiar jej może być utrudniony.

Ważnymi parametrami są również czas zbierania ładunku oraz wyjściowy impuls prądowy.

**10.9. Oporność izolacji.** Dla sprecyzowanych warunków temperatury, ciśnienia i napięcia, oporność izolacji musi być dostatecznie duża, aby prąd upływności był dostatecznie mały oraz aby nie występowały mikroprzebicia, tzn. impulsy pasożytnicze, symulujące impulsy sygnału.

W przypadku gdy detektory oraz współpracujące złącza i kable mogą pracować w wysokich temperaturach, należy zwrócić uwagę na zmianę oporności izolacji w funkcji temperatury.

**10.10. Pojemność elektryczna** jest ważnym parametrem, ponieważ wpływa na stałą czasu układu wejściowego urządzenia pomiarowego.

## 11. Neutronowe detektory prądowe — charakterystyki

**11.1. Zasada działania.** Detektory prądowe obejmują rozszczepieniowe komory jonizacyjne, komory jonizacyjne borowe oraz komory jonizacyjne czułe na promieniowanie gamma.

a) Rozszczepieniowe komory prądowe jonizacyjne — wg p. 10.1a)

b) Borowe prądowe komory jonizacyjne są to detektory neutronów termicznych, w których wykorzystuje się reakcję



Duża część ładunku powstałego w wypełniającym gazie podczas jonizacji wywołanej cząstkami alfa oraz jądrami litu zbierana jest w postaci prądu. Mierzy się na ogół jego średnią wartość. Komory te mogą być również używane do pomiarów fluktuacyjnych. Bor stosowany jest w tych komorach w postaci twardego pokrycia na elektrodach lub czasami w postaci gazowej.

W celu zmniejszenia czułości na promieniowanie gamma w komorach skompensowanych, stosuje się metodę pomiaru różnicy prądów. Na ogół komory skompensowane składają się z dwóch niemal identycznych komór. Jedna zawiera pokrycie uczulające i zbiera ładunek wytworzony zarówno przez neutrony, jak i przez promieniowanie gamma, natomiast w drugiej zbierany jest wyłącznie ładunek wytworzony przez promieniowanie gamma.

Przez zmianę znaku napięcia polaryzacji powoduje się, że prądy tych dwóch komór są przeciwnie w stosunku do siebie, w wyniku czego sy-

gnał wyjściowy z detektora jest zasadniczo sygnałem od neutronów.

c) Podobne detektory jak w poz. b) mogą być stosowane jako komory jonizacyjne czułe na promieniowanie gamma. Od nieskompensowanych komór borowych różnią się one wyłącznie brakiem materiału czułego na neutrony. Mogą one być sprawdzane również w podobny sposób.

**11.2. Czułość w zakresie liniowości.** Zgodnie z p. 2.2, czułość detektorów prądowych na neutrony i na promieniowanie gamma ( $S_n$  oraz  $S_\gamma$ ) jest określona przez podzielenie wartości średniej prądu wyjściowego lub średniej kwadratowej przez gęstość zakłóconego strumienia neutronów termicznych lub moc dawki ekspozycyjnej promieniowania gamma o określonym widmie energetycznym w miejscu umieszczenia detektora. Dla pomiarów stałoprądowych jest ona określona jednostką prądu na jednostkę gęstości strumienia neutronów lub gamma

$$(A \cdot n^{-1} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{s} \text{ lub } A \cdot R^{-1} \cdot h)$$

**11.3. Zakres pomiaru.** Teoretycznie zakres pracy detektora określony jest jego dolną i górną granicą. Dolna granica uwarunkowana jest szkodliwym prądem wywołanym aktywacją komory, upływnością izolacji oraz prądem tła alfa w przypadku komór rozszczepieniowych. Górna granica zależy od zjawiska rekombinacji. Praktyczne warunki ograniczające omówiono w p. 7.

**11.4. Wrażliwość detektora na promieniowanie towarzyszące.** Dla detektorów neutronowych najważniejszym promieniowaniem towarzyszącym jest promieniowanie gamma. Wrażliwość określona jest przez podzielenie prądu wyjściowego od promieniowania gamma przez moc dawki ekspozycyjnej, wywołującej ten prąd. Mierzona jest w  $A \cdot A \cdot k^{-1}$ . Dla komór skompensowanych drażliwość jest zmniejszona przez współczynnik kompensacji.

Jeżeli  $J_\gamma$  jest prądem nieskompensowanej komory pracującej w obecności promieniowania gamma, to prąd otrzymany z identycznej lub skompensowanej komory byłby  $J_\gamma \cdot f$ , a wartość ta wynika z pomnożenia  $J_\gamma$  przez  $f$ .

Dla komór jonizacyjnych na promieniowanie gamma, promieniowaniem towarzyszącym są neutrony oraz wzbudzone promieniowanie gamma.

**11.5. Temperatura pracy.** Zakres temperatury pracy ograniczony jest głównie przez materiały konstrukcyjne oraz technologię produkcji. Przy wysokich temperaturach głównym problemem jest zachowanie odpowiednich właściwości izolatorów.

**11.6. Wypalenie oraz użyteczna trwałość (patrz definicje p. 2.7 i 2.8).** Wypalenie zależy od zużycia materiału uczulającego. Mierzone jest jako całkowity ładunek wyjściowy lub wartość strumie-

nia neutronów odpowiadające ilości zużytego materiału uczulającego. Użyteczna trwałość zależy od warunków zewnętrznych oraz od wielkości wpływających. Jeżeli warunki przechowywania mogą wpłynąć na użyteczną trwałość detektora, to należy je wyraźnie zdefiniować.

**11.7. Napięcia polaryzacji** zdefiniowane są przez znak oraz wielkość. Napięcie kompensacji na ogół jest ujemne w stosunku do obudowy komory i może być regulowane lub stałe, w zależności od rodzaju komory. Podstawowe napięcie polaryzacji jest na ogół dodatnie w stosunku do obudowy komory i dobrane, tak aby zapewnić nasycenie komory w zakresie pracy. Wybór ten może być oparty na danych przedstawionych na krzywych nasycenia.

Charakterystyki napięciowe detektora powinny być dostarczone przez producenta, aby pozwolić na właściwy dobór źródła zasilania i jego regulacji.

**11.8. Odpowiedź na zdarzenie jądrowe.** Przy niektórych zastosowaniach ważna jest znajomość średniej wartości ładunku elektrycznego na jeden mierzony neutron lub foton gamma. Przy pomiarach fluktuacyjnych ważny jest również czas zbierania elektronów i jonów.

**11.9. Oporność izolacji** elektrody zbierającej musi być taka, aby prąd upływności nie wnosił znaczącego błędu w normalnym zakresie pomiarowym. Wartość ta musi być dopasowana do parametrów układu pomiarowego.

**11.10. Pojemność elektryczna** jest ważnym parametrem, jeżeli wpływa na stałą czasu układu wejściowego aparatury pomiarowej.

## ROZDZIAŁ CZWARTY — METODY BADAŃ

### 12. Postanowienia ogólne

**12.1. Wstęp.** Badania objęte niniejszą normą są badaniami końcowymi w procesie produkcji i muszą być one przeprowadzone przez producenta na każdym detektorze i kablach (jeżeli kable stanowią integralną część detektora), chyba że detektor produkowany jest w dużych seriach. W takim przypadku badania muszą być przeprowadzone na reprezentatywnych próbkach. Metody badań opisane w niniejszej normie dotyczą parametrów elektrycznych, jądrowych i mechanicznych i służą za podstawę do kontroli produkcji.

Ponieważ wymagane są badania w polach neutronów i promieniowania gamma, związane z czułością detektora, kompensacją, aktywacją, drażliwością na promieniowanie towarzyszące itp., to musi być określony rozkład energetyczny i natężenie promieniowania. Do tych badań niezbędny jest znany, izotropowy strumień neutronów lub promieniowania gamma.

Niektóre specjalne lub dodatkowe badania powinny być przeprowadzone na prototypach lub na detektorach wybranych losowo z serii. Przykładami takich badań specjalnych są: wypalenie oraz użyteczna trwałość, długoczasowa stabilność w maksymalnej temperaturze, wrażliwość na promieniowanie towarzyszące impulsowym komór rozszczepieniowych, krytyczna wytrzymałość mechaniczna, zmiany czułości neutronowej w funkcji temperatury, wibracje, charakterystyki nasycenia przy dużej gęstości strumienia neutronów lub dużym poziomie promieniowania gamma. Wyniki tych badań producent obowiązany jest przedstawić do wglądu na żądanie użytkownika.

**12.2. Wybór metod badań.** Przy wyborze metod badań należy brać pod uwagę fakt, że detektory do układów kontroli i zabezpieczeń reaktorów przeznaczone są przede wszystkim do pomiarów względnych promieniowania jądrowego, a nie do pomiarów bezwzględnych. Stosowane metody badań muszą być takie, aby wyniki nie były zniekształcone przez zakłócenia elektryczne.

**12.3. Zestawienie typowych badań.** Odpowiednio do danego rodzaju detektora powinny być przeprowadzone następujące badania:

- a) Badanie na mikrofonowanie
  - efekt mikrofonowania.
- b) Badania elektryczne
  - oporność izolacji,
  - wytrzymałość elektryczna,
  - pojemność elektryczna,
  - tło.
- c) Badania jądrowe
  - czułość,
  - wrażliwość na promieniowanie towarzyszące,
  - kompensacja,
  - napięcie nasycenia lub plato charakterystyki impulsowej,
  - ładunek zbierany w jednym impulsie,
  - czas zbierania,
  - krzywa dyskryminacji lub widmo impulsów,
  - współczynnik wzmocnienia.

d) Badania specjalne mogą być wymagane przy niektórych parametrach detektora.

**12.4. Warunki klimatyczne.** Jeżeli nie podano inaczej, badania należy przeprowadzać przy następujących warunkach (patrz również p. 12.2):

- temperatura  $25 \pm 15^{\circ}\text{C}$ ;
- wilgotność względna między 45 a 75%.

Konkretne warunki atmosferyczne muszą być podane w karcie badań. Z praktyki wynika, że nie powinny one ulegać nagłym lub dużym zmianom w czasie serii badań. Praktyczną metodą zapobiegania takim zmianom jest umieszczenie detektora w komorze klimatycznej o stałej temperaturze.

**12.5. Badania mechaniczne** muszą być prowadzone jako pierwsze przed badaniami elektrycznymi i jądrowymi. Badania mechaniczne muszą co najmniej obejmować oględziny oraz badania niezbędne dla konkretnych zastosowań. Badania na wibracje i udary muszą być przeprowadzone na prototypach odpowiednio do założeń.

### 13. Badania specjalne dotyczące impulsowych jonizacyjnych komór rozszczepieniowych

**13.1. Uwagi ogólne.** Badania specjalne muszą być przeprowadzone, gdy skompletowany jest cały zestaw detektora włącznie ze złączami oraz kablami. Mogą one być przyjęte za podstawę do ostatecznej kontroli produkcji. Aparatura stosowana do badań musi zawierać odpowiednie przyrządy pomiarowe starannie zainstalowane. Musi zawierać mostek do pomiaru pojemności, odpowiedni zasilacz, źródła promieniowania, piece itp.

Aparatura użyta do badań musi być zaewidencjonowana, aby łatwo można ją było odtworzyć i dokładnie powtórzyć wszystkie parametry. Dodatkowo należy przewidzieć możliwość kalibracji aparatury w dowolnym momencie za pomocą generatora impulsów lub komory wzorcowej.

Ważnymi parametrami są: typ układu wejściowego (ładunkowy, napięciowy lub prądowy), impedancja układu wejściowego, pasmo przenoszenia, poziom wejścia, czas martwy dyskryminacji, dynamika oraz czas powrotu.

**13.2. Badania mechaniczne** — wg 12.5.

**13.3. Badania elektryczne i jądrowe**

**13.3.1. Badania w warunkach normalnych**

a) Jeżeli to jest możliwe, należy przeprowadzić pomiar pojemności między elektrodami oraz między elektrodami a obudową oraz sprawdzić pewność połączeń kablowych.

b) Przy określonym napięciu musi być zmierzony prąd upływności między obudową komory a dodatkowym ekranem zewnętrznym.

c) W określonym zakresie napięcia należy zmierzyć prąd od cząstek alfa wraz z prądem tła między elektrodami oraz jeśli to możliwe prąd upływności między elektrodami a obudową dla danego napięcia.

d) Komorę należy podłączyć do układu pomiarowego i zmierzyć krzywą dyskryminacji dla napięcia polaryzacji równego zero oraz dla wybranej wartości napięcia. Krzywa przy napięciu równym zero służy do określenia, czy szumy wzmocniacza są odpowiednie, a krzywa przy danym napięciu do określenia sygnału komory od cząstek alfa. Efektywny poziom dyskryminacji musi być wyrażony w możliwych do zidentyfikowania jednostkach prądu lub ładunku. Najchętniej w tym przypadku stosowane są jednostki bezwzględne, choć bywają też używane inne, takie jak „para jonów”.



e) Komorę należy umieścić w zakłóconym polu neutronów o powtarzalnej wartości gęstości strumienia neutronów, która wywołuje co najmniej 10 imps<sup>-1</sup> przy założonym napięciu. Należy zmierzyć krzywą dyskryminacji.

f) Dla wybranego poziomu dyskryminacji należy zmierzyć charakterystykę wysokonapięciową.

g) Jeżeli to jest potrzebne, to należy zmierzyć średni czas zbierania elektronów.

W przypadku impulsów prądowych (stała czasu układu pomiarowego znacznie mniejsza niż czas zbierania), czas zbierania elektronów wyraża się przez szerokość<sup>1)</sup> impulsu. W przypadku zbierania ładunku (stała czasu układu pomiarowego znacznie większa niż czas zbierania) czas zbierania mierzony jest przez czas narastania<sup>2)</sup>.

h) Należy określić wartość ładunku elektrycznego lub prądu na jeden impuls przy danym napięciu polaryzacji i przy danym poziomie dyskryminacji. Wartość ta może być określona z parametrów impulsu lub też przez specjalne pomiary.

**13.3.2. Badania przy maksymalnej temperaturze pracy.** Badania te nie muszą być przeprowadzane dla komór, których maksymalna temperatura pracy nie przekracza 100°C.

a) Komorę wraz z kablem o odpowiedniej długości należy umieścić w piecu i temperaturę podnieść do maksymalnej temperatury pracy w dopuszczalnych granicach.

Jeżeli to jest możliwe, należy sprawdzić elektryczne połączenie wszystkich kabli.

Przy zadanym napięciu należy zmierzyć prąd upływności między obudową komory a dodatkowym ekranem zewnętrznym.

b) Przy zadanym zakresie napięcia między elektrodami należy zmierzyć prąd alfa wraz z prądem tła, a jeżeli to możliwe, prąd upływności między elektrodami a obudową komory przy określonym napięciu.

c) Komorę należy podłączyć do układu pomiarowego i zmierzyć charakterystykę dyskryminacji dla napięcia polaryzacji równego zero oraz dla zadanego napięcia. Krzywa przy napięciu równym zero służy do stwierdzenia, czy szumy wzmacniacza mają odpowiednią wartość, a krzywa przy wysokim napięciu do określenia sygnału komory od cząstek alfa.

d) Komorę należy umieścić w tym samym polu neutronowym co w p. 13.3.1e) i zmierzyć charak-

terystykę dyskryminacji. Krzywa ta powinna się pokrywać z krzywą uzyskaną w p. 13.3.1e) w zadanych granicach.

e) Należy zmierzyć charakterystykę wysokonapięciową przy poziomie dyskryminacji określonych na podstawie p. 13.3.1e) .

f) Jeżeli to jest wymagane, należy zmierzyć średni czas zbierania elektronów.

g) Komora wraz z kablami powinna pozostać w maksymalnej temperaturze pracy przez co najmniej 100 h. Przy końcu tego czasu, ale jeszcze gdy komora i kable znajdują się w wysokiej temperaturze, należy powtórzyć badania wg p. 13.3.2a) ÷ g).

Uzyskane rezultaty powinny być zgodne z poprzednimi w granicach dopuszczalnych odchyień.

**13.3.3. Powtórzenie badań w warunkach normalnych.** Po przeprowadzeniu badań w wysokiej temperaturze należy zostawić zestaw do ostygnięcia do temperatury normalnej. Należy powtórzyć badania wg p. 13.3.1a) ÷ g). Wyniki powinny być zgodne w granicach dopuszczalnych odchyień.

Jeżeli nie przeprowadza się badań wg p. 13.3.2, ponieważ temperatura pracy detektora jest niższa niż 100°C, to między badaniami wg p. 13.3.1 oraz 13.3.3 musi upłynąć co najmniej 100 h.

**13.4. Badanie czułości na neutrony w zakresie liniowości.** Należy określić czułość komory na neutrony przy zadanym napięciu pracy i określić ją w jednostkach podanych w p. 10.2. Może to być przeprowadzone przez pomiar gęstości strumienia neutronów wykorzystywanego przy badaniach wg p. 13.3.1e) lub przez specjalne pomiary.

**14. Badania specjalne dla liczników proporcjonalnych z trójfluorkiem boru oraz z twardym pokryciem borowym**

**14.1. Uwagi ogólne** — wg p. 13.1.

**14.2. Badania mechaniczne** — wg p. 12.5.

**14.3. Badania elektryczne oraz jądrowe**

**14.3.1. Badania w temperaturze normalnej**

a) Przy zadanym napięciu należy zmierzyć prąd tła między drutem anody a obudową licznika.

b) Licznik należy poddać działaniu zakłóconego strumienia neutronów i do układu pomiarowego podłączyć analizator wielokanałowy. Należy podłączyć napięcie polaryzacji i ustawić je na taką wartość, aby pik widma na analizatorze znalazł się w żądanym położeniu. Należy zarejestrować wartość napięcia polaryzacji oraz całkowitą szerokość widma w połowie wysokości. Dla liczników proporcjonalnych z twardym pokryciem borowym można też przyjąć zamiast szerokości widma inne wielkości takie jak np. całkowite widmo.

<sup>1)</sup> Szerokość impulsu definiowana jest jako interwał czasu mierzony na linii równoległej do osi czasu, i zawarty między punktami o rzędnych równych 10% amplitudy impulsu.

<sup>2)</sup> Wg Publikacji IEC 50 (66) IEV.

c) Przy określonym poziomie dyskryminacji należy zmierzyć charakterystykę wysokonapięciową.

Przy określonym napięciu polaryzacji należy zmierzyć charakterystykę dyskryminacji.

**14.3.2. Badania przy maksymalnej temperaturze pracy.** Badania te nie muszą być przeprowadzane dla liczników, których maksymalna temperatura pracy nie przekracza  $100^{\circ}\text{C}$ .

a) Licznik wraz z kablem o odpowiedniej długości należy umieścić w piecu i temperaturę podnieść do maksymalnej temperatury pracy w dopuszczalnych granicach.

b) Należy powtórzyć badania wg p. 14.3.1a) i b). Wyniki powinny być zgodne w ramach dopuszczalnych rozrzutów.

c) Licznik i kable muszą pozostać w maksymalnej temperaturze co najmniej przez 100 h. Przy końcu tego czasu, ale jeszcze wówczas, gdy znajdują się one w tej wysokiej temperaturze należy powtórzyć badania wg p. 14.3.1a) i b). Wyniki powinny być zgodne w ramach dopuszczalnych rozrzutów.

**14.3.3. Powtórzenie badań w temperaturze normalnej.** Po przeprowadzeniu badań w maksymalnej temperaturze pracy należy liczniki i kabel zostawić do ostygnięcia do temperatury normalnej. Należy powtórzyć badania wg p. 14.3.1a) i b), a wyniki powinny być zgodne w granicach dopuszczalnych rozrzutów. Jeżeli nie przeprowadza się badań wg p. 14.3.2, ponieważ temperatura pracy licznika nie przekracza  $100^{\circ}\text{C}$ , to między badaniami wg p. 14.3.1 a 14.3.3 powinno upłynąć co najmniej 100 h.

**14.4. Czulość na neutrony w zakresie liniowości.** Czulość licznika na neutrony przy zadanym napięciu polaryzacji powinna być określona i wyrażona w jednostkach podanych w p. 10.2. Może to być przeprowadzone przez pomiar gęstości strumienia neutronów wykorzystywanego w badaniach wg p. 14.3.1b) lub przez specjalne pomiary.

**14.5. Wrażliwość na promieniowanie gamma.** Dla specjalnych zastosowań, gdzie wrażliwość na promieniowanie gamma jest szczególnie ważna, należy przeprowadzić następujące badania: Licznik należy podłączyć do odpowiedniego układu pomiarowego i poddać działaniu promieniowania gamma w określonej mocy dawki ekspozycyjnej. Należy określić szybkość zliczeń na wyjściu, wartość ta musi być mniejsza niż wartość dopuszczalna. Dla liczników z trójfluorem boru badanie to należy powtórzyć po czasie nie krótszym niż 100 h.

Przy niektórych zastosowaniach, promieniowanie gamma może wpłynąć na odpowiedź licznika na neutrony. W takich przypadkach należy stosować specjalne badania.

**15. Badania specjalne dotyczące liczników proporcjonalnych z helem-3.** Nie podaje się szczegółów badań dla tych detektorów, ponieważ są one podobne do badań stosowanych dla liczników z trójfluorkiem boru.

**16. Badania specjalne dla borowych skompensowanych komór jonizacyjnych prądowych**

**16.1. Uwagi ogólne.** Badania powinny być przeprowadzone dla kompletnego zestawu ze złączami i kablami. Mogą one posłużyć za podstawę do finalnej kontroli produkcji. Aparatura używana do badań musi zawierać odpowiednie przyrządy pomiarowe, które muszą być dokładnie zainstalowane i nastawione. Obejmuje ona mostek do pomiaru pojemności, odpowiedni zasilacz, źródła promieniowania, piece itp.

**16.2. Badania mechaniczne** — wg p. 12.5.

**16.3. Badania elektryczne**

**16.3.1. Badania w temperaturze normalnej**

a) Należy zmierzyć pojemność między elektrodą zbiorczą a każdą elektrodą napięciową oraz między elektrodą zbiorczą a obudową komory. Należy sprawdzić elektryczny kontakt wszystkich kabli.

b) W przypadku podłączenia napięć do obu elektrod wysokonapięciowych należy zmierzyć prąd upływności między elektrodą zbiorczą a obudową dla zadanej wartości napięcia.

c) W przypadku połączenia elektrody zbierającej i elektrody wysokonapięciowej części gamma z obudową komory należy zmierzyć prąd upływności między elektrodą wysokonapięciową części neutronowej a obudową dla zadanej wartości napięcia.

d) W przypadku połączenia elektrody zbierczej i elektrody wysokonapięciowej części neutronowej z obudową komory należy zmierzyć prąd upływności między elektrodą wysokonapięciową części gamma a obudową dla zadanej wartości napięcia.

e) Dla zadanej wartości napięcia należy zmierzyć prąd upływności między obudową komory a dodatkowym zewnętrznym ekranem.

**16.3.2. Badania przy maksymalnej temperaturze pracy.** Badania tego nie przeprowadza się dla komór, których temperatura pracy nie przekracza  $100^{\circ}\text{C}$ .

a) Komorę wraz z kablem o odpowiedniej długości należy umieścić w piecu i podnieść temperaturę do wartości maksymalnej temperatury pracy w dopuszczalnych granicach. Należy sprawdzić elektryczny kontakt wszystkich kabli łączących.

b) Należy powtórzyć badanie wg p. 16.3.1b).

c) Należy powtórzyć badania wg p. 16.3.1c).

d) Należy powtórzyć badania wg p. 16.3.1d).

e) Należy powtórzyć badanie wg p. 16.3.1e).

f) Przy połączeniu elektrody wysokonapięciowej

części neutronowej z obudową komory należy zmierzyć prąd elektrody zbierającej w funkcji napięcia przykładanego na elektrodę wysokonapięciową części gamma. Uzyskane wartości powinny być mniejsze niż dopuszczalne wartości dla wszystkich wartości napięć, aż do granicznego dopuszczalnego.

g) Przy połączeniu elektrody wysokonapięciowej części gamma z obudową komory należy zmierzyć prąd elektrody zbiorczej w funkcji napięcia przykładanego na elektrodę wysokonapięciową części neutronowej. Uzyskane wartości prądu muszą być mniejsze niż dopuszczalne wartości dla wszystkich wartości napięcia, aż do granicznego dopuszczalnego.

h) Komora i kable muszą pozostać w maksymalnej temperaturze co najmniej przez 100 h. Przy końcu tego czasu, ale gdy komora i kable jeszcze stale znajdują się w tej temperaturze, należy powtórzyć badania wg p. 16.3.2a) ÷ e).

Wyniki powinny być zgodne w granicach dopuszczalnych odchyleń.

**16.3.3. Powtórzenie badań w temperaturze normalnej.** Po przeprowadzeniu badań w maksymalnej temperaturze pracy należy cały zestaw zostawić do ostygnięcia do temperatury otoczenia. Następnie należy powtórzyć badanie wg p. 16.3.1a) ÷ e) i wyniki powinny być zgodne w granicach dopuszczalnych odchyleń.

Jeżeli nie przeprowadza się badań wg p. 16.3.2, ponieważ temperatura pracy komór jest mniejsza niż 100°C, to między badaniami wg p. 16.3.1 a 16.3.3 musi upłynąć co najmniej 100 h.

## 16.4. Badania jądrowe

**16.4.1. Wrażliwość na promieniowanie gamma oraz współczynnik kompensacji.** Komora musi być poddana działaniu promieniowania gamma o znanej mocy dawki ekspozycyjnej i znanym rozkładzie widmowym w określonej geometrii w stosunku do źródła. Parametry te muszą być tak dobrane, aby uzyskać odpowiednią dokładność badań.

a) Na elektrodę wysokonapięciową części gamma należy podać napięcie  $U_\gamma$ , a na elektrodę wysokonapięciową części neutronowej dodatnie napięcie nasycenia. Należy zmierzyć wartości prądu elektrody zbierającej przy dodatniej, a następnie ujemnej wartości  $U_\gamma$ . Wartość prądu gamma objętości kompensacyjnej komory uzyskuje się jako połowę różnicy tych wartości prądów elektrody zbierającej. Należy określić tę wartość i zmierzyć ją w funkcji napięcia  $U_\gamma$ .

b) Na elektrodę wysokonapięciową objętości neutronowej podaje się dodatnie napięcie  $U_n$  i mierzy się wartości prądu elektrody zbierającej dla dodatniej i ujemnej wartości napięcia pracy na elektrodzie wysokonapięciowej części gamma. Prąd objętości neutronowej uzyskuje się jako po-

łową sumy tych wartości prądów. Należy określić ten prąd i zmierzyć go w funkcji napięcia  $U_n$ . Należy określić wartości  $U_{n0,9}$  oraz  $U_{n1,1}$  jako takie wartości napięcia, przy których wartość prądu wynosi 90 i 110% wartości nasycenia.

Górną granicę napięcia  $U_n$ , która może być użyta w tych badaniach, można przyjąć niższą niż tę, która powoduje wzrost od prądu nasycenia o 10%, ponieważ wiadomo, że dla niektórych typów komór nie można prowadzić badań przy napięciu  $U_{n1,1}$  nie przekraczając maksymalnego, dopuszczalnego napięcia. Wrażliwość na promieniowanie gamma objętości neutronowej określa się na podstawie zmierzonej w ten sposób wartości prądu nasycenia i znanej mocy dawki ekspozycyjnej.

c) Współczynnik kompensacji określony jest przez różnicę między prądami danymi w poz. a) oraz b) podzieloną przez prąd dany w poz. b). Należy go określić jako funkcję  $U_\gamma$  dla danej wartości  $U_n$ . Należy to powtórzyć dla wybranych geometrii komory w stosunku do źródła.

Dla niektórych skompensowanych komór jonizacyjnych, napięcie o odwrotnej biegunowości na elektrodzie wysokonapięciowej objętości gamma może wprowadzać błędy pomiarowe. W takim przypadku można dać napięcie przeciwnej biegunowości na elektrodzie wysokonapięciowej części neutronowej i odpowiednio zmodyfikować opisany powyżej sposób postępowania.

**16.4.2. Badanie czułości na neutrony w zakresie liniowości.** Komorę należy poddać działaniu stabilnego zakłóconego strumienia neutronów o znanej gęstości z zaniechwalnym promieniowaniem gamma. Należy określić neutronową charakterystykę nasycenia objętości czulej na neutrony, stosując metodę opisaną w p. 16.4.1.

Na elektrodę wysokonapięciową części neutronowej należy podać dodatnie napięcie  $U_n$  i zmierzyć prąd elektrody zbierającej, podając na elektrodę wysokonapięciową części gamma napięcie pracy na zmianę o dodatniej i ujemnej biegunowości. Prąd wytwarzany przez neutrony uzyskuje się jako połowę sumy tych prądów. Należy określić ten prąd i zmierzyć go w funkcji napięcia  $U_n$ . Należy określić napięcie  $U_{n0,9}$  oraz  $U_{n1,1}$ , przy których prąd ma wartości 90 i 110% prądu nasycenia.

Górna granica napięcia  $U_n$ , która może być stosowana przy tych badaniach może być ograniczona ze względów podanych w p. 16.4.1b).

Na podstawie prądu nasycenia oraz znanej gęstości strumienia neutronów należy określić czułość komory oraz granice dokładności.

**17. Badania specjalne dotyczące borowych nieskompensowanych komór jonizacyjnych prądowych**

**17.1. Uwagi ogólne (patrz p. 16.1).** Badania komór nieskompensowanych oparte są na badaniach komór skompensowanych, ale są prostsze z powodu nieobecności elektrody wysokonapięciowej części gamma.

**17.2. Badania mechaniczne** — wg p. 12.5.

**17.3. Badania elektryczne**

**17.3.1. Badania w temperaturze normalnej**

a) Należy zmierzyć pojemność między elektrodą zbierającą a elektrodą wysokonapięciową oraz między elektrodą zbierającą a obudową komory.

Jeżeli to jest możliwe, należy sprawdzić elektryczny kontakt wszystkich kabli łączących.

b) Przy elektrodzie wysokonapięciowej połączonej z obudową komory należy zmierzyć prąd upływności między elektrodą zbierającą a obudową przy zadanym napięciu.

c) Przy połączeniu elektrody zbierającej z obudową komory należy zmierzyć prąd upływności między elektrodą wysokonapięciową a obudową przy zadanym napięciu.

d) Przy zadanym napięciu należy zmierzyć prąd upływności między obudową komory a dodatkowym zewnętrznym ekranem.

**17.3.2. Badania przy maksymalnej temperaturze pracy.** Badania tego nie przeprowadza się dla komór, których maksymalna temperatura pracy nie przekracza 100°C.

a) Komorę wraz z kablem o odpowiedniej długości należy umieścić w piecu i podnieść temperaturę do maksymalnej temperatury pracy w dopuszczalnych granicach.

Jeżeli to jest możliwe, należy sprawdzić elektryczny kontakt wszystkich łączących kabli.

b) Przy połączeniu elektrody wysokonapięciowej z obudową komory należy zmierzyć, przy zadanym napięciu, prąd upływności między elektrodą zbierającą a obudową.

c) Przy połączeniu elektrody zbierającej z obudową komory należy, dla zadanego napięcia, zmierzyć prąd upływności między elektrodą wysokonapięciową a obudową.

d) Przy zadanym napięciu należy zmierzyć prąd upływności między obudową komory a dodatkowym, zewnętrznym ekranem.

e) Należy określić prąd elektrody zbierającej w funkcji napięcia przykładanego na elektrodę

wysokonapięciową. Wszystkie uzyskane wartości powinny być mniejsze niż wartości dopuszczalne przy wszystkich napięciach, aż do granicznej wartości.

f) Komorę i kable należy zostawić w maksymalnej temperaturze pracy co najmniej przez 100 h. Pod koniec tego czasu, kiedy jeszcze komora i kable znajdują się w tej temperaturze, należy powtórzyć badania wg p. 17.3.2a) ÷ d). Uzyskane wyniki muszą być zgodne w granicach dopuszczalnych odchyień.

**17.3.3. Powtórzenie badań w temperaturze normalnej.** Po przeprowadzeniu badań w maksymalnej temperaturze pracy należy komorę i kable zostawić do schłodzenia do normalnej temperatury i następnie powtórzyć badania wg p. 12.3.1b) ÷ d). Uzyskane wyniki muszą być zgodne w granicach dopuszczalnych odchyień. Jeżeli nie przeprowadza się badań wg p. 17.3.2, ponieważ temperatura pracy jest niższa niż 100°C, to musi upłynąć co najmniej 100 h między badaniami wg p. 17.3.1 i 17.3.3.

**17.4. Badania jądrowe. Czułość na neutrony oraz wrażliwość na promieniowanie gamma.** Należy określić napięcie polaryzacji, czułość na neutrony, wrażliwość na promieniowanie gamma oraz tło nieskompensowanej komory jonizacyjnej według metod badań podanych w p. 16.4.1, 16.4.2 oraz 16.4.3 w miarę ich przydatności.

**18. Badania specjalne dotyczące prądowych komór jonizacyjnych na promieniowanie gamma.** Badania dla prądowych komór jonizacyjnych są identyczne z badaniami dla nieskompensowanych borowych prądowych komór jonizacyjnych, z tym że zamienione są jedynie określenia promieniowania pierwotnego oraz towarzyszącego.

**19. Badania specjalne dotyczące prądowych rozszczepionych komór jonizacyjnych** są identyczne z badaniami dotyczącymi prądowych nieskompensowanych borowych komór jonizacyjnych. Jednakże aktywność alfa pokrycia komory wpływa na pomiary prądu upływności i należy to uwzględnić. Wywiera to wpływ na badania wg p. 17.3.1b) i c), 17.3.2, 17.3.3 i może również spowodować błędy w pomiarach czułości na promieniowanie pierwotne i towarzyszące, jeżeli nie używa się dostatecznie silnych pól promieniowania.

K O N I E C

#### INFORMACJE DODATKOWE

**1. Instytucja opracowująca normę** — Instytut Badań Jądrowych, BON Aparatury Jądrowej.

**2. Zalecenia międzynarodowe**

IEC Publikacja 231 — General principles of nuclear reactor instrumentation

Publikacja 232 — General characteristics of nuclear reactor instrumentation

Publikacja 50 — International Electrotechnical Voca-

bulary (IEV)

Publikacja 515 — Radiation detectors for the instrumentation and protection of nuclear reactors; characteristics and test methods — norma zgodna (jest merytorycznie wiernym tłumaczeniem tej Publikacji).

**3. Autorzy projektu normy i charakterystyki** — dr mgr J. Jabłońska, doc. inż. P. Szulc — Instytut Badań Jądrowych Zakład XII.