

WYBRANE ZAGADNIENIA MODELOWANIA REDUNDANTNYCH ZESPOŁÓW POMPOWYCH INSTALACJI OKRĘTOWYCH PRZY UŻYCIU METODY DRZEWA USZKODZEŃ (FTA)

1. Wprowadzenie

Jedną z grup elementów rezerwowanych w systemach siłowni okrętowych są zespoły pompowe (silnik elektryczny, pompa oraz dodatkowe oprzyrządowanie). Układy te w wielu instalacjach siłowni okrętowych podlegają rezerwowaniu dla podwyższenia niezawodności i bezpieczeństwa pracy danego systemu. Dotyczy to m.in. instalacji obsługujących okrętowe silniki napędu głównego i silniki pomocnicze (chłodzenie wodą morską, chłodzenie wodą słodką, zasilanie paliwem, smarowanie obiegowe silników), instalacji parowych, balastowych, chłodzenia skraplaczy systemów chłodniczych i klimatyzacyjnych, instalacji hydraulicznych, hydrantowych systemów przeciwpożarowych itd. Dotyczy to również zespołów pompowych będących składnikami różnych instalacji np. pompa wody morskiej może być często wykorzystana jako rezerwowa pompa przeciwpożarowa, pompa balastowa jako pompa awaryjnego odpompowania zęz siłowni itp.

Redundantne zespoły pompowe pracujące w instalacjach siłowni okrętowych prawie zawsze stanowią z punktu widzenia inżynierii niezawodności systemy techniczne o strukturze z rezerwą niepracującą czyli tzw. rezerwą zimną. Zwykle układ zbudowany jest z pomp o takiej samej konstrukcji i parametrach pracy, tak więc należy przyjąć jednakowe rozkłady czasu do uszkodzenia T_0 i T_1 elementów systemu. Zakłada się, że czas przejścia pracy przez pompę rezerwową, po uszkodzeniu pompy podstawowej, wynosi zero. Zatem dla $\lambda_0(t)=\lambda_1(t)$, niezawodność takiego systemu [3] wyraża się wzorem:

$$R_S = R_0(t) \sum_{z=0}^1 \frac{[-\ln R_0(t)]^z}{z!} \quad (1.1)$$

2. Modelowanie rezerwy zimnej w metodzie drzewa uszkodzeń

Analiza systemów w oparciu o drzewa uszkodzeń polega na szczegółowym i dedukcyjnym badaniu zasad pracy rozpatrywanego obiektu technicznego [1, 2, 5]. Metodę tę wykorzystuje się w analizie niezawodnościowej na etapie projektowania oraz jako pomoc w diagnozowaniu stanów systemów będących w eksploatacji.

Drzewa uszkodzeń stanowią modele, które są graficznym odwzorowaniem zapisu logicznego kombinacji możliwych zdarzeń mogących wystąpić w czasie eksploatacji systemu technicznego. Przy czym, jako zdarzenia traktować należy wszelkie dynamiczne zmiany w strukturze i działaniu elementów będących fizyczną częścią systemu.

Nadmiarowość systemów z rezerwowaniem obrazuje w metodzie FTA iloczyn logiczny AND [1, 2]. Sama bramka AND nie modeluje rodzaju rezerwy (gorąca, ciepła, zimna) wobec czego parametry pracy i wskaźniki niezawodnościowe elementów rozpatrywanego systemu np. zespołów pompowych muszą zostać zdefiniowane w opisie zdarzeń bazowych oraz zostać uwzględnione w analizie ilościowej drzewa uszkodzeń [4]. W przeciwnym razie bramka AND będzie reprezentowała rezerwę gorącą, dla którego to przypadku częstość uszkodzeń w wynosi:

$$w = q_{P2}(1 - q_{P1})\lambda_{P1} + q_{P1}(1 - q_{P2})\lambda_{P2} \quad (2.1)$$

gdzie: q_{P_i} – niegotowość operacyjna i -tej pompy, λ_i – intensywność uszkodzeń i -tej pompy.

Zwykle konieczne jest uniknięcie powyższego zaokrąglenia, czyli istotne jest aby częstość uszkodzeń obiektu w odpowiadała rezerwie zimnej:

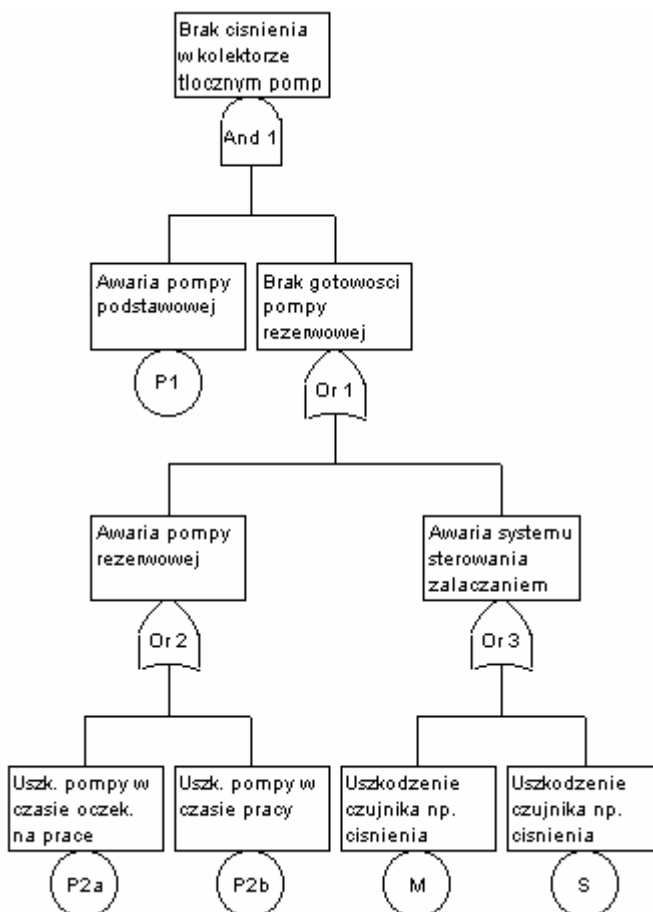
$$w = (1 - q_{P1})\lambda_{P1}F_{P2} \approx (1 - q_{P1})\lambda_{P1}(q_{P2} + \lambda_{P2}t) \quad (2.2)$$

gdzie: F – prawdopodobieństwo, że pompa P2 ulegnie uszkodzeniu w czasie rozruchu na żądanie w związku z awarią pompy P1 lub podczas pracy w okresie $(0, t)$.

W takim wypadku należy uwzględnić rezerwę zimną w analizowanej strukturze. Istnieją programy komputerowe klasy DFTA (do analizy dynamicznego drzewa uszkodzeń, czyli modelu zmiennego w czasie) m.in. *Galileo* pozwalające wprowadzić informację o nadmiarowości elementów do struktury drzewa uszkodzeń, co jest realizowane z wykorzystaniem dodatkowych bramek dynamicznych opisujących rodzaj rezerwowania. W omawianym programie używa się w tym celu bramki HSP jako realizacji rezerwy gorącej,

WSP jako rezerwy ciepłej oraz CSP jako rezerwy zimnej [5]. Modelowanie rezerwowania w omawianym programie opiera się na analizie z użyciem łańcuchów Markowa.

Inną alternatywą jest możliwość zamodelowania rezerwy zimnej z użyciem statycznych drzew uszkodzeń. W takim przypadku konieczne jest rozbudowanie gałęzi drzewa odpowiadającej analizowanej rezerwie pompowej. Na rysunku 1 przedstawiono przykładowe drzewo uszkodzeń wykorzystujące jedynie bramki typu AND i OR do zamodelowania redundantnego zespołu pompowego.



Rys. 1. Przykładowe statyczne drzewo uszkodzeń modelujące rezerwę zimną

3. Podsumowanie

Istnieją różne sposoby modelowania w metodzie drzew uszkodzeń, układów z rezerwą zimną, takich jak zespoły pompowe pomocniczych instalacji siłowni okrętowej. Generalnie można stwierdzić iż podstawową kwestią jest dokonanie wyboru pomiędzy metodą statycznych drzew uszkodzeń i dynamicznych drzew uszkodzeń. To jakie rozwiązanie przyjmie prowadzący analizę zależy od wielu czynników, którymi są między innymi:

- podstawowy cel analizy,
- obiekt analizy,
- dostępne dane o obiekcie,
- przyjęte kryteria analizy,
- dostępne oprogramowanie, itp.

Oprócz zarysowanych w artykule przykładów modelowania okrętowych redundantnych zespołów pompowych możliwe są również adaptacje metod kombinowanych m.in. z metodami rozmytych drzew uszkodzeń *FuzzyFTA* oraz rozszerzonych drzew uszkodzeń *EFTA*.

Literatura

1. Chybowski L., *Analiza pracy systemu energetyczno-napędowego statku typu offshore z wykorzystaniem metody drzew uszkodzeń*. Materiały XXII Sympozjum Siłowni Okrętowych SymSO 2001. WTM Politechnika Szczecińska, Szczecin 2001, str. 83-88.
2. Chybowski L., *Auxiliary installations' fault tree model for operation analysis of vessel's power plant unit*. Балттехмаш – 2002, KGTU, Kaliningrad, Czerwiec 2002.
3. Czajgucki J. Z.: *Niezawodność spalinowych siłowni okrętowych*. Wydawnictwo Morskie, Gdańsk 1984, s. 86–90, 138–192.
4. Montague D., Arendt S.: *Using Fault Trees to Analyze Standby Safety Features*. Quantitative Risk Assessment. ABS Consulting. Knoxville 2001.
5. Sullivan K., Dugan J. B.: *Galileo User's Manual & Design Overview. (Version 2.11)*. University of Virginia 1998.

SELECTED PROBLEMS IN FAULT TREE MODELING OF REDUNDANT PUMPS UNIT FROM MARINE POWER PLANT INSTALLATIONS

The paper contains some information on application static and dynamic fault tree analysis for redundant pump unit form marine power plant system. Example static fault tree for presented problems were shown.

WYBRANE ZAGADNIENIA MODELOWANIA REDUNDANTNYCH ZESPOŁÓW POMPOWYCH INSTALACJI OKRĘTOWYCH PRZY UŻYCIU METODY DRZEWA USZKODZEŃ (FTA)

Materiał prezentuje możliwość zastosowania dynamicznych i statycznych drzew uszkodzeń w modelowaniu redundantnego zespołu pompowego instalacji siłowni okrętowej. Zaprezentowano przykładowe statyczne drzewo uszkodzeń dla omawianych analiz.