

TECHNIKA JĄDROWA	NORMA BRANŻOWA	BN-79
	Urządzenia elektroniczne dla techniki jądrowej Ogólne zasady oprzyrządowania reaktorów jądrowych	3412-02.01
		Grupa katalogowa XVIII 60

SPIS TREŚCI

PRZEDMOWA

1. WSTĘP

- 1.1. Przedmiot normy
- 1.2. Zakres stosowania normy
- 1.3. Wymagania ogólne

2. POMIARY STRUMIENIA NEUTRONÓW

- 2.1. Wymagania ogólne
- 2.2. Detektory neutronów
- 2.3. Źródła neutronów
- 2.4. Oprzyrządowanie do pomiaru gęstości strumienia neutronów
- 2.5. Sygnały wyzwania zależne od poziomu gęstości strumienia i szybkości przyrostu gęstości strumienia
- 2.6. Skalowanie i sprawdzanie urządzeń do pomiaru gęstości strumienia neutronów
- 2.7. Pomiary rozkładu gęstości strumienia

3. POMIARY TEMPERATURY

- 3.1. Wymagania ogólne
- 3.2. Wpływ napromieniowania na dokładność pomiarów temperatury
- 3.3. Pomiary temperatury paliwa
- 3.4. Pomiary temperatury moderatora
- 3.5. Pomiary temperatury chłodziwa
- 3.6. Pomiary temperatur istotne ze względu na bezpieczeństwo reaktora
- 3.7. Tory pomiarowo-kontrolne zabezpieczeń od temperatury
- 3.8. Przedstawienie (prezentacja) pomiarów temperatury

4. POMIARY CHŁODZIWA

- 4.1. Wymagania ogólne
- 4.2. Wydatek chłodziwa
- 4.3. Ciśnienie chłodziwa
- 4.4. Poziom chłodziwa
- 4.5. Przecieki chłodziwa
- 4.6. Czystość chłodziwa
- 4.7. Aktywność chłodziwa

5. SYSTEM ZABEZPIECZEŃ

- 5.1. Określenia
- 5.2. Interpretacja stopniowania postanowień
- 5.3. Wprowadzenie
- 5.4. Funkcje systemu zabezpieczeń
- 5.5. Pomiary wielkości fizycznych dla potrzeb zabezpieczeń
- 5.6. Projekt systemu zabezpieczeń
- 5.7. Projekt układu wyłączania awaryjnego
- 5.8. Projekt układu awaryjnego obniżania mocy
- 5.9. Projekt układu blokad awaryjnych
- 5.10. Projekt sygnalizacji alarmowej
- 5.11. Projekt odblokowań operacyjnych

6. ZASILANIE APARATURY

- 6.1. Wymagania ogólne
- 6.2. Niezawodny system zasilania

7. URZĄDZENIA STEROWNICZE

- 7.1. Wymagania ogólne
- 7.2. Lokalizacja sterowni
- 7.3. Zagospodarowanie sterowni
- 7.4. Łączność

8. SYSTEMY SYGNALIZACJI

- 8.1. Określenia
- 8.2. Wprowadzenie
- 8.3. Projekt systemu sygnalizacji

9. REGULACJA I STEROWANIE REAKTORA

- 9.3. Wskazania położenia ruchu elementów regulacyjnych (dla reaktorów wszystkich typów)
- 9.4. Sterowanie (regulacja) rozkładu przestrzennego gęstości strumienia (dla reaktorów wszystkich typów)

INFORMACJE DODATKOWE

Zgłoszona przez Instytut Badań Jądrowych
Ustanowiona przez Ministra Energetyki i Energii Atomowej dnia 22 czerwca 1979 r.
jako norma obowiązująca od dnia 1 stycznia 1980 r.
(Dz. Norm. i Miar nr 16/1979 poz. 83)

PRZEDMOWA

Arkusze 01 jest tłumaczeniem Publikacji IEC 231, 231A oraz ich uzupełnień z Publikacji 231D, E i G.

W arkuszu zachowano układ, numerację rozdziałów i punktów, zasady redagowania i sposób formułowania postanowień zgodne z oryginałami dokumentów IEC.

W przypadkach niezbędnych dokonano w arkuszu tylko drobnych adaptacji do warunków polskich, nie naruszając zasady całkowitej zgodności między tekstami obu dokumentów.

1. WSTĘP

1.1. Przedmiot normy. Przedmiotem normy są ogólne zasady oprzyrządowania reaktorów jądrowych, zapewniające stosowanie oprzyrządowania dostarczającego informacji o stanie reaktora niezbędnych dla jego bezpiecznego i sprawnego działania.

1.2. Zakres stosowania normy: Norma zawiera wskazówki dotyczące wyboru oprzyrządowania reaktora i postanowienia oparte na doświadczeniu praktycznym.

Postanowienia arkusza 01 mają zastosowanie ogólne (dla reaktorów wszystkich typów), a postanowienia dotyczące tylko specjalnych typów reaktorów podano w arkuszach 02 do 04 (jako równoległe postanowienia samodzielne lub uzupełniające).

Poszczególne przyrządy i detale oprzyrządowania są objęte zakresem stosowania normy tylko dla tych przypadków, w których mają one bezpośredni wpływ na ogólne bezpieczeństwo i sprawne sterowanie reaktora.

1.3. Wymagania ogólne

1.3.1. Odpowiedzialność za bezpieczne funkcjonowanie reaktora powinna spoczywać na kierownictwie załogi eksploatującej reaktor. Niezależnie od tego rozwiązanie obiektu powinno ułatwiać bezpieczne działanie reaktora we wszystkich możliwych do przewidzenia warunkach eksploatacji.

1.3.2. Oprzyrządowanie powinno być takie, aby umożliwiała operatorowi dokonywanie właściwej oceny stanu fizycznego i zachowania się obiektu. Powinny być przewidziane odpowiednie sygnały ostrzegawcze dla wskazywania warunków nienormalnych.

1.3.3. Stopień zabezpieczeń, wymagany od oprzyrządowania powinien być ustalony w wyniku analizy następujących sytuacji:

a) gdy prawidłowe działanie systemu zabezpieczeń jest konieczne dla uniknięcia niedopuszczalnego ryzyka zagrożenia ludności w przypadku awarii reaktora; w tym przypadku projekt systemu zabezpieczeń powinien brać pod uwagę konsekwencje jego uszkodzeń, a zastosowany zakres zabezpieczeń powinien być ustalony na podstawie rozważenia aspektów humanitarnych, praktycznych, ekonomicznych i innych;

b) gdy niedopuszczalne narażenie ludności nie zaistnieje, nawet jeżeli system zabezpieczeń całkowicie zawiedzie; w takim przypadku zadaniem systemu zabezpieczeń jest ochrona przed błędami, które mogłyby doprowadzić do zniszczenia obiektu oraz ograniczenie do minimum napromieniowania obsługi.

1.3.4. Wykrywanie sytuacji awaryjnej. Biorąc pod uwagę różnorodny charakter możliwych awarii, złożo-

ność zachowania się rdzenia przy wzrastającym wypalaniu, możliwość nieprzewidzianych błędów w matematycznym modelu używanym do oszacowania skutków różnych awarii — może zaistnieć wątpliwość, czy pomiar jednego parametru zapewni dostateczną ochronę. W takim przypadku sytuacja awaryjna powinna być wykrywana na podstawie pomiaru co najmniej dwu niezależnych parametrów, z których jednym jeżeli jest to możliwe, powinien być bezpośredni pomiar parametru najważniejszego.

1.3.5. System operacyjnego sterowania reaktora i system zabezpieczeń reaktora winny być możliwie niezależne od siebie, tj. uszkodzenie w jednym z nich nie powinno powodować nieprawidłowego działania drugiego. Z reguły działanie zabezpieczające powinno mieć charakter priorytetowy w stosunku do sterowania.

a) System zabezpieczeń reaktora powinien być tak opracowany, aby żadne ewentualne działanie, uszkodzenie lub błędna operacja w systemie sterowania nie mogły spowodować braku ochrony, którą system zabezpieczeń reaktora realizuje. Przy rozważaniu zawodności systemu sterowania winny być przeanalizowane wszystkie możliwe do przewidzenia kombinacje uszkodzeń.

b) System sterowania powinien być tak opracowany, aby żadne ewentualne uszkodzenie systemu zabezpieczeń nie mogło wywołać zwiększenia reaktywności reaktora przez system sterowania. Również przy rozpatrywaniu uszkodzeń systemu zabezpieczeń powinny być wzięte pod uwagę wszystkie kombinacje uszkodzeń.

c) Większość funkcji wykonywanych przez system operacyjny (system sterowania) wymaga pomiaru tych samych parametrów procesu co system zabezpieczeń, a w wielu przypadkach nawet z podobnymi dokładnościami, szybkością odpowiedzi itp.

Zmniejszając liczbę pomiarów jakiegoś parametru można zmniejszyć trudności związane z instalowaniem urządzeń pomiarowych (np. optymalne umiejscowienie, zastosowanie odpowiednich urządzeń mocujących, ochrona przed czynnikami agresywnymi otoczenia itp.). Sugeruje to (przy stosowaniu redundancji w obu systemach) wykorzystanie tych samych pomiarów równocześnie do obu funkcji: operacyjnej i zabezpieczającej, gdy jest to dopuszczalne bez naruszenia zasad obowiązujących system zabezpieczeń. W takim przypadku powinny być wyraźnie określone aspekty techniczne i względy bezpieczeństwa, a rozwiązanie projektowe musi uwzględniać wymagania wg 5.5.

1.3.6. Wymagania dotyczące przypadków pracy w warunkach różnych od normalnych. W przypadkach pracy

reaktorów w warunkach różnych od normalnych (np. w czasie odbioru technicznego i próbnej eksploatacji), należy również przewidzieć odpowiednie środki kontroli i zabezpieczenia.

Powinny być zastosowane odpowiednie środki (przed i w czasie wstępnej eksploatacji obiektu) w celu stwierdzenia, że osiągnięto wymagane charakterystyki techniczne reaktora i oprzyrządowania, zapewniające jego bezpieczne działanie.

1.3.7. Detektory ważne dla sterowania i zabezpieczeń powinny być instalowane w sposób umożliwiający ich wymianę, bez usuwania rdzenia, chłodziwa lub dużych elementów konstrukcyjnych, w czasie pracy reaktora na mocy.

Gdy detektory są umiejscowione tak, że dostęp do nich w celu naprawy lub wymiany nie jest możliwy w czasie lub natychmiast po pracy reaktora, z powodu promieniowania chłodziwa obiegu pierwotnego lub z powodów konstrukcyjnych, należy zainstalować detektory zapasowe z odpowiednim okablowaniem doprowadzonym do miejsc dostępnych do wykonywania przełączeń.

2. POMIARY STRUMIENIA NEUTRONÓW

2.1. Wymagania ogólne

2.1.1. Przyrządy do pomiaru gęstości strumienia neutronów mają w porównaniu z innymi przyrządami pomiarowymi tę zaletę, że odznaczają się stosunkowo małą bezwładnością (szybką odpowiedzią) przy zachowaniu odpowiedniej czułości.

2.1.2. Dla bezpiecznej pracy reaktora konieczne jest przeprowadzenie pomiarów gęstości strumienia neutronów (lub częstości rozszczepień) w bardzo szerokim zakresie wartości. W warunkach nieprawidłowych okres reaktora może być bardzo krótki, chociaż gęstość strumienia neutronów jest jeszcze mała. W takim przypadku moc reaktora może wzrastać tak szybko, że w niektórych reaktorach mógłby być osiągnięty niebezpieczny poziom, zanim zostałyby podjęte środki ograniczenia częstości rozszczepień. Aby uniknąć takiego niebezpieczeństwa, należy w takich reaktorach przewidzieć środki zaradcze, np. przez pomiar szybkości zmian wartości gęstości strumienia neutronów w całym zakresie mocy reaktora.

2.1.3. Przy pomiarze częstości rozszczepień w wyłączonym reaktorze, po uprzedniej dłuższej jego pracy, należy zwrócić uwagę na wpływ rozpadu produktów rozszczepienia na wynik pomiaru. Należy też wziąć pod uwagę wpływ aktywności chłodziwa na wyjściowy sygnał detektora.

2.1.4. Gdy użycie jednego urządzenia do pomiaru gęstości strumienia neutronów reaktora w całym zakresie wartości strumienia okazuje się niewystarczają-

ce, należy stosować większą liczbę urządzeń pomiarowych z różnymi typami przyrządów przystosowanych do pomiaru wartości gęstości strumienia na różnych poziomach i w określonych podzakresach. Urządzenia te trudno jest zdefiniować dokładnie, ponieważ będą się one różniły dla poszczególnych typów reaktorów.

Jeżeli używa się więcej niż jednego toru pomiarowego do kontroli całego zakresu zmienności gęstości strumienia neutronów, do systemu zabezpieczeń powinny być doprowadzone sygnały tych torów pomiarowych, których zakres odpowiada aktualnemu poziomowi strumienia funkcjonującego reaktora. Należy zapewnić środki zabezpieczające przed przenoszeniem funkcji zabezpieczających z jednej grupy torów pomiarowych do drugiej (o innym odpowiednim zakresie pomiarowym), zanim te tory pomiarowe nie zasygnalizują, że działają poprawnie.

Oprócz pomiarów gęstości strumienia neutronów pożądanym jest, aby w zakresach małych mocy (poniżej poziomu możliwych do zmierzenia mocy cieplnych) była wskazywana szybkość zmian gęstości strumienia neutronów (okres reaktora).

2.1.5. Reaktory zaprojektowane do pracy ze znaczną częścią silnie wypalonego paliwa zawierają znaczące ilości ciężkich izotopów podlegających spontanicznym rozszczepieniom i innym reakcjom występującym podczas produkcji neutronów. Jeżeli wyliczany jest powyłączeniowy margines reaktywnościowy na podstawie pomiarów strumienia neutronów, powinno się uwzględnić zmiany powyłączeniowego strumienia neutronów spowodowane narastaniem ilości tych izotopów, a także spowodowane operacjami przeładunków paliwa.

2.2. Detektory neutronów

2.2.1. Przy opracowaniach detektorów neutronów stosowanych w kontroli i sterowaniu reaktorów, a szczególnie w przypadku komór jonizacyjnych, używanych do pomiarów dużych wartości gęstości strumienia, należy uwzględnić następujące wymagania konstrukcyjne i eksploatacyjne:

a) odpowiednio do spełnianych przez detektory zadań stosowane są zwykle detektory o jak najmniejszych wymiarach, zarówno w celu uzyskania możliwości umieszczenia dostatecznej liczby detektorów w określonej przestrzeni reaktora, jak też w celu zmniejszenia deformacji mierzonego strumienia;

b) najczęściej detektory umieszcza się w obszarach dużego strumienia w celu zapewnienia maksymalnej dokładności pomiaru i szybkości odpowiedzi, co może również powodować, że detektor jest narażony na wysokie temperatury; materiały konstrukcyjne detektora powinny być wobec tego odpowiednio dobrane, aby zapewnić prawidłowe działanie w tak dużych strumieniach i temperaturach, co jest szczególnie ważne dla zachowania parametrów izolatorów;

c) materiały konstrukcyjne powinny być także odpowiednio dobrane z punktu widzenia zmniejszenia możliwej aktywacji detektora, która może zakłócać pomiary strumienia neutronów i zwiększać trudności konserwacyjne.

d) należy również zwrócić uwagę na efekty długotrwałego napromienienia aktywnych materiałów użytych w detektorze, aby zapobiec zmianom jego czułości.

2.2.2. Detektory neutronów powinny być umieszczone w strumieniu neutronów termicznych, którego gęstość jest proporcjonalna do częstości rozszczepień w reaktorze. Detektory powinny być tak umieszczone, aby zmniejszyć do minimum zmiany stosunku mocy globalnej reaktora do mierzonej wartości gęstości strumienia neutronów dla wszystkich rodzajów kompensacji reaktywności, jakie można przewidywać w całym zakresie pracy reaktora.

Położenie detektorów względem siebie powinno być tak dobrane, aby wyjęcie dowolnego detektora nie zmieniało sygnału wyjściowego pozostałych detektorów w stosunku większym niż dopuszczalny.

Przy określaniu liczby detektorów neutronów potrzebnych do odpowiedniego zabezpieczenia reaktora, należy zwrócić uwagę na efekt przestrzennych zniekształceń gęstości strumienia. Należy również rozważyć potrzebę zainstalowania zapasowych detektorów, chyba że ze względu na łatwą ich wymianę są zbędne.

W małych reaktorach, w których występuje dostatecznie duża ucieczka neutronów, pomiary mocy globalnej można wykonywać zewnątrzrdzeniowymi detektorami instalowanymi na zewnątrz zbiornika reaktora. Bywa jednak niezbędne, ze względu na duże rozmiary rdzenia lub inne powody, umieszczanie części detektorów w rdzeniu dla oceny lokalnych i globalnych mocy. W takim przypadku może być niezbędne składowanie (kombinowanie) sygnałów kilku detektorów w pewien system, dokładnie mierzący całą moc reaktora.

Zastosowanie wewnątrzrdzeniowych detektorów może być także niezbędne do zapewnienia, dla celów zabezpieczeń, ciągłej kontroli zmian gęstości strumienia neutronów (stany ustalone, przejściowe i nienormalne) wywołanych przemieszczeniem elementów regulacyjnych lub zaburzeniami chłodzenia.

2.2.3. W celu otrzymania wyjściowego sygnału detektora odpowiadającego wymaganiom współpracujących z nim przyrządów, może być konieczna zmiana pozycji detektora (lub odpowiedniego absorbera neutronów). Dobieranie pozycji detektora powinno być jednak ograniczone ze względu na konieczność uniknięcia wpływów efektów ubocznych (np. pojawienie się fotonutronów). Ponadto dobieranie pozycji może być niekiedy konieczne dla detektorów do pomiaru małych gęstości strumienia w celu zachowania ich czasu pracy użytkowej. Stosowane są niekiedy odpowiednie urządzenia do przesunięcia takich detektorów w obszar małej gęstości strumienia (gdy detektor nie jest używany) i powrotu na poprzednie miejsce przed rozruchem wyłączzonego reaktora. Pozycje detektorów przemieszczanych powinny być znane i powtarzalne.

Wartość i szybkość przesunięcia powinny być tak wybrane, aby uniknąć ryzyka, np. gdy detektor jest używany w urządzeniu automatycznego sterowania reaktora.

Detektory do pomiaru małych gęstości strumienia neutronów, używane w *zakresie źródła*, mogą być wyłączane poza swym zakresem pracy. Dla niektórych typów detektorów można to zrealizować przez odłączenie wysokiego napięcia, jeżeli tory pomiarowe wyższych zakresów działają poprawnie i jeżeli im zostały przekazane funkcje zabezpieczające. Operacja ta może przedłużać efektywną żywotność detektorów bez ich przemieszczania.

2.2.4. Przy pomiarach małych wartości gęstości strumienia neutronów, urządzenia pomiarowe winny mieć możliwość zmniejszenia wpływu promieniowania gamma. W tych przypadkach kiedy potrzebna jest informacja o bardzo małych wartościach gęstości strumienia neutronów, zaleca się, aby sygnał pochodzący od promieniowania gamma nie przekraczał 20% sygnału całkowitego.

W funkcji czasu pracy zmienia się zależność między sygnałem detektora a globalną generacją mocy. W celu skompensowania tych efektów może być niezbędne okresowe przeskalowanie torów kontrolno-pomiarowych gęstości strumienia neutronów.

2.2.5. Jeżeli detektory neutronów używane do celów zabezpieczeń muszą być chłodzone w temperaturach niższych niż temperatura otoczenia, należy układ chłodzenia tak zaprojektować, aby konsekwencje ewentualnych jego uszkodzeń były dopuszczone i sygnalizowane przez układ alarmowy.

2.3. Źródła neutronów. Po wyłączeniu reaktora strumień może zmaleć do takiego poziomu, przy którym nie może już być odpowiednio kontrolowany bez zastosowania źródeł neutronów. W celu zapewnienia otrzymywania znaczącego sygnału zanim reaktor znajdzie się w stanie krytycznym, należy tak wybrać pozycję źródła neutronów, aby co najmniej 95% neutronów mierzonych przez detektor pochodziło z rozszczepień, w sytuacji gdy reaktor ma współczynnik mnożenia 0,99.

2.4. Oprzyrządowanie do pomiaru gęstości strumienia neutronów

2.4.1. Wymagania ogólne

2.4.1.1. Oprzyrządowanie do pomiaru gęstości strumienia neutronów spełnia w zasadzie trzy funkcje:

- a) zabezpieczenia,
- b) pomiaru i wskazywania,
- c) automatycznej regulacji.

Oprzyrządowanie do pomiaru gęstości strumienia neutronów może być podzielone na następujące tory kontrolno-pomiarowe:

- a) proporcjonalne (linearne) prądowe,
- b) logarytmiczne prądowe,
- c) impulsowe

oraz wariacyjną (średniokwadratową) metodę kontroli gęstości strumienia neutronów przez pomiar fluktuacji sygnału detektora.

2.4.1.2. Ponieważ gęstość strumienia neutronów musi być mierzona w bardzo szerokim zakresie wartości, stosowane są na ogół urządzenia wielozakresowe; ewentualnie mogą być używane niektóre typy urządzeń z re-

gulowanymi zakresami. Także położenie detektora może być tak regulowane, że pokryty jest cały zakres zmian gęstości strumienia neutronów. Regulacja lub przełączanie zakresów nie mogą spowodować zmniejszenia stopnia zabezpieczeń reaktora, niezależnie od tego która z wymienionych metod zostanie zastosowana. Należy również przewidzieć środki odpowiedniego zabezpieczenia reaktora, gdy poziom gęstości strumienia zbliża się do wartości nasycenia danego urządzenia lub też gdy występuje stan, w którym gęstość strumienia neutronów reaktora przestaje być proporcjonalna do sygnału wyjściowego detektora.

W przypadku wykonywania przełączeń z jednego zakresu pracy na inny, zakresy te winny zachodzić na siebie co najmniej na jedną dekadę.

2.4.1.3. Wskaźniki (mierniki) gęstości strumienia należy tak zaprojektować, aby ułatwić odczyt tych wskazań, które są aktualnie najważniejsze w danym zakresie pracy. Dotyczy to zarówno lokalnych, jak i zdalnych wskaźników.

2.4.2. Proporcjonalne (linearne) prądowe tory pomiarowe. Używa się zwykle 3 typy torów:

a) tory zabezpieczające przed wzrostem gęstości strumienia,

b) tory linearne pomiaru mocy,

c) tory do pomiaru odchyłki mocy.

W każdym przypadku sygnał wejściowy powinien być pobierany z jednego lub kilku detektorów neutronów tak umieszczonych w reaktorze, aby mierzona wartość gęstości strumienia była proporcjonalna do mocy reaktora.

Współczynnik proporcjonalności powinien być w miarę możliwości niezależny od położenia elementów regulacyjnych i innych podobnych czynników.

A) Tor zabezpieczający przed wzrostem gęstości strumienia dostarcza informacji do obwodów logicznych zabezpieczeń tak, aby spowodować wyłączenie reaktora, gdy moc wzrośnie powyżej nastawionego uprzednio poziomu.

Tor powinien dawać sygnał stanu bezpiecznego tylko wtedy, jeżeli sygnał poziomu mocy reaktora jest mniejszy od nastawionego poziomu wyzwalań. We wszystkich innych przypadkach, włączając uszkodzenie samego toru lub urządzeń dostarczających sygnał porównawczy, powinien być wytwarzany sygnał wyzwalań.

Konieczne jest, aby sygnał wyzwalań pojawił się zawsze, gdy zaistnieją rzeczywiste warunki awaryjne.

Równocześnie tory powinny być tak zaprojektowane, produkowane i sprawdzane, aby ograniczyć liczbę zbędnych wyłączeń awaryjnych do dopuszczalnego poziomu.

Nastawianie progów wyzwalań może być sterowane automatycznie; umożliwia to unikanie częstych interwencji operatora. Tą metodą można utrzymywać zaprogramowany margines między istniejącym aktualnie poziomem mocy a chronionym poziomem wyzwalań.

Jeżeli szybkość zmian poziomu gęstości strumienia przekracza dopuszczalne tempo, margines będzie mały aż nastąpi wyzwalenie. Można zastosować środki

automatycznej zmiany marginesu w funkcji poziomu mocy reaktora. Urządzenie winno zawierać:

a) środki niezawodnego nastawiania górnej granicy, poza którą poziom wyzwalań nie może być automatycznie ustalany,

b) układ wyzwalań w przypadku przekroczenia marginesu.

B) Linearne tory do pomiaru mocy są używane do pomiaru wartości mocy reaktora przy linearnej skali wskazań. Co najmniej jeden z tego rodzaju torów powinien być zasilany ze źródła mocy o takiej niezawodności, aby pomiar mocy reaktora był zapewniony przy przerwaniu zasilania z sieci elektrycznej lub gdy zaistnieje inny nagły wypadek.

Tor powinien mieć zakres pomiarowy odpowiadający co najmniej 120% znamionowej mocy reaktora, a w miarę potrzeby można przewidzieć dodatkowe podzakresy. Włączenie zakresu powinno być wyraźnie sygnalizowane.

Dokładność pomiaru prądu detektora nie powinna być mniejsza niż $\pm 1\%$ wskazań całej skali dla wszystkich podzakresów, których skala odpowiada co najmniej 10% znamionowej mocy reaktora.

Ponieważ paliwo wypala się, a charakterystyki detektorów zmieniają się w czasie, wpływa to także na zmiany zależności między prądem detektora i mocą globalną. Skompensowanie tych efektów wymagać może okresowego przeskalowania torów pomiarowych współpracujących z detektorami.

C) **Tory do pomiaru odchyłek mocy** lub tory do linearnego pomiaru mocy ze wstępną polaryzacją są używane do pomiaru odchyłek mocy od określonego poziomu.

2.4.3. Logarytmiczne prądowe tory pomiarowe

2.4.3.1. Przy stałej reaktywności reaktora, wzrost mocy jest funkcją wykładniczą. Jeżeli sygnał z detektora jest doprowadzony do logarytmicznego wzmacniacza, sygnał wyjściowy będzie narastał linearnie, a jego szybkość narastania może być miarą okresu reaktora. Te dwie własności można wykorzystać w logarytmicznych wzmacniaczach i miernikach okresu do pomiaru mocy i okresu w zakresie co najmniej sześciu dekad bez przełączania podzakresu. Górna granica zakresu takiego pomiaru powinna wynosić co najmniej 110% (a lepiej 120%) znamionowej mocy. Dolna granica zakresu pomiarowego powinna być określona mocą, dla której prąd pochodzący od promieniowania gamma i innych zakłóceń nie przekracza 20% prądu pochodzącego od promieniowania neutronowego. W niektórych jednak przypadkach sygnał awaryjny okresu (przy zbyt krótkich okresach) może również występować na poziomach mocy mniejszych od tak określonej dolnej granicy zakresu pomiarowego. Błąd pomiaru prądu, pomijając stany przejściowe, powinien być mniejszy od $\pm 20\%$ wartości wskazywanej w głównej części zakresu pomiarowego. Skala miernika okresu powinna wykroczyć poza zakres ustalony dla znamionowego progów sygnału awaryjnego. Błąd pomiaru okresu, pomijając stany przejściowe, nie powinien być większy niż $\pm 10\%$.

2.4.3.2. Sygnał awaryjny okresu ma zabezpieczać reaktor w tych sytuacjach, w których sygnał awaryjny poziomu mocy nie zapewnia zabezpieczenia.

Czas odpowiedzi sygnalizacji awaryjnej okresu powinien być odpowiednio krótki, uwzględniając możliwą szybkość narastania gęstości strumienia w przypadku awarii i czas odpowiedzi urządzeń wyłączających reaktor. Jeżeli zabezpieczenie przed krótkim okresem ma zasadnicze znaczenie dla zabezpieczenia określonego reaktora, to czas odpowiedzi urządzeń powinien odpowiadać wymaganiom raportu bezpieczeństwa reaktora.

Wartość skuteczna napięcia szumów na wyjściu miernika okresu przy dowolnym poziomie mocy powinna być jak najmniejsza i dostosowana do wymagań stawianych urządzeniu, a w szczególności wymagań dotyczących szybkości odpowiedzi.

2.4.4. Impulsowe urządzenia pomiarowe lub ekwiwalentne tory pomiaru niskich mocy. W takich reaktorach, w których część regulacyjnych elementów pozostaje wysunięta z rdzenia podczas normalnego wyłączenia (odstawienia) reaktora, powinno się zastosować w celach zabezpieczeń poziomów mocy tory pomiarowe małych mocy.

2.4.4.1. Tory te mogą być linearne lub logarytmiczne. Powinny one odpowiadać ogólnym wymaganiom dotyczącym urządzeń prądowych wg 2.4.2 i 2.4.3 z wyjątkiem wymagań dotyczących detektorów. Impulsowe detektory neutronów współpracujące z dyskryminatorami amplitudy mają małą czułość na promieniowanie gamma i w związku z tym są korzystniejsze od komór jonizacyjnych prądowych przy pomiarach małych wartości gęstości strumienia. Należy zwrócić uwagę na to, aby małe zmiany wzmocnienia torów lub napięć polaryzujących nie wywołały zbyt dużych zmian wskazań wartości mocy.

2.4.4.2. Częstość zliczeń mierzona w stanie wyłączenia reaktora powinna wskazywać, że urządzenie działa prawidłowo, tzn. że otrzymywana częstość zliczeń nie jest wynikiem nakładania się efektów zakłócającego oddziaływania promieniowania gamma na detektor, zewnętrznych elektrycznych zakłóceń lub szumów obwodów pomiarowych. Można to łatwo osiągnąć przy częstości zliczeń $10 \div 20$ impulsów/s. Jednakże uwzględniając powyższe efekty, występują częstości zliczeń do 2 impulsów/s przy całkowitym wyłączeniu reaktora i większe niż 10, gdy K_{ef} (efektywny współczynnik mnożenia reaktora) jest równy około 0,99. Jeżeli występują mniejsze częstości zliczeń niż 2 impulsy/s celowe jest stosowanie techniki eksperymentalnej *przybliżenia krytycznego*. Przy małych poziomach mocy błędy statystyczne pomiarów są duże i w związku z tym konieczne jest, aby stała czasowa urządzenia pomiarowego była przy tych poziomach odpowiednio duża.

Jeżeli wykorzystuje się sygnały ostrzegawcze lub wyłączające wysyłane poniżej określonej częstości zliczeń, częstość ta w przypadku wyłączonego reaktora winna być taka, aby błędne zadziałania sygnalizacji zdarzały się rzadko. Wartości ustalone dla progów sygnalizacji powinny jednak być tak wybrane, aby opóźnienia w zadziałaniu sygnalizacji były dopuszczalne.

2.4.4.3. Gdy moc reaktora wzrasta powyżej zakresu pokrywanego przez impulsowe urządzenie pomiarowe, może okazać się konieczne wysunięcie detektorów neutronów z dużego strumienia lub wprowadzenie dodatkowej osłony, aby ustrzec detektory przed uszkodzeniami radiacyjnymi. Zaleca się, aby detektory wysunąć do położenia, w którym strumień neutronów jest dostatecznie mały, ale umożliwia jeszcze sprawdzenie urządzeń pomiarowych w czasie gdy reaktor pracuje na mocy znamionowej.

2.4.5. Tory pomiarów wariacji.

W sygnale zawierającym dużą liczbę nakładających się zdarzeń przypadkowych wariacja jest proporcjonalna do liczby zdarzeń, a ta proporcjonalna do gęstości strumienia neutronów. Typowe tory pomiarowe wzmacniają fluktuującą składową sygnału detektora i wytwarzają albo wartość średnio kwadratową, albo kwadrat średniej wartości fluktuacji. Wyjście może być albo linearne, linearne z przełączanymi zakresami, albo logarytmiczne. Efektywny zakres pomiarowy jest ograniczony od dołu przez czułość detektora i stosunek sygnału do szumów. Górna granica zakresu wynika ze zjawiska nasycenia w detektorze i sięga zakresu mocy reaktora.

Stałe czasowe toru pomiarowego wariacji trzeba dobierać ze specjalną uwagą.

Metoda wariacyjna uwypukla składową sygnału zależną od detekcji neutronów w porównaniu ze składową zależną od promieniowania gamma i dzięki temu dolna granica efektywnego zakresu jest rozszerzona w porównaniu z metodą pomiaru prądu stałego. W zastosowaniach wymagających pracy detektora w wysokich temperaturach metoda wariacyjna przewyższa stałoprądową, ponieważ wykorzystuje tylko fluktuującą składową sygnału, a nie stwarza problemów z upływnościami.

2.4.6. Kombinowane impulsowo-wariacyjne tory pomiarowe. Sygnał wariacji jest na ogół odbierany z rozszczepieniowej komory i dolna granica zakresu efektywnego pomiaru gęstości strumienia neutronów zachodzi znacznie poniżej górnej granicy efektywnego zakresu impulsowego (zliczeń) komory. Dzięki temu zachodzeniu na siebie zakresów często używa się szerokozakresowych torów pomiaru gęstości strumienia neutronów wykorzystujących impulsowe i wariacyjne sygnały tej samej komory rozszczepieniowej. Normalnie takie typy szerokozakresowych torów mogą pokrywać około dziesięć dekad (10^{10}) i mogą mieć albo linearne, albo logarytmiczne wyjścia. Wyjście logarytmiczne jest na ogół połączone z okresomierzem. Takimi szerokozakresowymi torami o wyjściu logarytmicznym na ogół zastępuje się oddzielne logarytmiczne tory impulsowe i prądowe.

Jeżeli już używa się metody pomiaru prądu zmiennego (impulsowej i wariacyjnej) do logarytmicznych pomiarów strumienia neutronów, można także zaakceptować praktykę stosowania stałoprądowej składowej prądu detektora do linearnych pomiarów mocy w górnych granicach zakresu pomiarowego.

Jeżeli linearnego prądowego sygnału używa się do funkcji zabezpieczeń reaktora, linearne tory prądowe winny spełniać wymagania dotyczące torów pomiarowo-kontrolnych zabezpieczeń gęstości strumienia neutronów.

2.5. Sygnały wyzwalania zależne od poziomu gęstości strumienia i od szybkości przyrostu gęstości strumienia

2.5.1. Często pożądana jest sygnalizacja dwuprogo-
wa, tj. uzyskanie sygnału ostrzeżenia na poziomie nieco niższym niż próg sygnału wyzwalającego wyłączenie reaktora. Sygnał tego typu ma nazwę sygnału ostrzegawczego. W celu zwrócenia uwagi obsługi na fakt, że odstęp między wartością gęstości strumienia mierzoną aktualnie przez urządzenie pomiarowe a wartością nastawionego sygnału wyzwalania stał się zbyt duży, można również zastosować sygnalizację *niewłaściwe nastawienie progu zabezpieczeń*.

Niewłaściwe nastawienie progu zabezpieczeń może powstać np. wówczas gdy obsługa zapomni naregulować progi sygnałów wyłączających po zaprogramowanej redukcji mocy i przepływu chłodziwa.

2.5.2. Odpowiednie sygnały ostrzegawcze lub wyłączające (zależnie od ważności pomiaru) powinny być przewidziane we wszystkich urządzeniach pomiarowo-kontrolnych w przypadku zmiany napięć zasilających detektory (napięć polaryzacji) przekraczających dopuszczalne granice. Należy dołożyć maksimum starań, aby zapewnić kontrolę sprawności urządzeń przez kontrolę drożności całego toru pomiarowego od źródła zasilania detektora do wyjścia przyrządu.

2.5.3. Bywa pożądanym stosowanie sygnału wyłączającego zależnego od poziomu gęstości strumienia, uzyskiwanego z logarytmicznego wzmacniacza mocy. Próg tego sygnału powinien być regulowany w całym zakresie pomiarowym za pomocą widocznej i odpowiednio skalowanej regulacji. Pożądanym jest również stosowanie sygnału ostrzegawczego przy zbliżaniu się do poziomu progu sygnału wyłączającego.

2.5.4. Impulsowe urządzenia pomiarowe powinny mieć górny i dolny próg sygnalizacji częstości zliczeń.

Dolny próg częstości zliczeń sygnalizuje, że urządzenie nie znajduje się w normalnych warunkach pracy.

Ustawianie górnego progu na takie wartości częstości zliczeń, przy których zdolność rozdzielcza urządzenia powoduje już istotne straty (błędy) w mierzonej częstości zliczeń, powinno być uniemożliwione.

2.5.5. Sygnał zabezpieczeń zależny od okresu (sygnał wyłączający) powinien działać dla każdej wartości dodatniego okresu w zakresie od całkowitego wychylenia (minimalny okres) do 1/10 wychylenia (zakresu napięciowego). Niekiedy wymagany jest sygnał zabezpieczeń zależny od okresu ujemnego. Może być wymagane wytwarzanie sygnału ostrzegawczego przed zbliżeniem do progu sygnału wyłączającego.

Gdy do pomiaru okresu wykorzystuje się tor impulsowy, można także stosować w nim progi sygnalizacji, jednakże trzeba brać pod uwagę, że zachowanie się takiego toru jest dość zawodne w pobliżu zarówno dolnej, jak i górnej granicy zakresu pomiarowego częstości impulsów.

2.5.6. Jeżeli możliwe jest przesuwanie detektora, można otrzymać błędne sygnały z pomiaru okresu. Powinno się zachować ostrożność, aby sygnały tego rodzaju nie spowodowały zbędnych wyłączeń reaktora lub nie pogorszyły warunków bezpieczeństwa.

2.5.7. Jeżeli progi sygnałów muszą być nastawiane przez operatora zgodnie z warunkami pracy, a różnica między aktualnie mierzonym parametrem a poziomem progu nie może przekroczyć określonej wartości, powinien być przewidziany sygnał ostrzegający operatora o naruszeniu tego warunku (sygnał niewłaściwego nastawienia progu zabezpieczeń).

Przekroczenie dopuszczalnego marginesu może powstać, jeżeli np. próg gęstości strumienia nie będzie nastawiony ponownie po zaprogramowanej redukcji mocy i przepływu chłodziwa.

2.5.8. Jeżeli jest niezbędne, aby dany przyrząd pracował na właściwym zakresie, nastawienie zakresu powinno być zapewnione przez odpowiednie zaprojektowanie systemu przełączania.

2.6. Skalowanie i sprawdzanie urządzeń do pomiaru gęstości strumienia neutronów

2.6.1. Jeżeli są potrzebne wskazania mocy termicznej za pomocą przyrządów do pomiaru gęstości strumienia neutronów, przyrządy te powinny być skalowane na mocy znamionowej za pomocą pomiarów cieplnych (bilans cieplny). Ponieważ stosunek między mocą reaktora a gęstością strumienia neutronów w detektorze może zmieniać się przy zmianach rozkładu gęstości strumienia w reaktorze, skalowanie powinno być wykonane wtedy, gdy zatrucie ksenonem osiągnie stan równowagi.

Podzakresy przyrządu powinny w dostatecznym stopniu zachodzić na siebie, aby umożliwić skalowanie podzakresów mniejszej mocy przez porównanie z podzakresami większej mocy.

2.6.2. W urządzeniach pomiarowych powinna być możliwa wymiana bloków podstawowych i układów funkcjonalnych na odpowiednie zapasowe, bez uszkodzenia skali tych urządzeń. Należy zwrócić uwagę, że przy określonym napięciu zasilania czułość poszczególnych detektorów neutronów może się zmieniać.

2.6.3. We wszystkich urządzeniach, jeżeli jest to uzasadnione, winny być wbudowane układy ułatwiające sprawdzanie poszczególnych przyrządów w warunkach normalnej pracy. Przyrządy te powinny być tak zaprojektowane, aby możliwe było sprawdzanie kompletnego urządzenia pomiarowego.

2.7. Pomiary rozkładu gęstości strumienia. Poza pomiarami gęstości strumienia neutronów termicznych, np. na zewnątrz zbiornika (ciśnieniowego) reaktora, jest czasem niezbędne określenie przestrzennego (pro-

mieniowego i osiowego) rozkładu gęstości strumienia wewnątrz rdzenia reaktora. W tych przypadkach należy przewidzieć odpowiednie wyposażenie pomiarowe umożliwiające kontrolę i ewentualne utrzymywanie założonego rozkładu gęstości strumienia w rdzeniu.

Można stosować wewnątrz-rdzeniowe pomiary gęstości strumienia neutronów dla oceny rozkładu strumienia w rdzeniu i dokładnej, szczegółowej oceny rozkładu mocy. Można je także wykorzystać do efektywnej gospodarki paliwem w celu uzyskiwania maksymalnie korzystnej produkcji energii i wydłużenia żywotności.

3. POMIARY TEMPERATURY

3.1. Wymagania ogólne

3.1.1. Pomiary temperatury w reaktorach jądrowych są wykonywane przeważnie metodami konwencjonalnymi i mają na celu optymalizację parametrów ruchowych oraz sterowanie i zabezpieczenie. Jest jednak konieczne uzupełnienie metod konwencjonalnych zaleceniami dotyczącymi problemów specyficznych występujących przy projektowaniu i budowie reaktorów jądrowych. W szczególności należy wziąć pod uwagę zmiany własności fizycznych i chemicznych materiałów, z których zbudowane są urządzenia pomiarowe poddane działaniu promieniowania.

3.1.2. Liczba punktów, w których wykonywane są pomiary temperatury powinna być dostatecznie duża dla zapewnienia odpowiedniego sterowania reaktorem nawet wtedy, gdy racjonalnie przewidywana liczba czujników temperatury ulegnie uszkodzeniu w czasie ich eksploatacji. Jeżeli czujniki temperatury nie mogą być wymieniane, powinna być przewidziana odpowiednia liczba wbudowanych czujników rezerwowych, które powinny być okablowane aż do miejsca stale dostępnego.

3.2. Wpływ napromieniowania na dokładność pomiarów temperatury. Napromieniowanie materiałów w reaktorze wywołuje różne efekty, których wielkość zależy od rodzaju promieniowania, natężenia promieniowania i własności napromieniowanego materiału. W szczególności należy zwrócić uwagę na:

- a) wywołanie niepożądanego jądrowego nagrzewania materiałów detektorów,
- b) zmianę oporności elektrycznej przewodników i izolatorów,
- c) pojawienie się niejednorodności struktury fizycznej,
- d) przemiany chemiczne pierwiastków i stopów,
- e) system pomiaru potencjału termopar, winien być także zabezpieczony przed wpływami efektów zbytniego nagromadzenia ładunków, powodowanego przez wpływ promieniowania jonizującego na wewnątrz-rdzeniowe termopary.

3.3. Pomiary temperatury paliwa. Jeżeli temperatura paliwa jest parametrem krytycznym, to sposoby jej określania winny być odpowiednie zarówno dla normalnych warunków pracy reaktora tzn. takich, w których temperatura nie przekracza założonych wartości, jak i w warunkach nienormalnych tzn. takich, w których temperatura paliwa przekracza wartości bezpiecz-

ne i powstaje konieczność odpowiednio szybkiego uruchomienia systemu zabezpieczeń. Przy określaniu wymagań dotyczących oprzyrządowania do pomiarów w warunkach nienormalnych powinny być przewidziane odpowiednie zakresy temperatur.

Należy zwrócić uwagę na gradient temperatury w paliwie, statystyczny rozkład zmian temperatury w rdzeniu reaktora oraz liczbę wymaganych pomiarów temperatury paliwa.

Czasami bezpośrednie pomiary temperatur krytycznych paliwa są niemożliwe. W tych przypadkach temperatury te muszą być określane przez dedukcję na podstawie wskazań pobliskich czujników, z uwzględnieniem gradientu temperatury i wymiany ciepła w badanym obiekcie.

Możliwe jest określanie temperatury koszulki lub otuliny paliwa bez konieczności wykonywania bezpośredniego pomiaru, jeżeli są znane lub mierzone charakterystyki wymiany ciepła, rozkład mocy i temperatura oraz wydatek chłodziwa. Stąd temperatura koszulki lub otuliny paliwa może być utrzymana w bezpiecznych granicach, jeżeli gęstości strumienia neutronów, rozkład mocy, wydatek i temperatura chłodziwa są utrzymane w założonych bezpiecznych granicach.

3.4. Pomiary temperatury moderatora. W niektórych reaktorach konieczne jest mierzenie temperatury moderatora dla ustalenia jego własności fizycznych ewentualnie jądrowych.

3.5. Pomiary temperatury chłodziwa

3.5.1. Wymagania ogólne. Dla zapewnienia wymaganych warunków sterowania i zabezpieczenia w niektórych reaktorach konieczne jest mierzenie temperatury chłodziwa na wejściu i wyjściu z reaktora oraz na wyjściu kanałów paliwowych. Opóźnienia czasowe w pomiarach temperatur powinny odpowiadać wymaganiom dotyczącym dopuszczalnych błędów pomiarów powodowanych stanami przejściowymi.

3.5.2. Temperatura na wejściu i wyjściu obiegu chłodzącego reaktora. Jeżeli wykonuje się pomiary temperatury na wejściu i wyjściu obiegu chłodzącego dla potrzeb zabezpieczeń reaktora, wyniki tych pomiarów powinny być przekazywane do układów zabezpieczeń reaktora w celu wywołania odpowiednich sygnałów i uruchomienia mechanizmów wyłączających, w przypadku wystąpienia nienormalnych warunków cieplnych w reaktorze. Pomiary tego typu mogą stanowić dodatkowe zabezpieczenie obok zabezpieczeń przed przekroczeniem dopuszczalnych temperatur elementów paliwowych. Jeżeli występuje warstwowy przepływ chłodziwa, konieczne jest staranne określenie umiejscowienia i liczby czujników, szczególnie jeżeli ma być wyliczana średnia temperatura chłodziwa.

3.5.3. Temperatura chłodziwa na wyjściu kanałów paliwowych. Pomiar temperatury chłodziwa na wyjściu kanałów paliwowych dostarcza informacji potrzebnej do wyznaczenia promieniowego rozkładu temperatur w przekroju rdzenia reaktora i ułatwia kontrolę różnych rodzajów niestabilności, które mogą zaistnieć w reaktorze.

3.5.3.1. Można uzyskać wyższy stopień zabezpieczenia stosując dodatkowo, w stosunku do pomiarów temperatury dla zabezpieczeń, czujniki temperatury o małej bezwładności (małych stałych czasowych) określające fluktuacje temperatury chłodziwa.

3.5.3.2. Efektywne wykorzystanie pomiaru temperatury wylotowej chłodziwa danego kanału do celów zabezpieczeń wymaga rozpatrzenia warunków przepływu chłodziwa. Szczególną uwagę należy zwrócić na czas przejścia, pojemność cieplną i lokalizację w stosunku do wylotu z kanału paliwowego.

3.6. Pomiary temperatur istotne ze względu na bezpieczeństwo reaktora. Jeżeli sygnały zależne od poziomów temperatury są wymagane do zabezpieczenia reaktora, to powinny one pochodzić z wybranych punktów i służyć jedynie do celów zabezpieczenia, chyba że jest praktycznie możliwe całkowite wyeliminowanie wpływu innych obwodów ewentualnie współpracujących. Dla wytworzenia każdego sygnału wyłączającego potrzebna jest określona liczba niezależnych pomiarów, tak aby stworzyć system działający na zasadzie koincydencji wiarogodnych sygnałów. W przypadku sygnałów wyłączających zależnych od temperatury elementów paliwowych, należy w wybranych elementach instalować po jednym czujniku, aby uniknąć dużej liczby pomiarów w pojedynczym elemencie paliwowym, które wymagałyby specjalnej konstrukcji. Czujniki powinny być tak rozmieszczone, aby w najgorszych warunkach rozkładów temperatur nie była ograniczona liczba informacji niezbędna dla prawidłowego działania zabezpieczeń.

Skalowanie urządzeń pomiarowych powinno być przeprowadzane w zakresie normalnych temperatur pracy reaktora.

Jeżeli do połączeń czujników są używane zestyki ruchome, ich konstrukcja winna zapewnić, że nie pojawiają się fałszywe *SEM* od kontaktów termoparowych w tych zestykach zarówno w ustalonych, jak i w przejściowych stanach cieplnych.

3.7. Tory pomiarowo-kontrolne zabezpieczeń zależnych od temperatury. Tory zabezpieczeń przed nadmiernym wzrostem temperatury powinny odpowiadać wymaganiom systemu zabezpieczeń reaktora. Szczególną uwagę należy zwrócić na spełnienie założeń „bezpiecznego uszkodzenia”, wysoką niezawodność oraz zabezpieczenie przed takim błędnym działaniem, które może prowadzić do powstania potencjalnego zagrożenia.

3.8. Przedstawienie (prezentacja) pomiarów temperatury. Może być wymagany specjalny sposób prezentacji pomiarów temperatur ze względu na znaczną ich liczbę i potrzebę szybkiego oszacowania wyników przez operatora.

4. POMIARY CHŁODZIWA

4.1. Wymagania ogólne. Jeżeli wydatek chłodziwa jest istotny dla bezpieczeństwa reaktora, winno być zastosowane odpowiednie urządzenie zabezpieczające, działające w ten sposób, że jakiegokolwiek niebezpieczne

wartości ciśnienia lub wydatku spowodują zapoczątkowanie działania korekcyjnego. Dlatego konieczne jest też zastosowanie odpowiednich bezpośrednich pomiarów ciśnienia i wydatku w obiegu chłodzenia lub uzyskiwanie tych danych pośrednio.

Wszystkie materiały używane w urządzeniach pomiarowych, a będące w kontakcie z chłodziwem winny być sprawdzone na reakcje z materiałami obiegu chłodzenia. Należy też przeanalizować efekty możliwych niezamierzonych (w wyniku uszkodzeń) kontaktów z chłodziwem.

4.2. Wydatek chłodziwa

4.2.1. Wymagania ogólne. Wskazania wydatku chłodziwa w każdym obiegu powinny być przedstawiane w sterowni w miejscu, z którego operator może je łatwo i szybko odczytać podczas nastawiania regulatorów wydatku.

Wybrana metoda pomiaru wydatku winna być możliwie najbardziej bezpośrednia i winna zapewniać niezawodne wskazania wydatku w całym zakresie pracy. Pomiary winny być przeprowadzane w takim miejscu, w którym będą wykrywane zmiany wydatku, zależne zarówno od zmian prędkości pompy, jak też ruchu zaworów. Znaczna zmiana wydatku może mieć wpływ na bezpieczeństwo reaktora. Sygnały wyłączające lub akcje korekcyjne winny być zatem inicjowane w przypadku uszkodzenia takich urządzeń, jak zawory lub pompy, które mogą zmieniać znacznie wartość wydatku. Zanik zasilania takiego urządzenia winien zapoczątkować także podobny sygnał.

Urządzenia redukujące moc reaktora jądrowego w przypadku powstania niebezpiecznych warunków przepływu winny być uruchamiane bezpośrednio przez system zabezpieczeń reaktora, a odpowiednie pomiary wydatku winny być właściwie zwielokrotnione z zastosowaniem koincydencji sygnałów tak, aby w przypadku obniżenia wydatku poniżej wartości dopuszczalnej zostało zainicjowane automatyczne wyłączenie reaktora przez system zabezpieczeń.

4.2.2. Wymagania dotyczące układów kontroli wydatku. Każdy układ zabezpieczający przed obniżeniem wydatku winien umożliwiać kontynuowanie pracy reaktora przy obniżonej mocy, gdy poszczególne pętle cyrkulacyjne odbioru ciepła zostaną odłączone dla prac konserwacyjno-remontowych. Czas odpowiedzi torów pomiarowych winien być dostosowany do wymagań dotyczących zabezpieczeń.

Jakiegokolwiek części torów pomiarowych przepływów zainstalowane w obiegach chłodzenia nie powinny przeszkadzać w pracach konserwacyjno-przebiegowych, wykonywanych w tych obiegach. Części te winny być umocowane w sposób pewny i wykonane z materiałów nie kolidujących korozyjnie z koszulkami elementów paliwowych reaktora i z samym chłodziwem.

4.3. Ciśnienie chłodziwa

4.3.1. Wymagania ogólne. Konieczne jest zapewnienie zarówno odpowiedniego wydatku chłodziwa we wszystkich warunkach, jak również utrzymanie ciśnienia chłodziwa na określonej wartości przy dowolnym poziomie mocy. Przecieki z obwodów ciśnieniowych mogą mieć

postać od małych przecieków do dużych wypływów przy większych pęknięciach w obiegu chłodzącym. Z tych powodów powinno być mierzone ciśnienie chłodziwa, a bywa także celowe mierzenie szybkości zmian ciśnienia.

Bywają potrzebne dodatkowe pomiary różnicy ciśnienia w miejscach uszczelnień dla sprawdzenia ich skuteczności i po obu stronach zasuw odcinających w obiegach chłodzenia, tak aby przed włączeniem nowego obiegu chłodzenia można było sprawdzić, czy są prawidłowe parametry wydatku.

Powyższe wymagania są uzależnione od konstrukcji obiektu, a w szczególności od charakterystyk dmuchaw, pomp, wentylatorów itd.

4.3.2. Cechy konstrukcyjne urządzeń. Jeżeli chłodziwo jest wykorzystane jako medium przekazujące sygnał pomiarowy poza granice obwodu ciśnieniowego trzeba zapewnić, aby obecność zanieczyszczeń ciałami stałymi w chłodziwie w żadnym przypadku nie wpłynęła na jakość pomiarów. Jeżeli w obiegach są stosowane filtry, nie mogą one zakłócać pomiarów nawet gdy ulegną zatkaniu. Powinny być także stosowane filtry zapasowe, albo też przy skalowaniu należy uwzględnić przewidywany spadek ciśnienia na filtrach. Przekroje przetotów jakichkolwiek elementów występujących w obwodach pomiarowych powinny być tak duże, jak tego wymaga dokładność pomiaru i doświadczenie. Konieczne jest, aby wszystkie przewody rurowe wprowadzane do obiegu chłodzenia były wykonane z odpowiednich materiałów (w większości przypadków stosuje się stal nierdzewną). Winien być stosowany pneumatyczny lub elektryczny system telemetryczny, aby uniknąć wprowadzania rurowych przewodów ciśnieniowych do pomieszczeń sterowni.

4.4. Poziom chłodziwa. W reaktorach jądrowych chłodzonych cieczą powinno być przewidziane oprzyrządowanie do określania poziomu chłodziwa dla utrzymania tego poziomu w określonych granicach, aby zabezpieczyć odpowiednią cyrkulację przez rdzeń i zapobiec kawitacji występującej w pompach cyrkulacyjnych. W reaktorach jądrowych, w których woda stanowi osłonę przed promieniowaniem, należy przewidzieć oprzyrządowanie zapewniające utrzymanie odpowiedniego poziomu oraz niezawodne osłonięcie elementów paliwowych.

4.5. Przecieki chłodziwa. Ze względu na toksyczność i radioaktywność wyciekającego chłodziwa, które stanowią pierwszą oznakę anomalii, ilość (dopływ) uzupełniającego poziom chłodziwa winna być rejestrowana jako miara przecieków chłodziwa. Należy przewidzieć sygnalizację ostrzegawczą, gdy przeciek przekracza dopuszczalny poziom. Gdy reaktor jest otoczony obudową bezpieczeństwa, mogą wystąpić przecieki chłodziwa z obiegu pierwotnego.

Wysokie ciśnienie wewnątrz obudowy lub inne mierzone tam parametry (np. temperatura) mogą być wskaźnikiem pęknięcia w obiegu pierwotnym (5.1.21) i w takim przypadku mogą być użyte do zainicjowania wyłączenia awaryjnego.

4.6. Czystość chłodziwa. W niektórych reaktorach pomiary czystości chłodziwa są konieczne dla ustalenia stanu reakcji chemicznych między chłodzikiem a pozostałymi częściami reaktora. Analiza chłodziwa w obiegu pierwotnym lub w niektórych przypadkach pary lub chłodziwa w obiegu wtórnym może także prowadzić do wykrycia przecieków pomiędzy obiegami pierwotnymi i wtórnymi.

4.7. Aktywność chłodziwa. Pomiary aktywności chłodziwa mogą być wykorzystywane do różnych celów, które podano w 4.7.1 ÷ 4.7.3.

4.7.1. Pomoc przy ustalaniu ilości uwolnionej aktywności w czasie zamierzonego lub przypadkowego wylewania chłodziwa.

4.7.2. Wykrywanie i lokalizacja uszkodzonych elementów paliwowych.

4.7.3. Sprawdzanie skuteczności działania obiegu oczyszczania chłodziwa.

5. SYSTEM ZABEZPIECZEŃ

5.1. Określenia

5.1.1. Wprowadzenie. W postanowieniach rozdziału 5 stosuje się określenia wg 5.1.2 ÷ 5.1.21.

5.1.2. System — zespół lub zestaw urządzeń, przyrządów, bloków podstawowych i elementów zaprojektowany, skompletowany i połączony w celu wykonywania zadanych funkcji.

System obejmuje również organizację i programy uregulowane odpowiednią dokumentacją, np. system sterowania fabryką.

5.1.3. System zabezpieczeń — system zabezpieczający przed przekroczeniem określonych granic parametrów pracy reaktora lub redukujący konsekwencje przekroczenia tych granic.

System zabezpieczeń obejmuje układ wyłączenia awaryjnego, układy odcinania (uszczelniania) obudowy bezpieczeństwa, jeżeli są zastosowane oraz układy inicjujące chłodzenie awaryjne itp.

5.1.4. Układ wyłączenia awaryjnego — część systemu zabezpieczeń powodująca odpowiednio szybkie wyłączenie reaktora.

5.1.5. Układ blokad awaryjnych — część systemu zabezpieczeń, która dopuszcza wykonywanie niektórych operacji warunkujących bezpieczeństwo reaktora jedynie wówczas, gdy spełnione są określone warunki.

5.1.6. Układ awaryjnego obniżania mocy — część systemu zabezpieczeń, która przy powstaniu określonych warunków steruje obniżeniem mocy do poziomu uważanego w tych warunkach za bezpieczny.

5.1.7. Układ sygnalizacji alarmowej — część systemu zabezpieczeń realizująca sygnalizację alarmową (patrz ograniczenia wg 5.4.5).

5.1.8. Sygnalizacja alarmowa — funkcja ostrzegawcza (alarmowa) wymagająca od operatora niezbędnych działań zabezpieczających.

5.1.9. Zespół (tor) pomiarowo-kontrolny zabezpieczeń — zespół pomiarowo-kontrolny używany do zabezpieczenia reaktora. Zespół taki normalnie składa się z czuj-

nika, zespołów obróbki i dyskryminacji sygnału czujnika (które przetwarzają sygnał analogowy na dwustanowy), pośrednich połączeń kablowych i obwodu wyjściowego, np. termopara dołączona do wzmacniacza z dyskryminatorem progowym i przekaźnikiem wyjściowym.

5.1.10. Obwód logiczny zabezpieczeń — zespół dołączony do jednego (lub więcej) toru pomiarowo-kontrolnego zabezpieczeń, przeznaczony do wykonania określonej funkcji logicznej i wydania sygnału wyzwalającego do jednego (lub więcej) zespołu wykonawczego zabezpieczeń.

5.1.11. Zespół wykonawczy zabezpieczeń — część systemu zabezpieczeń, która po otrzymaniu sygnału wyzwalającego wykonuje bezpośrednio akcję zabezpieczającą (patrz ograniczenia wg 5.3.5).

5.1.12. Defekt bezpieczny — nieprzewidywane zwiększenie prawdopodobieństwa wykonania niezadanej funkcji zabezpieczeń, gdy nie zostały przekroczone granice bezpiecznego zakresu parametrów pracy.

5.1.13. Defekt niebezpieczny — nieprzewidywane zmniejszenie prawdopodobieństwa wykonania zadanej funkcji zabezpieczeń [defekt, który obniża prawdopodobieństwo odpowiednich działań systemu zabezpieczeń, gdy powstały już nienormalne (awaryjne) warunki pracy reaktora].

5.1.14. Zbędne wyłączenie — wyłączenie będące wynikiem defektu bezpiecznego lub błędnych operacji obsługi reaktora.

5.1.15. Wyzwalanie — przełączenie dwustanowego elementu lub urządzenia z jednego stanu w drugi (z „normalnego” w „nienormalny”).

W rozumieniu tej normy „normalny” stan odpowiada warunkom pracy reaktora mieszczącym się w bezpiecznych granicach, a „nienormalny” odpowiada warunkom wymagającym działań zabezpieczających, podanym w poz. a) i b).

a) Wyzwalanie przez tor pomiarowo-kontrolny zabezpieczeń — przełączenie do ich nienormalnych stanów jednego lub więcej dwustanowych sygnałów wyjściowych toru (np. ostrzeżenia alarmowego obniżania mocy, wyłączenia awaryjnego).

b) Wyzwalanie przez obwód logiczny zabezpieczeń — przełączenie do nienormalnego stanu sygnału (sygnałów) wyjściowego obwodu logicznego zabezpieczeń.

5.1.16. Poziom wyzwalania (próg wyzwalania) — mierzona wartość parametru (wielkości fizycznej), przy której inicjowana jest akcja zabezpieczeń.

5.1.17. Margines wyzwalania — różnica między aktualną wartością określonego parametru a poziomem wyzwalania tego parametru.

5.1.18. Powrót — przełączenie dwustanowego elementu lub urządzenia ze stanu nienormalnego w normalny.

5.1.19. Odblokowanie operacyjne (zabezpieczeń) — blokady operacyjne celowo uniemożliwiające wykonanie zadanej funkcji zabezpieczeń.

5.1.20. Radundancja (zwielokrotnienie) — stosowanie więcej niż jednej grupy układów do wykonania zadanej

funkcji, działających tak, aby defekt określonej liczby tych układów nie powodował niewykonania zadanej funkcji.

5.1.21. Obieg pierwotny — zespół elementów (zbiorniki, rurociągi itp.) o wysokiej szczelności i wytrzymałości, zawierający paliwo i chłodziwo pierwotne.

5.2. Interpretacja stopniowania postanowień. Trybów używanych w rozdziale 5 podano poniżej.

5.2.1. Obowiązkowe: „musi”, „winno”, „ma być”, „na leży”.

5.2.2. Zalecane: „powinno”.

5.2.3. Dozwolone i sprawdzone w praktyce: „może”.

5.3. Wprowadzenie

5.3.1. System zabezpieczeń reaktora przeznaczony jest do ochrony przed sytuacjami, w których warunki pracy reaktora przekraczają określone bezpieczne granice lub dla zredukowania konsekwencji takiego przekroczenia, w przypadkach defektów urządzeń, błędów operacyjnych lub innych nienormalnych sytuacji. Norma niniejsza nie obejmuje zasad określania bezpiecznych granic warunków pracy dla określonych typów reaktorów.

5.3.2. System zabezpieczeń reaktora inicjuje odpowiednie działania zabezpieczające w niezbędnych miejscach i momentach oraz zapewnia stałą gotowość do wykonywania funkcji zabezpieczających przez przewidziane do tego urządzenia i układy. Rodzaj i liczbę tych urządzeń i układów określa się po odpowiednim rozpatrzeniu względów bezpieczeństwa i analizie kosztów, np. reaktory małej mocy mogą nie wymagać zastosowania wszystkich systemów opisanych w niniejszej normie.

5.3.3. Niezawodność bezpieczeństwa i sprawność dobrze zaprojektowanego systemu zabezpieczeń może zostać obniżona przez nieodpowiednią konserwację i procedury testowania. Szczegółowe przemyślenie, zadokumentowanie i egzekwowanie tych procedur jest więc zasadniczą sprawą dla bezpieczeństwa obiektu. Równie zasadniczą sprawą jest wysoka jakość wykonawstwa w produkcji i montażu urządzeń.

5.3.4. Dodatkowe urządzenia zabezpieczające mogą być niezbędne w specjalnych okolicznościach, np. w czasie pierwszego załadunku paliwa (rozruch fizyczny), prób odbiorczych, przeładunku paliwa, remontów. Nawet gdy te urządzenia są stosowane okresowo, winny one spełniać wymagania systemów zabezpieczeń.

5.3.5. W postanowieniach niniejszej normy przyjmuje się, że system zabezpieczeń obejmuje wszystkie urządzenia i układy od czujników do sterujących zespołów wykonawczych, lecz **nie obejmuje samych prętów regulacyjnych i ich mechanizmów napędowych, ani innych mechanizmów uruchamianych przez system zabezpieczeń.**

5.4. Funkcje systemu zabezpieczeń

5.4.1. Wymagania ogólne. W czasie normalnej eksploatacji, reaktor jest sterowany ręcznie przez operatora oraz automatycznie przez szereg regulatorów, tym niemniej różne nienormalne sytuacje mogą wywoływać stany przejściowe doprowadzające do uszkodzeń i potencjalnego zagrożenia reaktora. Operator i automatyczne regulatory mogą opanować odpowiednio wolne

stany przejściowe, lecz aby chronić przed szybkimi stanami przejściowymi oraz błędami operacyjnymi lub defektami regulatorów i operacyjnego systemu sterowania, winny bezwzględnie istnieć automatyczne zabezpieczenia, mające priorytet w stosunku do działań operatora. Dla zabezpieczenia reaktora w takich warunkach kontroluje się w sposób ciągły wielkości fizyczne istotne z punktu widzenia zabezpieczeń, a wyjściowe inicjujące sygnały z odpowiednich torów pomiarowo-kontrolnych powodują działania specjalnego systemu zabezpieczeń reaktora.

Przy nienormalnych warunkach system zabezpieczeń inicjuje automatycznie odpowiednią akcją zabezpieczającą, np. natychmiastowe wyłączenie reaktora. Dla niektórych przypadków te sygnały mogą być wykorzystane dodatkowo do inicjowania innych akcji zabezpieczających, np. uruchomienia chłodzenia awaryjnego. System zabezpieczeń może zawierać takie układy zabezpieczeń, jak:

- układ awaryjnego wyłączenia,
- układ awaryjnego obniżania mocy,
- układ blokad awaryjnych,
- układ alarmowej sygnalizacji.

Należy zwrócić uwagę, że do różnych układów zabezpieczeń zalicza się szereg urządzeń, od czujników do wejść sterujących mechaniczne urządzenia wykonawcze. Należy projektowo zapewnić, aby funkcje układów zabezpieczeń nie mogły zostać unieruchomione, ani nie były zakłócane przez inne układy i systemy.

Niektóre przypadki w określonych typach reaktora (szczególnie związane z np. pęknięciem pierwotnego obiegu ciśnieniowego) wywołują następstwa niemożliwe do wymaganego zredukowania tylko za pomocą wyłączenia reaktora. Dla takich przypadków bezwzględnie muszą być przewidziane inne środki ochronne, jak np. obudowa bezpieczeństwa.

System zabezpieczeń może obejmować oprzyrządowanie i układy sprzężone z obudową bezpieczeństwa. Układ zabezpieczeń obudowy bezpieczeństwa powinien obejmować tory kontrolno-pomiarowe i/lub obwody logiczne inicjujące działanie układu, np. zamykanie zaworów (zasuw) odcinających. Projektowe rozwiązania układu zabezpieczeń obudowy bezpieczeństwa powinny być zgodne z ogólnymi zasadami systemów zabezpieczeń wymienionych w 5.6 i jeżeli mają zastosowanie w danym przypadku także w 5.7.1.

Można wprowadzić odblokowania operacyjne dla powstrzymania akcji części systemu zabezpieczeń jako wynik niezbędnych potrzeb operacyjnych (5.11).

Sygnalizacja wg rozdz. 8 ma wskazywać nienormalne warunki uprzedzając niezbędną akcją zabezpieczeń, a analiza tych sygnałów może być wykorzystana do odpowiedniego działania operatora.

5.4.2. Układ wyłączenia awaryjnego. Układ wyłączenia awaryjnego zabezpiecza reaktor automatycznym wprowadzeniem ujemnej reaktywności. Jej wartość i szybkość wprowadzania musi być taka, by nastąpiło odpowiednio niezawodne wyłączenie reaktora w każdym przewidywanym przypadku awarii. Tym niemniej należy zaznaczyć, że niektóre niezwykle mało

prawdopodobne przypadki, spowodowane np. zewnętrznymi katastrofami, mogłyby spowodować stany przejściowe niemożliwe do opanowania przez układ awaryjnego wyłączenia reaktora.

Rozważania dotyczące występowania prawdopodobieństwa takich przypadków i możliwości tolerowania ich konsekwencji nie wchodzi w zakres niniejszej normy.

Wprowadzenie ujemnej reaktywności w celu wyłączenia reaktora może być wykonane wieloma sposobami. W niniejszej normie podaje się tylko zalecenia dotyczące stosowania normalnego układu wyłączenia awaryjnego, który automatycznie wyłącza reaktor w wyniku sygnałów z zespołów pomiarowo-kontrolnych i zespołów logicznych zabezpieczeń. Systemy zabezpieczeń działające na zasadzie bezpiecznika topikowego, mające zapasowe urządzenia wyłączające, np. wstrzeliwanie trucizny itp., nie wchodzi w zakres niniejszej normy.

Jako dodatkowy środek bezpieczeństwa, poza automatyczną akcją wyłączenia, musi być stosowane ręczne włączanie urządzeń wyłączenia awaryjnego.

5.4.3. Układ awaryjnego obniżania mocy. Niejednokrotnie stosuje się układy obniżania mocy reaktora, za pomocą zaprogramowanej regulacji, aby zmniejszyć liczbę awaryjnych wyłączeń reaktora i związanych z nimi niedogodności ruchowych (np. obniżenie dyspozycyjności, przejściowe zatrucie, naprężenia cieplne). Jeżeli układ taki uznaje się za część systemu zabezpieczeń, winien on być projektowany jako układ awaryjnego obniżania mocy i wykonany zgodnie z wymaganiami dotyczącymi systemów zabezpieczeń.

5.4.4. System blokad awaryjnych. Mogą istnieć wymagania, aby niektóre operacje z reaktorem wykonywane były w zadanej sekwencji i/lub dozwolone tylko wówczas, gdy istnieją przewidziane warunki. Potencjalne zagrożenie reaktora można projektowo wykluczyć lub zmniejszyć ich następstwa stosując system blokad awaryjnych. Gdy blokady są uznane za część systemu zabezpieczeń, należy je nazywać blokadami awaryjnymi i wykonywać zgodnie z wymaganiami dla systemów zabezpieczeń.

5.4.5. System sygnalizacji alarmowej. W niektórych okolicznościach może być dopuszczalne uznawanie, że operator wraz z odpowiednią sygnalizacją jest częścią systemu zabezpieczeń. Taką sytuację dopuszcza się tylko wtedy, gdy czas jaki może upłynąć do podjęcia odpowiednich działań jest odpowiednio długi i można uzasadnić, że operator może i zdaży podjąć to działanie. Sygnały, wymagane do wskazania zagrożenia, winny być określane jako sygnały alarmowe. Sygnalizacja alarmowa winna być zaprojektowana zgodnie z wymaganiami dla systemów zabezpieczeń.

5.4.6. Odblokowania operacyjne. W systemach niektórych reaktorów, szczególnie reaktorów energetycznych, występuje konieczność blokowania części systemu zabezpieczeń w czasie pracy reaktora, jak np. bloko-

wanie wyłączeń reaktora określonymi poziomami mocy. W takim przypadku można zastosować odblokowania, które winny być projektowane zgodnie z wymaganiami dotyczącymi systemów zabezpieczeń.

5.4.7. Techniczne środki bezpieczeństwa muszą działać podczas lub po wypadku, aby ograniczyć konsekwencję wypadku (awarii). Techniczne środki bezpieczeństwa, ich sterowanie, oprzyrządowanie i zasilania zapasowe winny być zaprojektowane wg odpowiednich zasad systemu zabezpieczeń i/lub wyłączania awaryjnego.

Zasilania zapasowe są sprawą zasadniczą dla niektórych technicznych środków bezpieczeństwa, lecz projektowanie tych zasilania nie jest przedmiotem niniejszej normy.

5.5. Pomiary wielkości fizycznych dla celów zabezpieczeń

5.5.1. Pomiar wielkości fizycznej dla celów zabezpieczeń powinien być wydzielony z innych pomiarów i nie używany do żadnych innych funkcji. Jeżeli nie jest wydzielony np. z powodów wymienionych w 1.3.5c), muszą być projektowo zapewnione środki, aby akcja zabezpieczeń nie była zakłócona żadnym defektem w obwodach (urządzeniach) związanych z drugorzędnymi funkcjami. Powinno się także projektowo zapewnić, aby akcja zabezpieczeń nie była zakłócona w inny sposób.

Gdy zmienne, które są mierzone dla wykorzystania w systemie zabezpieczeń, są również wykorzystywane przez operacyjny system sterowania, np. z powodów wymienionych w 1.3.5c), należy w projekcie zastosować takie sposoby, które chronią akcje zabezpieczające przed jakimkolwiek wpływem i zakłóceniami. Te sposoby winny obejmować między innymi środki zapewniające elektryczną (galwaniczną) izolację torów systemu zabezpieczeń od urządzeń i aparatury systemu operacyjnego (sterowania) oraz środki działania w przypadku zaistnienia niebezpiecznego defektu (zarówno prostych, jak wielokrotnych defektów spowodowanych pojedynczą pierwotną przyczyną) w systemie zabezpieczeń, gdy te defekty także powodują działanie regulatorów wymagające zabezpieczeń.

Inne sposoby mogą obejmować także dodatkowe redundancyjne obwody i tory pomiarowe oraz zastosowanie celowo różnorodnych metod pomiarowych.

5.5.2. System powinien być tak projektowany, aby wielkości fizyczne dla zabezpieczeń były mierzone w miarę możliwości bezpośrednio.

5.5.3. Jakość i dane techniczne torów pomiarowo-kontrolnych zabezpieczeń muszą odpowiadać wymaganiom zgodnym z zasadami bezpieczeństwa reaktora.

5.5.4. Mimo iż niejednokrotnie nie ma potrzeby wskazywania wartości wielkości mierzonej, może stanowić ona dodatkową informację dla operatora i także jest użyteczna przy testowaniu torów pomiarowo-kontrolnych zabezpieczeń. Alternatywnie — wskazanie marginesu wyzwalać może być jeszcze bardziej przydatną informacją.

5.5.5. Niejednokrotnie jest pożądane przy powstawaniu nienormalnych warunków pracy reaktora szybkie rejestrowanie wielu kontrolowanych wartości, których

zapis inaczej byłby stracony od chwili rozpoczęcia akcji zabezpieczeń. Można dostosować i użyć także do tego celu system rejestracji danych używany w normalnej eksploatacji obiektu. Zapis może być inicjowany automatycznie lub ręcznie. Możliwym udoskonaleniem takiego systemu jest magazynowanie danych o wybranych wielkościach w pamięci obejmującej odpowiednio krótki odcinek czasu. Zadziałanie systemu zabezpieczeń może wówczas równocześnie inicjować rejestrację nowych wartości tych wielkości.

5.6. Projekt systemu zabezpieczeń

5.6.1. Wymagania ogólne. Zasady działania i projektowania specyficznych układów zabezpieczeń w ramach całego systemu zabezpieczeń są wystarczająco podobne, trudno jest sformułować ogólne wymagania obejmujące wszystkie funkcje.

5.6.2. Zasady projektowania

5.6.2.1. Jednym z głównych zadań w projektowaniu każdego specyficznego układu zabezpieczeń jest zredukowanie konsekwencji defektów, tak aby pojedynczy defekt lub ciąg defektów wywołanych jednym zdarzeniem nie spowodował niemożliwości wykonania funkcji zabezpieczeń. Połączenia obwodów i koncepcja urządzeń winna być taka, aby prawdopodobieństwa niebezpiecznych defektów i zbędnych zadziałań układów zabezpieczeń były dopuszczalnie małe.

5.6.2.2. Każdy element składowy każdego układu zabezpieczeń winien być rozpatrzony z punktu widzenia wykonywanych funkcji i możliwych defektów, które mogą wpłynąć na jego poprawne działanie. W maksymalnie możliwym praktycznie stopniu przyrządy stosowane w każdym układzie zabezpieczeń winny być zaprojektowane tak, aby defekt jakiegokolwiek elementu lub odłączenie zasilania powodował zmianę w kierunku bezpiecznym, tzn. jest bezpiecznym defektem.

Częstość występowania defektów bezpiecznych w systemach reaktorów energetycznych ma także duże znaczenie, gdyż może spowodować zbędne wyłączenie i znaczne straty ekonomiczne. Występowanie dużej częstości defektów bezpiecznych dowodzi błędnych koncepcji projektowych. Częstość defektów, nawet bezpiecznych, powinna być utrzymana na jak najniższym poziomie.

5.6.2.3. Aby zapewnić odpowiedni poziom bezpieczeństwa i dyspozycyjności reaktora, może być konieczne zastosowanie zwielokrotniania (redundancji), koincydencji oraz techniki testowania w czasie pracy.

5.6.2.4. Projekt systemu zabezpieczeń powinien zapewnić fizyczną i elektryczną niezależność jego podzespołów tak, by pojedynczy defekt jednego podzespołu nie mógł uszkodzić innego podzespołu lub powodować bezpieczne lub niebezpieczne defekty układu.

5.6.2.5. System zabezpieczeń powinien być możliwie jak najprostszymi w koncepcji i w działaniu w stosunku do wymaganych odeń funkcji.

5.6.2.6. Dla utrzymania odpowiedniego poziomu niezawodności, wyposażenie systemu wymaga okresowej konserwacji i testowania. Powinny być przewidziane możliwości i urządzenia do testowania aparatury i wyposażenia w czasie pracy w celu stwierdzenia zgodności ich charakterystyk z wymaganiami.

5.6.2.7. Po zainicjowaniu wyzwiania (wyłączenia), system zabezpieczeń nie może powrócić do stanu normalnego (zostać odblokowany) dopóki wielkości mierzone nie powrócą do bezpiecznych wartości. Powrót (odblokowanie) systemu w przypadku wyłączenia reaktora powinien być wykonywany ręcznie. Inne akcje zabezpieczeń, jak np. awaryjne obniżenie mocy, mogą mieć powrót automatyczny, jeżeli rozwiązanie projektowe zapewnia wykonanie tego w bezpieczny sposób.

5.6.2.8. Tor pomiarowo-kontrolny zabezpieczeń winien wydawać sygnał wyzwiania dla każdej wartości wielkości mierzonej przekraczającej bezpieczne granice. W związku z tym należy zwrócić szczególną uwagę na przekraczające normalne zakresy sygnały, które mogą pojawiać się w wyniku typowych defektów aparatury (lub obsługi, np. stany przejściowe po przełączeniu zakresów).

Wydanie sygnału wyzwiania nie może być uniemożliwione przez szybkość zmian mierzonej wielkości.

5.6.2.9. W zasadzie defekt pojedynczego przyrządu nie powinien powodować wyłączenia reaktora.

5.6.2.10. Jeżeli jest to praktycznie możliwe do wykonania, wszystkie przewidywane warunki awaryjne pracy reaktora powinny być wykrywane przy użyciu dwu różnych, fizycznie niezależnych zjawisk, aby chronić przed możliwymi błędami projektowymi lub nieprawidłowościami działania.

W pewnych okolicznościach można także zastosować różne typy urządzeń mierzących to samo zjawisko fizyczne, zakładając że prawdopodobieństwo pozostawienia reaktora bez kontroli jest dostatecznie małe i że przedsięwzięto środki zmniejszające możliwości błędów systematycznych.

5.6.2.11. Częstość okresowych czynności konserwacyjno-przebiegowych i testowania w czasie pracy powinna wynikać z przewidywanej niezawodności i wymaganej dyspozycyjności urządzeń.

5.6.2.12. Niestabilność (dryft) aparatury systemu zabezpieczeń powinna być wystarczająco mała, aby żadne dodatkowe skalowania nie były potrzebne między przewidzianymi okresami testowania. Zachodzące w czasie zmiany współzależności bezpośrednio mierzonej wielkości i pośrenio określonej wielkości fizycznej mogą jednak w niektórych przypadkach wymagać bardziej częstego skalowania.

5.6.2.13. Aparatura powinna mieć tylko niezbędną liczbę elementów nastawczych w celu uproszczenia sposobów uruchamiania. Jeżeli nastawianie progów wyzwiania jest zmienne, zakres możliwych zmian winien być fizycznie ograniczony zgodnie z wymaganiami na podstawie analiz bezpieczeństwa.

5.6.2.14. Gdy dla zabezpieczenia reaktora istotne jest dobieranie (nastawianie) progów wyzwiania przy różnych warunkach eksploatacyjnych, powinno to być zapewnione za pomocą przewidzianego dodatkowego sygnału marginesu wyzwiania. Sygnał marginesu wyzwiania umożliwia automatyczne przestawienie toru pomiarowo-kontrolnego w bezpiecznym kierunku, w przypadku gdy margines wyzwiania przekroczy wartość dopuszczalną.

Dla wygody i dla uniknięcia systematycznych błędów obsługi lub także przypadków, gdy szybkość zmian staje się zbyt duża aby operator mógł za nią nadążyć, poziom wyzwiania może być dobierany automatycznie tak, aby zachować przepisowy margines ponad aktualną moc reaktora. W takim przypadku szybkość z jaką może być zmieniony próg wyzwiania winna być ograniczona do określonej bezpiecznej wartości oraz winny być wprowadzone stałe niezależne dolne i górne graniczne progi, zabezpieczające przed zmianami mogącymi wywołać defekty aparatury. Alternatywnie, próg wyzwiania może powracać do pierwotnego nastawienia za pomocą odpowiednich blokad zabezpieczeń lub sygnałów z pomiarów innych wielkości reaktora (np. wydatek chłodziwa), aby utrzymać przepisowy margines ponad aktualny zakres mocy reaktora.

5.6.2.15. Dla szybko zmieniających się wielkości sygnał wyzwiania może pojawić się z pewnym nieuniknionym opóźnieniem, lecz wyzwianie nie może być uniemożliwione (zablokowane) przez szybkość zmiany, z wyjątkiem takich stanów przejściowych, dla których można udowodnić, że wielkość powróci do bezpiecznych granic bez spowodowania warunków niebezpiecznych dla pracy reaktora.

5.6.2.16. Charakterystyki techniczne systemu zabezpieczeń winny wynikać z wymagań określonych na podstawie analizy bezpieczeństwa reaktora.

5.6.2.17. Elementy składowe winny być wypróbowanej jakości, zbadane w warunkach reprezentatywnych dla warunków pracy.

5.6.2.18. Aparatura systemu zabezpieczeń, zależna od wbudowanych lub zewnętrznych źródeł zasilania, winna zawierać kontrolę zasilania. Nieprawidłowość zasilania każdego przyrządu lub urządzenia układu wyłączenia awaryjnego winna powodować akcję w bezpiecznym kierunku, a fakt ten powinien być sygnalizowany.

5.6.2.19. Gdy zespoły logiki zabezpieczeń zaprojektowano w grupach redundancyjnych, grupy i połączone z nimi tory pomiarowo-kontrolne powinny być elektrycznie niezależne od siebie, z zapewnieniem indywidualnego zasilania włącznie.

5.6.2.20. Dostęp do danego zespołu logiki zabezpieczeń i połączonych z nim torów pomiarowo-kontrolnych powinien być niezależny od innego zespołu logiki i jego torów.

5.6.2.21. Obwody logiczne zabezpieczeń powinny być możliwie zwartej budowy. Na wejściach zespołów logiki zabezpieczeń będących częścią układu wyłączenia awaryjnego, np. dla sygnałów z zewnątrz, jak sygnały z układu blokad awaryjnych, powinno się przewidzieć urządzenia pośredniczące w przekazywaniu sygnałów i zapewniające galwaniczną przerwę, np. przekaźniki (wg 5.9.1).

5.6.2.22. Przewody i kable będące częścią systemu zabezpieczeń powinny, jeżeli jest to możliwe, być ułożone oddzielnie od innych i wraz z ich odpowiednimi zakończeniami i łączeniami dokładnie zabezpieczone przed uszkodzeniami mogącymi mieć wpływ na funkcje

zabezpieczeń. Takie kablowe trasy winny być osłaniane, ekranowane oraz w inny sposób należy chronione tak, aby zredukować do dopuszczalnych wartości zakłócenia elektryczne i mechaniczne (mikrofonowanie). Zakończenia takich przewodów i kabli winny być wyraźnie oznaczone i pogrupowane tak, aby uniemożliwić błędne połączenia. Długie trasy takich przewodów i kabli winny być podzielone na więcej niż jedną grupę w celu zredukowania konsekwencji fizycznego uszkodzenia każdej z takich grup. Gdy zespoły logiki zabezpieczeń są zaprojektowane w grupach, kable winny być pogrupowane w taki sposób, aby zapewnić niezależność torów pomiarowo-kontrolnych.

5.7. Projekt układu wyłączania awaryjnego

5.7.1. Urządzenia

5.7.1.1. Postanowienia wg 5.6 winny być stosowane do układu wyłączania awaryjnego wraz z następującymi zasadami:

a) żaden oddzielny defekt przyrządu (urządzenia) nie może utrudnić bezpiecznego wyłączenia reaktora, jeżeli tego wymagają sytuacje nienormalne pracy reaktora,

b) przewidywane kombinacje defektów aparatury, które mogłyby utrudniać bezpieczne wyłączenie reaktora w razie konieczności, powinny mieć odpowiednio małe, możliwe do przyjęcia prawdopodobieństwo,

c) redundancja i koincydencja w zespołach wykonawczych zabezpieczeń i mechanizmach sterowania i regulacji winna być zastosowana w stopniu odpowiednim do zasad działania i oprzyrządowania układu.

5.7.1.2. Układ wyłączania awaryjnego powinien być opracowywany z uwzględnieniem zasad projektowania wg poz. a) ÷ d).

a) Wskaźnikiem jakości układu jest jego średni czas między defektami (*MTBF*) z rozróżnieniem defektów bezpiecznych i niebezpiecznych. Metoda polega na obliczeniu wielkości statystycznej przy założeniu, że defekty składowych są niezależnymi zdarzeniami losowymi i przy wykorzystaniu danych o charakterystykach niezawodności zastosowanych elementów i podzespołów. Metoda obliczeń umożliwia porównanie układów różnie zaprojektowanych. Inne podejście do oceny niezawodności to wykorzystanie aktualnych danych eksploatacyjnych podobnych układów pracujących w warunkach typowych dla reaktora. Tym niemniej należy podkreślić, że wymagane niezawodności tak bezpieczne, jak i niebezpieczne mogą różnić się zasadniczo w różnych układach. Jakość układu wyłączania awaryjnego jest określona niezawodnością użytych w nim zespołów, torów pomiarowych itp. i ich zastosowaną konfiguracją dla wykonania zadanych funkcji zabezpieczeń.

b) Średni czas między defektami wszystkich rodzajów w warunkach eksploatacyjnych powinien wynosić **co najmniej rok** dla każdego toru pomiarowo-kontrolnego układu wyłączania.

c) Stosunek *MTBF* defektów niebezpiecznych do defektów bezpiecznych **winien być większy od jedności** dla torów pomiarowo-kontrolnych rozpatrywanych oddzielnie. Stosunek znacznie większy od jedności umożliwia zwiększenie czasu między kolejnym testowaniem.

d) Średni czas między defektami niebezpiecznymi dla tej części układu wyłączania awaryjnego, która jest dostateczna i wystarczająca dla wyłączenia reaktora na podstawie informacji o pojedynczej wielkości fizycznej (tj. dla toru pomiarowo-kontrolnego, zespołu logiki i zespołu wykonawczego zabezpieczeń), winien być określony dla każdego przypadku awaryjnej sytuacji wykrywanej przez kontrolowaną wielkość fizyczną (wg 5.7.1.2a).

Obliczenie winno brać pod uwagę częstotliwość i kompletność testowania podczas pracy i w czasie konserwacji. Obliczona wartość winna być tak duża, że w praktyce częstość defektów niebezpiecznych będzie określona zdarzeniami nieuwzględnionymi w obliczeniu, takimi jak zdarzenia nieprzypadkowe i zależne. Niejednokrotnie używa się jako wskaźnika wartości określającej prawdopodobieństwo, że część układu wyłączania awaryjnego wyłączająca reaktor na podstawie informacji o jednej wielkości fizycznej znajdzie się w warunkach niebezpiecznego defektu akurat wówczas, gdy winna zadziałać wyłączając reaktor. Wartość ta nie powinna być większa niż 1 szansa na 10^5 .

5.7.2. **Możliwości testowania w czasie pracy.** Jeżeli reaktor ma pracować w sposób ciągły, układ wyłączania awaryjnego powinien być wystarczająco wielokrotniony tak, aby poszczególne tory pomiarowo-kontrolne i zespoły logiki mogły być testowane bez wyłączenia reaktora oraz bez istotnego obniżenia bezpieczeństwa. Próba testowania winna obejmować tor pomiarowo-kontrolny, odpowiednie części zespołu logiki zabezpieczeń i jeżeli to możliwe także zespół wykonawczy zabezpieczeń.

5.7.3. Możliwości ręcznego wyłączania reaktora

5.7.3.1. Na pulpicie i tablicach rozdzielczych winny być zastosowane możliwości ręcznego wyłączenia w postaci przycisków lub wyłączników i powinny one oddziaływać możliwie bezpośrednio na zespół wykonawczy. Przyciski i wyłączniki powinny być chronione przed niezamierzonym uruchomieniem, aby strzec reaktor przed zbędnym wyłączeniem.

5.7.3.2. Wokół reaktora mogą być zastosowane dodatkowe ręczne wyłączniki awaryjne, szczególnie przy reaktorach badawczych.

5.7.3.3. Fakt wyłączenia ręcznego powinien być rejestrowany w taki sam sposób jak inne wyłączenia. Może to być np. mechaniczna zapadka przycisku, którą można zwolnić odpowiednim kluczem.

5.7.3.4. Konstrukcja przycisku i okablowania powinna być tak wykonana, aby nie naruszała zasady rozdzielania obwodu.

5.8. Projekt układu awaryjnego obniżania mocy

5.8.1. **Wymagania ogólne.** Nie wolno uważać układu awaryjnego obniżania mocy za jedyne zabezpieczenie reaktora. W przypadku niebezpiecznego defektu w układzie awaryjnego obniżania mocy, układ wyłączania awaryjnego (albo jakiś równoważny układ) musi mieć możliwość wyłączenia reaktora w każdych warunkach, jeżeli jest to niezbędne. Zainicjowanie takiej akcji systemu wyłączania awaryjnego w takich niezbędnych przypadkach musi być automatyczne.

5.8.2. Zasady projektowania. Dla systemu awaryjnego obniżania mocy należy stosować zalecenia wg 5.6 i jeżeli go dotyczą, także 5.7.1 i 5.7.2 oraz dodatkowo:
— działanie systemu awaryjnego obniżania mocy winno być wyraźnie wskazywane operatorowi w sterowni.

5.9. Projekt układu blokad awaryjnych

5.9.1. Wymagania ogólne. Układy blokad awaryjnych stosuje się tylko dla wykonywania funkcji zakazu lub funkcji zapobiegawczych. Jest jednak możliwe, aby sytuacje wykrywane przez układ blokad inicjowały wyłączenie reaktora. W tym przypadku jednak także wyłączenie winno następować przez układ wyłączania awaryjnego (5.6.2.21).

5.9.2. Zasady projektowania

5.9.2.1. Dla blokad awaryjnych należy stosować zalecenia wg 5.6 i jeżeli ich dotyczą 5.7.1 i 5.7.2 oraz dodatkowo:

a) blokady awaryjne należy zaprojektować tak, aby mogły kontynuować swe zadane funkcje w przypadku defektu jednego z elementów składowych lub przerwy w zasilaniu; w takich przypadkach blokady awaryjne sterujące sekwencją powinny powodować wstrzymanie działania lub/i gdy to jest niezbędne dla zabezpieczenia reaktora — powrót do stanu wcześniejszego; sytuacje powinny być wskazywane operatorowi; po przerwie zasilania blokady awaryjne powinny wracać do ich normalnego stanu operacyjnego określonego aktualnymi warunkami (reżimem technologicznym) reaktora, lecz dalsza sekwencja nie powinna być dopuszczona bez interwencji operatora;

b) w projekcie blokad awaryjnych winno się zastosować zwielokrotnianie (redundancję) i koicydencję, aby zapewnić że pojedynczy defekt nie spowoduje niepoprawnych blokad lub odblokowań.

c) jeżeli jest to technicznie możliwe i uzasadnione, wszystkie sygnały położeń i poziomów powinno się otrzymywać z urządzeń będących wyłącznie częścią systemu zabezpieczeń, a nie pośrednio z informacji służących dla różnych innych funkcji.

5.9.2.2. W przypadku blokad awaryjnych zapewniających wymagane położenia mechanizmów zdalnie sterowanych należy stosować zalecenia wg 5.9.2.1 i dodatkowo:

a) jeżeli przewiduje się dla urządzeń mechanicznych zdalnie sterowanych zapasowe ręcznie uruchamiane mechaniczne napędy, użycie takich zapasowych ręcznych napędów nie może wywoływać przerywania połączeń ani żadnej zmiany funkcjonowania systemu blokad awaryjnych;

b) w projektowaniu blokad zdalnie sterowanych napędów pozycyjnych winno się zastosować redundancję i koicydencję w taki sposób, aby możliwe było wyjmowanie (odłączanie) takiego urządzenia do remontu bez obniżania bezpieczeństwa reaktora.

5.10. Projekt sygnalizacji alarmowej. Dla sygnalizacji alarmowej należy stosować zalecenia wg 5.6 i 8.3 i jeżeli jej dotyczą wg 5.7.1 i 5.7.2 oraz dodatkowo wg 5.10.1 ÷ 5.10.4.

5.10.1. W miarę technicznych możliwości sygnalizację alarmową powinno się projektować i wykonywać wg standartów systemu zabezpieczeń, tj. stosując redundancję i technikę bezpiecznych defektów w taki sposób, aby defekt jakiegoś elementu lub przerwa w zasilaniu od razu były zauważone przez operatora.

5.10.2. Sygnały alarmowe powinny być wydzielone od innych sygnałów w sposobie ich przedstawiania operatorowi.

5.10.3. Wywoływanie sygnałów alarmowych powinno następować w najprostszym sposobie i nie powinno ulegać zakłóceniom w wyniku jakichś defektów w systemie zbierania danych (CRPD) ani w operacyjnym systemie sygnalizacji.

5.10.4. Wyświetlane sygnały alarmowe winny być niemożliwe do skasowania dopóki wywołująca je przyczyna nie powróci do normalnych, bezpiecznych granic.

5.11. Projekt odblokowań operacyjnych. W projektach odblokowań operacyjnych należy stosować zalecenia wg 5.6 i jeżeli ich dotyczą także 5.7.1 oraz dodatkowo wg 5.11.1 ÷ 5.11.4.

5.11.1. Muszą istnieć odpowiednie kombinacje zasad działania i pokrywania się zakresów torów pomiarowo-kontrolnych zabezpieczeń, aby zawsze zapewnione było poprawne zabezpieczenie reaktora przy zastosowaniu odblokowania operacyjnego.

5.11.2. Stan odblokowań operacyjnych winien być wyraźnie wskazywany operatorowi w sterowni.

5.11.3. Każde odblokowanie operacyjne winno mieć powrotne blokady zapewnione przez resztę układów zabezpieczeń w taki sposób, aby odblokowanie operacyjne mogło istnieć tak długo, dopóki istnieje odpowiadający mu reżim technologiczny reaktora i aby nieprawidłowe zastosowanie odblokowania operacyjnego prowadziło do automatycznego uruchomienia akcji zabezpieczeń. Jeżeli nie jest to możliwe, przynajmniej sygnalizacja alarmowa zgodnie z 5.4.5 i 5.10 winna zostać przewidziana w przypadku gdy reżim technologiczny reaktora wymaga zdjęcia operacyjnego odblokowania. Taki sygnał alarmowy powinien być możliwy do skasowania jedynie wtedy, gdy odblokowanie operacyjne zostanie zdjęte lub zmienione na poprawne. Powinno istnieć ciągle wskazanie stanu odblokowań operacyjnych.

5.11.4. Należy w zasadzie stosować automatycznie działające odblokowania operacyjne i ich zdejmowanie, a w takich przypadkach także należy stosować technikę redundancji i koicydencji aby chronić przed niepoprawnym działaniem przy defektach elementów. Szczególną uwagę trzeba zwracać na przeprowadzenie analizy sposobu działania automatyki odblokowań operacyjnych przy wszystkich przewidywanych awaryjnych stanach przejściowych reaktora.

6. ZASILANIE APARATURY

6.1. Wymagania ogólne

6.1.1. W celu osiągnięcia bezpiecznego sterowania reaktorem ważne jest utrzymanie w sprawnym dzia-

łaniu urządzeń zasilających wszystkie przyrządy współpracujące z obwodami zabezpieczeń, przyrządy systemu ostrzegawczego i przyrządy współpracujące z głównymi urządzeniami pomocniczymi obiektu.

6.1.2. Zasadnicze stany pracy reaktora muszą być kontrolowane w sposób ciągły, co oznacza że określone przyrządy powinny być zawsze sprawne i powinny działać z określoną dokładnością. Może więc być konieczne dysponowanie niezawodnym systemem lub też kilkoma systemami zasilania.

6.2. Niezawodny system zasilania

6.2.1. Zasilanie elektryczne

6.2.1.1. Jeżeli przyrządy są zasilane prądem stałym, najbardziej niezawodnym rozwiązaniem jest stosowanie zasilaczy prądu stałego z rezerwową baterią akumulatorów. Obecnie zasilanie prądem zmiennym przyrządów elektronicznych jest znacznie częstsze i w związku z tym należy zapewnić niezawodny system zasilania prądem zmiennym.

6.2.1.2. Przy projektowaniu takiego systemu należy zwrócić uwagę na następujące okoliczności:

a) żaden pojedynczy system zasilania nie może być uznany za dostatecznie niezawodny; nawet jeżeli będzie stosowany specjalny zespół prądotwórczy (silnik-prądnica), dążenie do zapewnienia niezawodności musi prowadzić do pewnych komplikacji, które z kolei mogą powodować niespełnienie podstawowych wymagań;

b) systemy zwielokrotnione mogą być wykorzystane z zastosowaniem przełączania na rezerwę lub z zastosowaniem zmiany funkcji maszyn (silnik-prądnica), jednakże przejściowe zakłócenia, które mogą powstać w okresie przełączania nie powinny ograniczać zabezpieczeń lub zakłócać pracę reaktora;

c) moc systemu rezerwowego powinna być taka, aby pokrywała obciążenie oprzyrządowaniem,

d) zespół maszyn używany do zasilania prądem zmiennym powinien mieć przewidzianą regulację częstotliwości w celu utrzymania jej w dopuszczalnych granicach, aby między innymi nie fałszować podstawy czasu rejestratorów taśmowych napędzanych silnikami synchronicznymi,

e) zasilanie podstawowych przyrządów kontrolnych i ostrzegawczych powinno być ciągłe, aby operator mógł być powiadomiony o wszystkich przyczynach mogących spowodować nieprawidłowości, nawet jeżeli reaktor jest wyłączony.

6.2.2. Zasilanie pneumatyczne

6.2.2.1. Jeżeli zasilanie pneumatyczne jest istotne ze względu na zabezpieczenie reaktora (np. przesuwanie detektorów, sterowanie przyrządów), to system zasilania powinien spełniać wymagania wg 6.2.1 (jeżeli mają zastosowanie) oraz ponadto:

a) powinien zadziałać sygnał alarmowy przy znacznym spadku ciśnienia i powinna być przeprowadzona korekcja każdego wadliwego działania, które może zakłócić bezpieczeństwo reaktora,

b) projekt instalacji rurowej, kompresorów, odbiorników i innego wyposażenia powinien być tak wykonany, aby w przypadku ich awarii nie zostały spo-

wodowane uszkodzenia innych urządzeń, które mogłyby narazić reaktor na niebezpieczeństwo,

c) zasilanie pneumatyczne powinno być czyste i suche, tzn. powinno mieć dostatecznie niski *punkt rosy*, aby zapobiegać kondensacji pary przy najniższej występującej temperaturze otoczenia.

7. URZĄDZENIA STEROWNICZE

7.1. **Wymagania ogólne.** Koordynacja działania urządzeń przeznaczonych do sterowania reaktorów jądrowych i ich obiektów pomocniczych jest konieczna dla zapewnienia bezpiecznej i wydajnej pracy. Szczególnie zalecane jest wydzielenie specjalnego pomieszczenia sterowni dla wykonania tej funkcji.

Przy lokalizacji sterowni i projektowaniu jej wyposażenia należy zwrócić uwagę na warunki normalnego funkcjonowania obiektu oraz na czynności i postępowanie konieczne przy likwidacji większych lub mniejszych zagrożeń, które mogą powstać w czasie eksploatacji reaktora. W rozważaniach tych należy zwrócić uwagę na liczbę, funkcje i fachowość personelu normalnie obsługującego obiekt i na środki łączności konieczne dla skoordynowania jego działalności.

7.2. Lokalizacja sterowni

7.2.1. **Położenie w stosunku do urządzeń obiektu.** Centralna sterownia winna być tak usytuowana, aby nie była narażona na uszkodzenia i była dostępna w przypadku większych awarii. Jednakże tak dalece jak to jest możliwe, ze sterowni powinien być przewidziany łatwy dostęp do reaktora i obiektów pomocniczych łącznie z pomocniczym wyposażeniem awaryjnym.

7.2.2. **Warunki środowiskowe.** Warunki usytuowania sterowni i związanych z nią pomieszczeń z aparaturą winny, jeżeli jest możliwe, odpowiadać następującym ogólnym wymaganiom:

a) miejsce powinno być ciche, pozbawione wibracji, odpowiednio ogrzewane, wentylowane lub klimatyzowane,

b) należy zwrócić szczególną uwagę na niezawodność działania instalacji potrzebnych do uzyskania tych warunków w pomieszczeniach dla przyrządów, na działanie których ma wpływ zmiana temperatury pomieszczenia.

7.3. Zagospodarowanie sterowni

7.3.1. Personel i metoda pracy

7.3.1.1. Należy zwrócić uwagę na liczbę personelu zatrudnionego przy kontroli i sterowaniu reaktora i pomocniczych obiektów zarówno w warunkach normalnych, jak i awaryjnych. Czynnikiem ten do pewnego stopnia odzwierciedla stopień zautomatyzowania procesów sterowania i kontroli stanu obiektu.

Sterownia powinna być wyposażona w znajdujące się pod bezpośrednim nadzorem i kontrolą operatora przyrządy wpływające zasadniczo na stan reaktora łącznie ze wszystkimi obiektami pomocniczymi, koniecznymi do utrzymania stanu bezpieczeństwa reaktora w warunkach awaryjnych.

7.3.1.2. W dużych instalacjach jądrowych w celu ułatwienia sprawnej obsługi przewiduje się wydzielenie

lokalnych zgrupowanych przyrządów i urządzeń regulacyjnych dla agregatów i urządzeń współpracujących z reaktorem. Przyrządy te winny być zdublowane, a regulacje przewidziane do priorytetowego sterowania także zdublowane w centralnej sterowni. Dotyczy to tych przyrządów i urządzeń, których właściwe funkcjonowanie wpływa na bezpieczeństwo reaktora. Podobnie w dużych instalacjach powinien być zapewniony ogólny nadzór wyposażenia wpływającego na stan pracy reaktora w celu umożliwienia operatorowi podjęcia środków zapobiegawczych w przypadku gdyby to było potrzebne, a także w celu umożliwienia mu w razie konieczności koordynowania wszystkich funkcji instalacji.

7.3.2. Sposób wyposażenia pulpitu sterowniczego i paneli sterowniczych

7.3.2.1. Przyrządy wskazujące i elementy nastawcze, które powinny być w sterowni można podzielić na trzy grupy:

a) te, które muszą być rozmieszczone na pulpicie sterowniczym w taki sposób, aby były bezpośrednio widoczne i znajdowały się w zasięgu operatora, umożliwiając mu stałą ich obserwację,

b) te, które powinny być łatwo obserwowane z pulpitu sterowniczego,

c) te, które powinny być łatwo dostępne do kontroli, a które nie muszą być widoczne z pulpitu.

7.3.2.2. Należy podejmować wysiłki zmierzające do uproszczenia wyposażenia wg 7.3.2.1a) ÷ c) i oddalenia od pulpitu sterowniczego tych urządzeń, które wymagają częstszych zabiegów konserwacyjnych. Pożądane jest stosowanie na pulpicie raczej prostych wskaźników, z wyjątkiem przypadków gdy potrzebna jest szybka orientacja o tendencji zmian mierzonej wielkości umożliwiająca interwencję operatora.

7.3.2.3. W dużych instalacjach wyposażenie takie, jak np. wzmacniacze i przekaźniki współpracujące z przyrządami i urządzeniami pomiarowymi i sterującymi wg 7.3.2.1 a) ÷ c) powinny być w miarę możliwości zainstalowane w oddzielnym ale przyległym pokoju przyrządowym, gdzie nie jest potrzebny normalny dostęp dla kontroli i sterowania. Normalny dostęp do tego pomieszczenia winien być możliwy tylko poprzez sterownię.

7.3.3. Rozmieszczenie przyrządów i elementów regulacji

7.3.3.1. Oprzyrządowanie wskazujące stan ważnych parametrów reaktora powinno być rozmieszczone w sposób umożliwiający operatorowi sterowanie obiektem na podstawie minimalnej liczby wskazań. Wskaźniki te winny być zgrupowane w sąsiedztwie odpowiednich elementów sterowania wykorzystywanych w czasie normalnej pracy.

7.3.3.2. Zasadnicze elementy sterowania wykorzystywane w normalnych czynnościach winny znajdować się na panelu sterowniczym.

Nadzór nad wszystkimi układami automatycznej regulacji powinien być prowadzony z pulpitu sterowniczego, łącznie z nadrzędnie działającymi regulatorami ręcznymi.

7.3.3.3. Zazwyczaj operator winien mieć możliwość kontrolowania stanu reaktora bez oddalania się od pulpitu sterowniczego. Jednakże, duże instalacje są wyposażone w dodatkowe urządzenia, które informują operatora oraz umożliwiają mu przeprowadzenie nadrzędnej regulacji urządzeń lokalnych obiektu. Obejmują one elementy sterowania urządzeń pomocniczych niezbędnych dla zabezpieczenia reaktora w warunkach awaryjnych, które mogą być obsługiwane ręcznie lub mogą działać automatycznie w zależności od rodzaju niebezpieczeństwa. Grupowanie i rozmieszczenie tych elementów sterowania i wskaźników winno zapewnić operatorowi w przypadku większej awarii łatwą ocenę stanu parametrów reaktora i stanu najważniejszych obiektów pomocniczych. Ponadto rozmieszczenie urządzeń winno ułatwiać szybką korekcję mniejszych błędów, ze względu na potrzebę utrzymania obiektu w ruchu.

7.3.3.4. Przyrządy wg 7.3.2.1b) mogą być umieszczone na tablicach pionowych, ustawionych w kształcie łuku, z pulpitem sterowniczym blisko środka geometrycznego. Elementy sterowania i wskaźniki powinny być umieszczone w porządku logicznym i zgrupowane w połączeniu z poszczególnymi częściami (np. wszystkie przyrządy i elementy sterowania dotyczące jednego wymiennika ciepła winny znajdować się na jednej płycie).

7.3.3.5. Wskaźniki optyczne winny być wyraźnie sytuowane i dobrze widoczne z pulpitu sterowniczego. Przyrządy wskazujące winny zapewniać możliwie dokładne odczytanie z pulpitu, a średnica tarczy nie powinna być mniejsza niż $\frac{1}{40}$ odległości wskaźnika od operatora siedzącego przy pulpicie.

7.3.3.6. Typowe wymagania dotyczące pozostałych urządzeń pomiarowych i sterowniczych obejmują rejestratory taśmowe do celów analitycznych i dokumentacji ruchowej i mogą obejmować przyrządy z dołączonymi dublującymi miernikami dostarczającymi wskazań wg 7.3.2.1b).

7.3.3.7. Urządzenia powyższe mogą znajdować się w oddzielnym pomieszczeniu, ale winny sąsiadować z głównym panelem sterowniczym.

7.3.4. Grupowanie sygnalizatorów

7.3.4.1. Liczba sygnałów doprowadzanych do sterowni powinna być ograniczona do koniecznego minimum. Należy przewidzieć jednakże indywidualne sygnały dla wszystkich stanów awaryjnych wymagających działania korygującego ze sterowni. Powinny one pojawiać się przy odpowiednich polach panela sterowniczego.

Dla wszystkich stanów awaryjnych nie wymagających działania korygującego ze sterowni, sygnały powinny pojawiać się pojedynczo obok działającego niewłaściwie agregatu lub urządzenia, a do centralnej sterowni winien być przekazywany tylko jeden sygnał grupowy.

7.3.4.2. Grupowanie i rozmieszczenie sygnałów związanych z układami zabezpieczeń powinno wskazywać gradację ich ważności i umożliwiać szybką ocenę stanu poszczególnych układów i stanu pracy urządzeń rezerwowych.

7.3.4.3. Jeżeli stosuje się urządzenia do automatycznej obróbki danych pomiarowych, wskaźniki sygnałów powinny być umieszczone w sterowni, a urządzenia wyjściowe (rejestratory cyfrowe) winny znajdować się w sąsiednim pomieszczeniu.

7.4. Łączność

7.4.1. Możliwe konsekwencje uszkodzenia sieci łączności w siłowni jądrowej są o wiele poważniejsze aniżeli w jakichkolwiek innych zakładach przemysłowych. Dlatego określenie właściwego wyposażenia w środki łączności powinno być znacznie bardziej rygorystyczne. Z praktyki wynika, że asortyment sprzętu telefonicznego znajdującego się w handlu jest zawodny i dlatego podano poniżej wymagania, które należy uwzględnić, aby zagwarantować odpowiedni stopień niezawodności.

7.4.2. Sprzęt łączności winien zawierać:

7.4.2.1 automatyczną centralę telefoniczną do normalnej łączności w obrębie obiektu,

7.4.2.2 pomocniczą centralkę ręczną dla zapewnienia łączności między sterownią a pewną liczbą (minimalną) „punktów strategicznych“, w przypadku awarii obiektu lub uszkodzenia zasilania głównej automatycznej centrali telefonicznej;

7.4.2.3 kilka aparatów telefonicznych bezpośrednio podłączonych do sieci miejskiej z ominięciem automatycznej centrali.

7.4.3. Poza tym konieczne są: sieć rozgłaszania alarmowego, urządzenie umożliwiające przywołanie personelu obsługującego oraz ostrzegawczy system przeciwpożarowy i system alarmowania okolicy o konieczności ewakuacji.

7.4.4. Ręczna centralka telefoniczna winna zapewniać łączność sterowni tylko z wybranymi i ważnymi operacyjnie punktami, głównie w kierunkach promieniowych. Winna również zapewniać łączność wewnętrzną między aparatami z podsłuchem operatora oraz możliwość ogólnego porozumienia się wszystkich równoległe (tzw. połączenie konferencyjne).

7.4.5. Projekt ręcznej centralki powinien uwzględniać następujące wymagania:

7.4.5.1 zapewniać odpowiednią łączność w przypadku uszkodzenia lub przeciążenia centralki automatycznej;

7.4.5.2 zasilanie centralki winno być niezależne, jeżeli to możliwe, od baterii zasilającej telefoniczną instalację zasadniczą; w ten sposób w przypadku wadliwego działania tych baterii łączność będzie nadal możliwa;

7.4.5.3 pożądane jest, aby system przewidywał możliwość ponownego wywołania abonenta, nawet wtedy kiedy słuchawka została odłożona;

7.4.5.4 sieć centralki ręcznej winna być niezależna od sieci centralki automatycznej.

7.4.6. Oprócz wyżej wymienionych urządzeń należy uwzględnić zainstalowanie określonej liczby aparatów telefonicznych autonomicznych (telefony polowe). Kablowanie tej sieci winno być niezależne od innej sieci.

7.4.7. Sterownia winna mieć w obydwu sieciach łączności telefonicznej, ręcznej i automatycznej, kilka odpowiednich wyjść, z których co najmniej jedno ma być zarezerwowane do rozmów w nagłych wypadkach.

8. SYSTEMY SYGNALIZACJI

8.1. Określenia. W postanowieniach rozdziału 8 stosuje się określenia wg 8.1.1 i 8.1.2.

8.1.1. Sygnalizator — podzespół do wzrokowego i/lub słuchowego ostrzeżenia operatora w celu zwrócenia jego uwagi.

8.1.2. System sygnalizacji — system zawierający zespół sygnalizatorów.

8.2. Wprowadzenie. System sygnalizacji przewidziany jest dla nadzorowania stanu reaktora i układów pomocniczych ważnych dla działania reaktora. Funkcją systemu sygnalizacji jest wskazywanie operatorowi nienormalnych warunków, aby podejmował odpowiednie działania korygujące. Sygnały takie są inicjowane przez obwody obróbki sygnałów zespołów pomiarowo-kontrolnych mierzących parametry reaktora i jego układów i dające odpowiednie wzrokowe i słuchowe ostrzeżenia operatorowi. Liczba sygnalizatorów rozmieszczonych w sterowni może być zredukowana przez uzasadnione pogrupowanie sygnalizacji i pozostawienie indywidualnych sygnalizatorów lokalnie przy urządzeniach w obiekcie. Jedną z metod grupowania jest wykorzystanie systemu przetwarzania danych. Sygnalizatorowi można przypisać funkcje „pilne“ i „niepilne“, a sposób sygnalizowania powinien wskazywać stopień pilności, np. przez kolor wyświetlacza i różny dźwięk sygnału słuchowego.

Stosując system przetwarzania danych, powinno się zapewnić możliwość rejestracji sygnałów szczególnie krótkotrwałych i/lub pojawiających się w krótkich odstępach czasu oraz rozróżnienia kolejności pojawiania się sygnałów.

W dużych obiektach wyposażonych w system przetwarzania danych może być uzasadnione zastosowanie analizy sygnałów. Przy takim rozwiązaniu sygnały odbierane są automatycznie w miarę pojawiania się, a operatorowi wskazywana jest pierwotna przyczyna defektu wraz ze wskazaniem jej wpływu na obiekt i doradzoną operatorowi akcją zapobiegawczą.

8.3. Projekt systemu sygnalizacji. Zaleca się stosować zasady projektowania wg 8.3.1 ÷ 8.3.11.

8.3.1. Defekty systemu sygnalizacji nie powinny wpływać na żadne inne urządzenia.

8.3.2. System sygnalizacji nie powinien komplikować lub obniżać pewności działania torów pomiarowo-kontrolnych wydających sygnały inicjujące.

8.3.3. Ostrzeżenie słuchowe może być kasowane przez operatora kwitującego przyjęcie sygnału do wiadomości, lecz sygnał wzrokowy winien być utrzymany dotąd aż minie przyczyna. System ostrzeżenia słuchowego winien działać powtórnie przy każdym nowym pojawieniu się przyczyny sygnalizacji. Skasowanie sygnału słuchowego nie może uniemożliwiać wytworzenia się następnego sygnału od nowej przyczyny. Często

jest także pożądane wzrokowe sygnalizowanie zaniku przyczyny sygnalizacji (powrotu do normalnego reżimu).

Wyróżniony sposób wskazywania, np. migotanie światła w typowym sygnalizatorze, może być kasowany przez operatora kwitującego przyjęcie sygnału do wiadomości, lecz sygnał powinien nadal być widoczny aż minie jego przyczyna (powróci normalny reżim). Jeżeli sygnał wydawany jest dla jakiejś grupy przyczyn w sposób wyróżniony (np. migotanie), winien powracać w przypadkach każdej następnej przyczyny pojawiającej się w danej grupie.

8.3.4. Ostrzeżenie słuchowe powinno mieć taką głośność, aby nie utrudniać operatorowi w sterowni słyszenie podstawowych informacji lub rozmów. W tym celu może być konieczne umożliwienie nastawiania siły dźwięku.

8.3.5. Sygnalizacja przyczyn bardzo krótkotrwałych (sygnały „uciekające“) powinna być utrzymana nawet po minięciu przyczyny. Powinno być konieczne naciśnięcie przycisku odblokowania (powrotu), aby skasować sygnał. Przycisk nie może zadziałać dopóki nie zostało pokwitowane przyjęcie informacji o przyczynie sygnału.

8.3.6. Charakterystyki obwodów inicjujących sygnalizację winny być dobrane odpowiednio do charakterystyk sygnalizowanych przyczyn.

8.3.7. Powinno się przewidzieć środki do testowania poprawnego funkcjonowania sygnalizatorów.

8.3.8. Należy przewidzieć możliwość identyfikacji konkretnej przyczyny lub/i urządzenia inicjującego sygnalizację.

8.3.9. Niejednokrotnie bywa pożądana możliwość identyfikowania przez operatora, który sygnał pojawił się jako pierwszy. Sposób sygnalizowania pierwszego sygnału nie powinien wykluczać następnych sygnałów.

8.3.10. System przetwarzania danych stosowany do analizy sygnalizacji i jej prezentacji powinien umożliwiać długoczasową rejestrację przychodzących sygnałów i kolejności ich pojawiania się w czasie. Ta rejestracja, np. dalekopisem lub na taśmie perforowanej, może być np. wykorzystana do analiz po każdej awarii lub zagrożeniu obiektu i w tym celu wystarczy zakodowana rejestracja.

8.3.11. Jeżeli sygnalizacje są ważne dla prawidłowej eksploatacji także odstawionego (wyłączonego) reaktora, to całość albo wydzielona część systemu sygnalizacji winna sprawnie działać, np. mając zapewnione zapasowe zasilanie.

9. REGULACJA I STEROWANIE REAKTORA

9.3. Wskazania położenia i ruchu elementów regulacyjnych. Położenie i ruch elementów regulacyjnych winny być wskazywane w sterowni, aby zapewnić operatorowi możliwość utrzymywania wymaganego ustawienia położenia tych elementów. Wynik pomiaru położenia każdego elementu (lub grupy elementów mechanicznie sprzężonych) winien być dla operatora dostępny w sposób ciągły lub na jego żądanie.

Można także zastosować dodatkowe urządzenia do rejestracji i prezentacji aktualnych położenia elementów regulacyjnych.

Komputer pracujący (on-line) może dostarczać na żądanie świetlną informację (display) o położeniach oraz zbierać dane. Gdy jakiś element regulacyjny (lub ich grupa) jest wybrany do sterowania, winno być wyświetlane położenie tego elementu, a może być również pożądane wyświetlanie położenia sąsiednich elementów.

Powinno się zapewnić możliwość sygnalizowania jakichkolwiek nienormalnych ruchów elementów regulacyjnych.

Należy dla każdego elementu regulacyjnego wskazywać poniższe dane, szczególnie w przypadkach gdy nie przewiduje się pełnej prezentacji wszystkich położenia, w rdzeniu i jeżeli jest to konstrukcyjnie do rozwiązania:

- element regulacyjny w pełni wsunięty,
- element regulacyjny w pełni wysunięty,
- element regulacyjny wyznaczony do sterowania,
- element regulacyjny dryftuje (przesuwa się mimo braku sterowania),
- element regulacyjny wsunięty przez system wyłączenia awaryjnego,
- luźna (nienaprężona) linka (jeżeli pręt regulacyjny podwieszony jest na linie).

9.4. Sterowanie (regulacja) rozkładu przestrzennego gęstości strumienia. Można użyć komputera do określania takiej konfiguracji położenia elementów regulacyjnych, który daje pożądany rozkład mocy i najekonomiczniejszą eksploatację.

Przy obróbce informacji o wyborze elementów regulacyjnych, ich położeniu i pożądanej konfiguracji, komputer można także wykorzystać do wytwarzania sygnałów o niepoprawnych ruchach (wg arkusza 03 p. 9.2).

K O N I E C

INFORMACJE DODATKOWE

1. Instytucja opracowująca normę — Instytut Badań Jądrowych
Branżowy Ośrodek Normalizacyjny Aparatury Jądrowej.

2. Zalecenia międzynarodowe
IEC Publikacje 231 (1967) i 231A (1969) General principles of
nuclear reactor instrumentation

3. Autor projektu normy — Doc. inż. Przemysław Szulc Zd XII
IBJ.

4. Wykaz arkuszy objętych BN-79/3412-02 podano poniżej.
Arkusz 00 —
Arkusz 01 Urządzenia elektroniczne dla techniki jądrowej. Ogólne
zasady oprzyrządowania reaktorów (tłumaczenie Publi-

kacji IEC 231 i 231A oraz ich uzupełnień z Publikacji
231D, E, i G)

Arkusz 02 Urządzenia elektroniczne dla techniki jądrowej. Ogólne
zasady oprzyrządowania reaktorów z wodą pod ciśnie-
niem (tłumaczenie Publikacji 231D z 1975 r.)

Arkusz 03 Urządzenia elektroniczne dla techniki jądrowej. Ogólne
zasady oprzyrządowania reaktorów wysokotemperaturo-
wych, chłodzonych gazem w cyklu niebezpośrednim (tłu-
maczenie Publikacji 231E z 1977 r.)

Arkusz 04 Urządzenia elektroniczne dla techniki jądrowej. Ogólne
zasady oprzyrządowania reaktorów prędkich, chłodzo-
nych ciekłym metalem (tłumaczenie Publikacji 231G z
1977 r.)