

TECHNIKA JĄDROWA	NORMA BRANŻOWA	BN-79
	Urządzenia elektroniczne dla techniki jądrowej Ogólne zasady oprzyrządowania reaktorów z wodą pod ciśnieniem	3412-02.02
		Grupa katalogowa XVIII 60

PRZEDMOWA

Arkusze 02 jest tłumaczeniem Publikacji IEC 231D (1975), z wyjątkiem punktów oznaczonych w niej gwiazdką: 1.3.5, 6 i 7, 2.1.2, 2.1.4, 2.2.3, 2.4.1.1, 2.4.2b) oraz 5.5, które jako wspólne dla reaktorów wszystkich typów przeniesiono do arkusza 01.

W arkuszu 02 numeracja rozdziałów i punktów, układ, zasady redakcyjne i sposób formułowania postanowień są zgodne z oryginałem dokumentu IEC.

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

1. WSTĘP

1.1. Przedmiot arkusza normy. Przedmiotem arkusza 02 są ogólne zasady oprzyrządowania reaktorów jądrowych z wodą pod ciśnieniem — tzw. reaktorów PWR¹⁾.

Zasady te są specjalistycznym rozwinięciem postanowień arkusza 01, z zachowaniem równoległej numeracji odpowiadających sobie merytorycznie rozdziałów i punktów w obu arkuszach.

Numeracja w arkuszu 02 jest przy tym **wyrywkowa**, gdyż tylko niektóre postanowienia arkusza 01 wymagają dla reaktorów PWR odmiennego ujęcia, uzupełnienia lub ich zastąpienia (relację między równoległymi punktami obu arkuszy należy każdorazowo skonfrontować).

Wszystkie pozostałe postanowienia arkusza 01 należy stosować dla reaktorów PWR bezpośrednio jako wspólne dla reaktorów wszystkich typów.

1.2. Zakres stosowania arkusza normy. Arkusz 02 dotyczy oprzyrządowania tych reaktorów PWR, które mają następujące cechy szczególne:

a) chłodziwo wodne pod ciśnieniem służy jednocześnie jako moderator i zauważalne wrzenie nie może występować w zbiorniku ciśnieniowym; para do napędu turbiny jest wytwarzana w wymienniku ciepła;

b) paliwo i chłodziwo pierwotne znajduje się w naczyniach i rurociągach obiegu pierwotnego o wysokiej wytrzymałości, który jest zwykle otoczony obudową bezpieczeństwa także odpowiednio wysokiej wytrzymałości;

c) paliwo stałe ceramiczne w metalicznym okoszkowaniu;

d) niezmienną geometrię struktury paliwo — moderator — reflektor;

e) operatywną regulację reaktywności za pomocą zdalnie napędzanych mechanizmów poruszających elementy regulacyjne w rdzeniu;

f) dodatkową regulację aktywności wykonywaną za pomocą instalowanych na stałe materiałów pochłaniających neutrony i/lub wolnozmiennych stężeń absorberów neutronów rozpuszczonych w moderatorze.

1.3. Wymagania ogólne

1.3.4. Za najważniejszy parametr uważa się temperaturę koszulki elementu paliwowego. Nie jest ona bezpośrednio mierzona, natomiast dedukuje się ją z pomiarów temperatury, ciśnienia i wydatku pierwotnego obiegu chłodziwa oraz wielkości przestrzennego rozkładu generacji mocy.

Potwierdzenie, że generacja mocy i przestrzenny rozkład gęstości mocy mieści się w dopuszczalnych granicach, otrzymuje się z jądrowych i cieplnych pomiarów oraz pomiarów sprawdzających, czy konfiguracja elementów regulacyjnych odpowiada poziomowi mocy i innym warunkom pracy reaktora.

Pomiary wskazujące istnienie znacznej rozbieżności między mocą odbieraną a generowaną mogą być wykorzystane do powodowania wtórnych funkcji zabezpieczających. Te pomiary obejmują za małą lub za dużą objętość pierwotnego obiegu chłodzenia, zwykle dedukowaną z pomiaru poziomu w stabilizatorze ciśnienia. Dodatkowo także mogą być mierzone i wykorzystywane jako wtórne funkcje zabezpieczające stany powodujące rozbieżności między mocą odbieraną a generowaną. Mogą nimi być: wyłączenie turbiny i utrata odpro-

¹⁾ PWR — Pressurized Water Reactors.

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)

wadzonego ciepła (które mogą być wskazywane przez niski poziom w parogeneratorze lub mały wydatek wody zasilającej).

Uruchomienie zaworów bezpieczeństwa i (lub zredukowanie mocy reaktora ma zabezpieczać przed nadciśnieniem w obiegu pierwotnym. Nieszczelność (pęknięcie) w obiegu pierwotnym przekraczająca możliwość uzupełniania ubytku chłodziwa przez system zasilania wodą prowadzi do obniżenia ciśnienia w obiegu pierwotnym, obniżenia poziomu w stabilizatorze ciśnienia i wzrostu ciśnienia wewnątrz obudowy bezpieczeństwa. Bariera obudowy bezpieczeństwa, projektowana na wytrzymanie ciśnienia, temperatury itp., przy ewentualnym pęknięciu obiegu pierwotnego, winna być wyposażona w oprzyrządowanie inicjujące działania systemu zabezpieczeń zapewniające krótko- i długotrwałą nienaruszalność obudowy.

Mimo że bezpośrednie pomiary nienaruszalności barier ochronnych są zwykle niemożliwe do wykonania, powinny być mierzone te parametry procesu wskazujące na powstawanie warunków, które:

a) mogą same przez się przeciążyć jedną z trzech barier ochronnych (koszulki paliwa, obieg pierwotny lub obudowę bezpieczeństwa) lub

b) mogą doprowadzić do przeciążenia jednej z trzech barier ochronnych, jeżeli im się nie zaradzi,

Przez właściwy wybór pomiarów związanych z tymi dwoma rodzajami warunków powinno być możliwe, w większości nienormalnych sytuacji, zapewnienie jednocześnie podstawowych i wtórnych funkcji zabezpieczających fizyczne bariery chroniące przed niekontrolowanym uwolnieniem radioaktywności.

2. POMIARY STRUMIENIA NEUTRONÓW

2.2.1. W reaktorach PWR detektory neutronów mierzące gęstość strumienia w zakresie mocy mogą być zastosowane w taki sposób, aby wytwarzać sygnał pomiarowy wartości uśrednionej na wysokość lub na całą objętość rdzenia. W zależności od wymagań projektowych systemu zabezpieczeń i systemu operacyjnej kontroli może to prowadzić albo do stosowania zewnętrznych detektorów o efektywnej długości w przybliżeniu równej wysokości rdzenia, albo do stosowania odpowiednio rozmieszczonych wewnętrznych detektorów.

2.4.2 A. W dużych reaktorach PWR zewnętrzne detektory neutronów usytuowane obok zbiornika reaktora wykrywają głównie te prężne neutrony, które zostały wytworzone na zewnątrz rdzenia reaktora i spowolnione w otoczeniu detektora. Zależność między prądem detektora neutronów i globalną generowaną mocą może ulegać zmianom wobec efektów nie związanych wprost proporcjonalnie z globalną mocą, jak np. zmianom: położenia elementów regulacyjnych, temperatury chłodziwa, przestrzennego rozkładu ksenonu. Należy brać pod uwagę, że źródła błędów skalowania stanowią część błędu toru pomiarowego, jeżeli nie zostaną zastosowane wystarczające środki kompensacji tych efektów.

Dokładność pomiaru prądu detektora winna być odpowiednia do wymagań dotyczących szczególnie funkcji zabezpieczeń.

2.4.3.2. Logarytmiczne prądowe tory pomiarowe. W reaktorach PWR sygnały progowe poziomów z tych torów wystarczają zwykle dla zapewnienia zabezpieczeń w pośrednich poziomach mocy reaktora; z tego względu mogą nie być wymagane sygnały progowe okresu lub szybkości rozruchu. Tym niemniej okres lub szybkość rozruchu mogą być mierzone i wskazywane operatorowi, aby mu pomóc w ocenie skutków zmian reaktywności, np. spowodowanych przesunięciem elementów regulacyjnych lub zmianami stężenia boru.

2.7. Detektory zewnętrzne mogą być zastosowane do wykrywania takich nierównomierności rozkładu mocy w rdzeniu, które przekraczają dopuszczalne granice i do wydawania sygnału wyłączenia reaktora lub do zredukowania poziomu zadziałania innych funkcji zabezpieczeń odpowiednio do stopnia ryzyka związanego ze stwierdzonymi nierównomiernościami.

Wewnętrzne pomiary gęstości strumienia neutronów mogą być zastosowane do oceny rozkładu strumienia w rdzeniu i do dokładniejszej oceny rozkładu wydzielanej mocy. System wewnętrznych pomiarów może składać się z nieruchomych detektorów wydających sygnały ciągłe lub z próbkujących, wydających informację po załączeniu. System wykorzystuje się także do uzyskania możliwie maksymalnej mocy reaktora i do efektywnej gospodarki paliwem.

3. POMIARY TEMPERATURY

3.1. Wymagania ogólne. W reaktorach PWR chłodziwem i moderatorem jest ta sama ciecz. Głównym zadaniem systemu operacyjnego kontroli reaktora jest utrzymanie właściwych zależności między temperaturą chłodziwa i mocą reaktora.

3.3. Pomiary temperatury paliwa. W reaktorach PWR na ogół nie stosuje się bezpośrednich pomiarów temperatury paliwa (1.3.4).

3.5. Pomiary temperatury chłodziwa

3.5.2. Temperatura chłodziwa na wejściu i wyjściu reaktora. W reaktorach PWR pomiary wejściowej i wyjściowej temperatury w pętlach cyrkulacyjnych chłodziwa używane są zarówno do sterowania, jak i do zabezpieczeń. Gdy pojawi się różnicowanie temperatur w rurociągach wylotowych zbiornika reaktora i rurociągach wylotowych parogeneratora, należy zastosować odpowiednie środki, aby pomiary temperatur wskazywały zmniejszenie efektów tego różnicowania. Aby to można wykonać, temperatura na wlocie (wejściu) do zbiornika reaktora powinna być mierzona za głównymi pompami cyrkulacyjnymi obiegu pierwotnego chłodziwa. Ponieważ praktycznie jest to nie do wykonania, uzyskanie uśrednionego przestrzennie pomiaru temperatury na wyjściu (wylocie) ze zbiornika, liczba i umiejscowienie czujników temperatury powinna być taka, aby można było zmniejszyć efekty krótkotrwałych zmian rozkładu mocy w rdzeniu.

Pomiary w obiegu chłodzenia mogą być wykorzystane do zapewnienia zabezpieczeń przed ciepłym przeciążeniem (przekroczenie dopuszczalnych mocy lub/i temperatury). Jeżeli dla pomiarów temperatury dopuszczalne granice są funkcją takich parametrów, jak rozkład-mocy w reaktorze, to poziomy zadziałania powinny być automatycznie zmieniane przez takie sygnały, które świadczą o niepożądanym rozkładzie mocy. Poziom zadziałania powinien być ustalony dla najkorzystniejszego przewidywanego przypadku rozkładu mocy, z uwzględnieniem ograniczeń manipulacyjnych elementów regulacyjnych i możliwości wynikających z procedur nadzoru rozkładu mocy.

3.5.3. Temperatura na wylocie z kanału. Wiele rdzeni reaktorów PWR nie ma zespołów (kaset) paliwowych stanowiących odizolowane od siebie ściankami konstrukcje. W takich przypadkach gdy wykonywane są pomiary temperatury wylotowej, nie muszą być oprzyrządowane wszystkie kanały paliwowe. Liczbę i miejsce pomiarów temperatury na wylocie należy tak dobrać, aby uzyskać reprezentatywne odwzorowanie promieniowego rozkładu temperatur w reaktorze.

Nie jest często praktycznie możliwe wykonywanie bezpośredniego (in situ) skalowania rdzeniowych czujników temperatury. Zamiast tego można przeprowadzać pośrednie skalowanie, porównując wskazania tych czujników z czujnikami temperatury obiegu pierwotnego w izotermicznych warunkach pracy oraz z wewnątrzrdzeniowymi pomiarami rozkładu mocy wykonywanymi przez system kontroli strumienia neutronów lub gamma, gdy reaktor pracuje na mocy znamionowej lub w jej pobliżu.

4. POMIARY CHŁODZIWA

4.2. Wydatek chłodziwa. W wielopętlowych reaktorach PWR z pompami cyrkulacyjnymi o stałym objętościowym wydatku w każdej pętli może być niepraktyczne zapewnianie dokładnego pomiaru wydatku w całym zakresie możliwych operacyjnych warunków pracy pętli. W takich przypadkach pomiar spadku ciśnienia na zagięciu rurociągu lub na perogeneratorze albo pomiar prędkości obrotów pompy (z odpowiednim układem uwzględniającym załączenie zaworów odcinających) może być użyty do celów zabezpieczeń, a ocena czy projektowe parametry wydatku są osiągnięte w czasie rozruchu obiektu jest dokonywana innymi sposobami. Gdy reaktor pracuje z mniejszą niż pełna liczba cyrkulacyjnych pętli chłodzenia, poziomy progów zadziałania w systemie zabezpieczeń powinny być ustawione z uwzględnieniem obniżonego wydatku chłodziwa. Jeżeli ten reżim eksploatacyjny jest rzadki i stosowany warunkowo do czasu naprawy odłączonej pętli, poziom progów zadziałania można nastawiać ręcznie, przy ścisłej kontroli administracyjnej. Powtórne załączenie pętli powinno być przeprowadzane zgodnie z zasadami omówionymi w 5.9. Jeżeli system operacyjny sterowania przewiduje automatyczną redukcję mocy reaktora przy wypadnięciu pętli chłodzenia, redukcja progów zadziałania powinna być automatyczna.

4.6. Czystość chłodziwa. Kontrola chemiczna chłodziwa pierwotnego obiegu jest bardzo ważna. Należy przewidzieć środki ciągłej lub próbkowanej kontroli chemicznych dodatków i zanieczyszczeń chłodziwa obiegu pierwotnego.

4.8. Regulacja reaktywności. Zmiany stężenia rozpuszczonych materiałów absorbujących neutrony i zmiany temperatury chłodziwa są ważnymi środkami regulowania reaktywności. Powinny być zastosowane pomiary do ciągłego lub próbkującego nadzoru tych dwu parametrów. Specjalnie należy to uwzględniać w sytuacjach występujących po awaryjnym wyłączeniu reaktora. W niektórych rozwiązaniach projektowych oddziaływanie prętów regulacyjnych na reaktywność może nie być wystarczające (przy szczególnych przypadkach defektów) do utrzymania bezpieczeństwa wyłączzonego (podkrytycznego) reaktora. Wówczas mogą być niezbędne środki inicjujące wstrzykiwanie trucizn reaktywnościowych.

5. SYSTEM ZABEZPIECZEŃ

5.4.2. System wyłączania awaryjnego. Wykaz typowych parametrów wykorzystywanych do zainicjowania akcji wyłączania awaryjnego w przypadku przekroczenia ustalonych nastawionych granic podano poniżej.

1. Za wysoki poziom gęstości strumienia neutronów w zakresach: źródła, pośrednim i mocy.
2. Za duża szybkość rozruchu lub/i krótki okres.
3. Margines ciepły¹⁾.
4. Niskie ciśnienie chłodziwa obiegu pierwotnego.
5. Wysokie ciśnienie chłodziwa obiegu pierwotnego.
6. Za wysoki poziom wody w stabilizatorze ciśnienia.
7. Mały wydatek chłodziwa obiegu pierwotnego.
8. Kontrolowane zasilanie elektryczne pomp cyrkulacyjnych chłodziwa obiegu pierwotnego.
9. Mały wydatek wody zasilającej.
10. Niski poziom wody w parogeneratorze.
11. Wyłączenie (wypadnięcie) turbogenerators²⁾.
12. Ręczne wyłączenie awaryjne.

Jeżeli któryś z tych parametrów nie dotyczy danego rozwiązania obiektu można go opuścić. Jeżeli inne parametry wymagane są dla spełnienia wymagań dotyczących systemu zabezpieczeń, należy je dodać.

W niektórych rozwiązaniach projektowych zainicjowanie dodatkowych akcji zabezpieczeń, jak awaryjne chłodzenie rdzenia, izolacja (uszczelnienie) obudowy

¹⁾ Wyłączenie marginesem cieplnym może być użyte dla zabezpieczenia przed silniejszym wrzeniem w rdzeniu lub przed kryzysem wrzenia i przed przekroczeniem gęstości mocy.

²⁾ Wyłączenie turbogenerators może być zbędne w obiektach, w których zapewniono wystarczającą możliwość rozładowania pary lub szybkie obniżenie mocy generowanej.

bezpieczeństwa i chłodzenia obudowy bezpieczeństwa powinno także uruchomić układ awaryjnego wyłączenia.

5.4.7. Techniczne środki bezpieczeństwa — wg arkusza 01 p. 5.4.7.

Typowe środki i zasady bezpieczeństwa stosowane w projektach i budowie reaktorów PWR, które powinny być brane pod uwagę przy projektowaniu, podano w 5.4.7.1 ÷ 5.4.7.4.

5.4.7.1. Inicjowanie awaryjnego uszczelnienia (izolacji) obudowy bezpieczeństwa. Izolacja (uszczelnienie, odcięcie) obudowy bezpieczeństwa powinna być zainicjowana w wyniku wystąpienia następujących warunków:

- awaryjnego schładzania rdzenia,
- chłodzenia obudowy bezpieczeństwa.

5.4.7.2. Inicjowanie awaryjnego schładzania rdzenia. System awaryjnego schładzania powinien być uruchamiany w wyniku zaistnienia jednego lub więcej następujących warunków:

- za wysokiego ciśnienia w atmosferze obudowy bezpieczeństwa (typowo % 10 ÷ 25% założonego ciśnienia w obudowie),
- koincydencji niskiego ciśnienia i niskiego poziomu wody w stabilizatorze ciśnienia,
- za niskiego ciśnienia w obiegu pierwotnym.

5.4.7.3. Inicjowanie chłodzenia obudowy bezpieczeństwa. Jeżeli są zastosowane dmuchawy awaryjnego chłodzenia obudowy, powinny one być uruchamiane przy tych samych warunkach, które inicjują system awaryjnego schładzania rdzenia. Jeżeli jest zastosowany system zraszania obudowy bezpieczeństwa, działanie jego powinno być inicjowane przez zbyt wysokie ciśnienie w obudowie (typowo 50% założonego ciśnienia obudowy).

5.4.7.4. Inicjowanie zapasowego systemu zasilania wodą parogeneratorów. Zapasowy system zasilania parogeneratorów wodą powinien być inicjowany przy zaistnieniu jednego lub więcej następujących warunków:

- niskiego poziomu wody w parogeneratorze,
- uszkodzenia lub wypadnięcia pompy zasilającej,
- awaryjnego schładzania rdzenia.

5.9. System blokad bezpieczeństwa. Ponieważ zarówno zmiany temperatury chłodziwa, jak i zmiany stężenia materiału absorbującego neutrony w chłodziwie wpływają na charakterystyki spowalniania i pochłaniania neutronów w rdzeniu reaktora, należy przewidzieć blokady zabezpieczające przed nagłym wprowadzeniem zimnej lub niezatrutej wody do rdzenia.

10. Pozostałe postanowienia — wg arkusza 01.

K O N I E C

INFORMACJE DODATKOWE

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

2. Zalecenia międzynarodowe

IEC Publikacja 231 D (1975) Fourth supplement to Publication 231 (1967) General principles of nuclear reactor instrumentation.

Principles of instrumentation for pressurized water reactors

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

4. Wyjaśnienia dodatkowe. Wykaz arkuszy objętych BN-79/3412-02 podano w arkuszu 01.