

OSZACOWANIE GOTOWOŚCI SYSTEMU ENERGETYCZNO-NAPĘDOWEGO I TECHNOLOGICZNEGO STATKU RYBACKIEGO W WYBRANYCH STANACH PRACY

ESTIMATION OF THE AVAILABILITY OF THE POWER-PROPULSION AND TECHNOLOGICAL SYSTEM OF A FISHING VESSEL AT SELECTED OPERATIONAL MODELS

Scharakteryzowano system energetyczno-napędowy i technologiczny (SENiT) jednostek rybackich. Dokonano ogólnej charakterystyki metody dekompozycji możliwej do zastosowania przy szacowaniu gotowości systemu energetyczno-napędowego i technologicznego jednostek rybackich. Zaprezentowano uzyskane wyniki szacowania gotowości dla następujących stanów pracy jednostki rybackiej: podróż morska, wydawanie i wybieranie sieci, operacja tralowania, poławianie w dryfie lub postój w porcie.

Słowa kluczowe: gotowość techniczna, statek rybacki, stany pracy jednostki rybackiej.

The power-propulsion and technological system (PPTS) of fishing vessels will be characterized. The decomposition method will be described in terms of its use for the estimation of fishing vessel PPTS availability. The results of availability estimation will be presented for the following modes of fishing vessel operation: sea passage, running out and hauling in nets, trawling operation, drift fishing or stay at a port.

Keywords: availability, fishing vessel, modes of fishing vessel operation.

1. Wprowadzenie

Dla potrzeb analizy niezawodności i gotowości systemów energetyczno-napędowych i technologicznych (dalej określanych jako SENiT) jednostek rybackich, zamodelowano struktury tych systemów na podstawie uproszczonego schematu przedstawionego na rys. 1.

Poszczególne elementy systemu mogą być załączane i wyłączane z pracy w zależności od stanu eksploatacyjnego statku [3]. Ponadto nie wszystkie elementy muszą występować w omawianych systemach, co uzależnione jest od konkretnego rozwiązania technicznego zastosowanego w projekcie jednostki. Zaprezentowane w dalszej części modele pozwalają na analizę niezawodności i gotowości systemów w różnych kombinacjach struktury elementów składowych i dla różnych stanów eksploatacyjnych.

2. Charakterystyka metody dekompozycji do szacowania gotowości układów energetyczno-napędowych statków rybackich

Rozpatrując gotowość systemu, przyjmuje się, że system ma elementarną strukturę gotowości wtedy, gdy istnieje taka liczba $k \in (r, n)$, dla której system znajduje się w stanie gotowości, gdy co najmniej k spośród n elementów systemu znajduje się w stanie gotowości, przy czym dla systemu o szeregowej strukturze gotowości $k = n$, natomiast dla systemu o równoległej strukturze gotowości $k = r$.

System o strukturze elementarnej można zastąpić układem jednoelementowym scharakteryzowanym zmienną losową H , przyjmując wartość $H = 1$ z prawdopodobieństwem A_p oraz wartość równą $H = 0$ z prawdopodobieństwem $1 - A_p$. Przyporządkowanie systemowi o strukturze elementarnej układu jednoelementowego nazywa się redukcją systemu.

1. Introduction

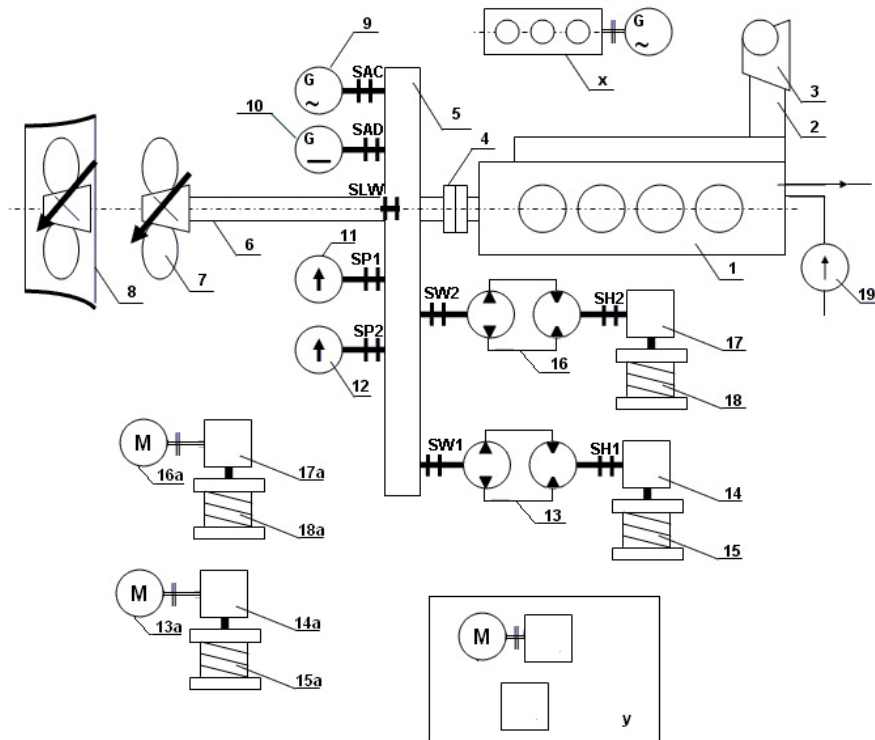
To carry out an analysis of the reliability and availability of power-propulsion and technological systems (further referred to as PPTSs) of fishing vessels, the PPTSs structures have been modeled as shown in a simplified diagram in Figure 1.

Elements of the system may be switched on/off depending on the vessel's operational mode [3]. Besides, the systems under consideration do not necessarily contain all the components, as this depends on a particular technical solution introduced in the vessel design. The models herein presented allow the reliability and availability of the system to be analyzed in various combinations of elements and for various operational modes.

2. Characteristics of the decomposition method for the estimation of fishing vessel power-propulsion system availability

Considering the system availability, we assume that the system has an elementary structure of availability when there exists such number $k \in (r, n)$ for which the system is in the state of availability when at least k in n elements of the system are in the state of availability, provided that for the system with a series availability structure $k = n$, while for the system with parallel availability structure $k = r$.

The system with an elementary structure can be replaced by a single element system characterized by the random variable H , provided that the value $H = 1$ with the probability A_p and the value $H = 0$ with the probability $1 - A_p$. The assignment of a single element system to an elementary structure system is called the system reduction.



Rys. 1. Schemat ogólny SENiT jednostek rybackich: 1 – silnik napędu głównego (SG) + instalacje pomocnicze; 2 – kolektor wydechowy SG; 3 – układ wymiany ładunku (filtr i chłodnica powietrza, turbosprężarka); 4 – sprzęgło wału pośredniego; 5 – przekładnia; 6 – linia wałów (wał pośredni i śrubowy, łożyska i uszczelnienie pochwy wału); 7 – śruba nastawna lub stała; 8 – dysza Korta śruby napędowej; 9 – prądnica walowa prądu przemiennego; 10 – prądnica walowa prądu stałego; 11 – pompa nr 1; 12 – pompa nr 2; 13 – hydrauliczny układ napędowy windy tralowej; 14 – przekładnia windy tralowej napędzanej układem 13; 15 – bęben windy tralowej napędzanej układem 13; 13 – hydrauliczny układ napędowy (pompa-silnik) windy tralowej; 13a – silnik elektryczny windy tralowej; 14 – przekładnia windy tralowej napędzanej układem 13; 14a – przekładnia windy tralowej napędzanej silnikiem 13a; 15 – bęben windy tralowej napędzanej układem 13; 15a – bęben windy tralowej napędzanej silnikiem 13a; 16 – hydrauliczny układ napędowy windy sieciowej; 16a – silnik elektryczny windy sieciowej; 17 – przekładnia windy sieciowej napędzanej układem 16; 17a – przekładnia windy sieciowej napędzanej silnikiem 16a; 18 – bęben windy sieciowej napędzanej układem 16; 18a – bęben windy sieciowej napędzanej silnikiem 16a; 19 – pompa (pompy) wody morskiej (obsługa systemów energetycznych i technologicznych); SAC – sprzęgło rozłączne prądnicy walowej prądu przemiennego; SDC – sprzęgło rozłączne prądnicy walowej prądu stałego; SP1 – sprzęgło rozłączne pompy nr 1; SP2 – sprzęgło rozłączne pompy nr 2; SW1 – sprzęgło rozłączne pompy hydraulicznego układu napędowego windy 15; SW2 – sprzęgło rozłączne pompy hydraulicznego układu napędowego windy 18; SH1 – sprzęgło rozłączne silnika hydraulicznego układu napędowego windy 15; SH2 – sprzęgło rozłączne silnika hydraulicznego układu napędowego windy 18; SWL – sprzęgło rozłączne wału napędowego; x – zespół (zespoły) elektroenergetyczny zasilany silnikiem spalinowym; y – inne odbiory elektryczne

Fig. 1. A general diagram of PPTS of a fishing vessel: 1 – main engine (ME) + auxiliary installations; 2 – exhaust manifold of ME; 3 – charge exchange system (filter and air cooler, turbocharger); 4 – intermediate shaft coupling; 5 – gearing; 6 – shafting (intermediate and propeller shafts, bearings and shaft packing); 7 – controllable or fixed pitch propeller; 8 – Kort nozzle of the propeller; 9 – AC shaft generator; 10 – DC shaft generator; 11 – pump No. 1; 12 – pump No. 2; 13 – hydraulic propulsion system of trawl winch; 14 – gearing of trawl winch driven by system 13; 15 – trawl winch drum driven by system 13; 13 – hydraulic propulsion system (pump-motor) of trawl winch; 13a – electric motor of trawl winch; 14 – gearing of trawl winch driven by system 13; 14a – gearing of trawl winch driven by motor 13a; 15 – drum of trawl winch driven by system 13; 15a – drum of trawl winch driven by motor 13a; 16 – hydraulic propulsion system of net winch; 16a – electric motor of net winch; 17 – gearing of net winch driven by system 16; 17a – gearing of net winch driven by motor 16a; 18 – drum of net winch driven by system 16; 18a – drum of net winch driven by motor 16a; 19 – sea water pump (pumps) (serving power and technological systems); SAC – AC shaft generator clutch; SDC – DC shaft generator clutch; SP1 – pump No.1 clutch; SP2 – pump No.2 clutch; SW1 – hydraulic propulsion system pump clutch of winch 15; SW2 – hydraulic propulsion system pump clutch of winch 18; SH1 – hydraulic propulsion system motor clutch of 15; SH2 – hydraulic propulsion system motor clutch of winch 18; SWL – propulsion shaft clutch; x – electric power unit (units) powered by a diesel engine; y – other electric receivers.

Przyjmuje się, że system ma prostą strukturę gotowościową, jeżeli metodą redukcji może być przekształcony w system o strukturze elementarnej. W przeciwnym razie mówi się, że system ma złożoną strukturę gotowościową. System ma strukturę gotowościową prostą pierwszego rzędu, jeżeli metodą jednostkowej redukcji może być przekształcony w system o strukturze elementarnej. System ma strukturę gotowościową k -tego rzędu, jeżeli metodą k -krotnej redukcji może być przekształcony w system o strukturze elementarnej.

It is assumed that the system has a simple availability structure if it can be converted into a system with elementary structure by the reduction method. Otherwise it is said that the system has a complex availability structure. The system has a simple availability structure of the first order if by the method of unit reduction it can be transformed into an elementary structure system. The system has an availability structure of the k -th order if by the method of k -fold reduction it can be converted into an elementary structure system.

Dekompozycja wielokrotna systemu została wykonana za pomocą wyodrębnionego podzbioru elementów m , jeżeli gotowość wyrażona jest wzorem:

$$A = \sum_{i=0}^{2^m-1} P(\overline{X}_i)P(A_p|\overline{X}_i) \quad (1)$$

gdzie: \overline{X}_i - i -ty stan gotowościowy wyodrębnionego podzbioru elementów, X_α - zbiór stanów gotowościowych, tego podzbioru, przy czym $X_i \in X_\alpha$.

Jeżeli $X_\alpha = X$ dokonana została dekompozycja zupełna. Jeżeli wyodrębniony podzbiór elementów jest podzbiorem jednoelementowym, to występuje dekompozycja jednokrotna.

Metoda dekompozycji w sposób istotny upraszcza proces analizy gotowości systemów. Prawdopodobieństwo warunkowe $P(A_p|\overline{X}_i)$ pozwala wyznaczyć gotowość systemu przy istnieniu określonej informacji wstępnej S_p (S_p - system początkowy - pierwsza faza istnienia systemu) o rozważanym systemie.

Prawdopodobieństwo warunkowe $P(A_p|\overline{X}_i)$ wyznacza się w ten sposób, że każdemu wyodrębnionemu elementowi $x_i \in W_p$ (W_p - zbiór wszystkich zasobów przedmiotowych - początkowo) w przypadku, gdy znajduje się on w stanie gotowości przyporządkowuje się operację *zwierania*, natomiast w przypadku gdy system jest w stanie niegotowości - operację *rozwierania* (przerwanie elementu w systemie).

Rzeczywiste systemy mają szeregową strukturę gotowości podsystemów o strukturze typu k z n . Wynika z tego, że poszczególne funkcje systemu realizowane są przez różne podsystemy. Odnośnie każdego podsystemu postawione są wymagania dotyczące liczby elementów n_i z których podsystem powinien się składać oraz minimalnej liczby elementów k_p , poniżej której system nie może efektywnie funkcjonować.

Gotowość systemu w opisaniej strukturze wyznaczana jest ze wzoru:

$$P(A) = \prod_{i=1}^n P(A_i) \quad (2)$$

gdzie: $P(A_i)$ - prawdopodobieństwo zdarzenia polegające na tym, że i -ty podsystem systemu jest zdolny do rozpoczęcia przygotowania do realizacji zadań:

$$P(A_i) = \sum_{j=k_i}^{n_i} \binom{n_i}{j} a_i^j (1-a_i)^{n_i-j} \quad (3)$$

gdzie: a_i - prawdopodobieństwo zdarzenia polegające na tym, że element i -tego podsystemu jest zdolny do rozpoczęcia przygotowania do realizacji zadań.

Element systemu, w czasie swego istnienia, przebywa w zbiorze E różnych stanów gotowościowych. Dla urządzeń technicznych są to stany: pracy, oczekiwania na pracę, przeglądu technicznego, naprawy, itp. W zbiorze stanów gotowościowych E można rozróżnić podzbiór stanów gotowości E_+ i niegotowości E_- . Ze zbiorów stanów E_+ można wydzielić podzbiór stanów $e_+ \subset E_+$, z którego element przechodzi do zbioru stanów E_- . Analogicznie, ze zbioru E_- można wydzielić podzbiór stanów $e_- \subset E_-$, z którego element przechodzi do zbioru stanów E_+ .

Element z punktu widzenia gotowości jest opisany, jeżeli zadane są: prawdopodobieństwa p_{ij} przejść elementu z i -tego do j -tego stanu oraz dystrybuanty $F_{ij}(t)$ czasu przebywania elementu w i -tym stanie pod warunkiem, że element przechodzi do j -tego stanu ($i, j = 1, 2, \dots, N$; N - liczba stanów gotowościowych elementu).

The multiple decomposition of the system is performed by a separated subset of elements m , if the availability is expressed by this formula:

$$A = \sum_{i=0}^{2^m-1} P(\overline{X}_i)P(A_p|\overline{X}_i) \quad (1)$$

where: \overline{X}_i - i -th availability state of a separated subset of elements, X_α - set of availability states of the subset, where $X_i \in X_\alpha$.

If $X_\alpha = X$, the decomposition is complete. If a separated subset of elements is a single element subset, then we deal with a single decomposition.

The decomposition method significantly simplifies the analysis of system availability. The conditional probability $P(A_p|\overline{X}_i)$ allows to determine the availability of a system when there exists certain initial information S_p on the considered system (S_p - initial system - first phase of system existence).

The conditional probability $P(A_p|\overline{X}_i)$ is determined in such a way that each separated element $x_i \in W_p$ (W_p - set of all objects - initially) in the case it is in the state of availability is assigned the operation of switching on, whereas in the case of system being in the state of unavailability - the operation of switching off (disconnecting the element in the system).

Actual systems have a series availability structure of subsets with the structure of k in n . It follows that particular system functions are realized by various subsystems. Each subsystem has to meet requirements referring to the number of elements n_i that the subsystem should consist of, and to the minimum number of elements k_p , below which the system cannot function effectively.

The system availability in the described structure is determined from this formula:

$$P(A) = \prod_{i=1}^n P(A_i) \quad (2)$$

where: $P(A_i)$ - probability that the i -th subsystem is capable of starting to get ready to the execution of tasks:

$$P(A_i) = \sum_{j=k_i}^{n_i} \binom{n_i}{j} a_i^j (1-a_i)^{n_i-j} \quad (3)$$

where: a_i - probability of an event reflecting the fact that the i -th element of the subsystem can start getting ready to the execution of tasks.

A system element during its existence remains in the set E of various availability states. For technical items these states are as follows: operating, standby, maintenance, repair etc. The subsets of availability states E_+ and unavailability E_- can be distinguished in the set of availability states E . Furthermore, from the sets of states E_+ we can separate the subset of states $e_+ \subset E_+$, from which an element passes to the set of states E_- . Similarly, from the set E_- we can separate the subset of states $e_- \subset E_-$, from which an element passes to the set of states E_+ .

From the perspective of availability, an element is described when the following are preset: probabilities p_{ij} of transitions of an element from the i -th to j -th state and the distribution functions $F_{ij}(t)$ of the time the element remains in the i -th state, on condition that the element passes to the j -th state ($i, j = 1, 2, \dots, N$; N - number of availability states of the element).

Jeżeli \bar{T}_+ oznacza wartość oczekiwaną czasu przebywania elementu w podzbiorze E_+ , a \bar{T}_- - wartość oczekiwaną czasu przebywania elementu w podzbiorze stanów E_- , gotowość elementu systemu określona jest wówczas wzorem:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} a(t) = a = \frac{\bar{T}_+}{\bar{T}_+ + \bar{T}_-} \quad (4)$$

Wartość oczekiwania czasów przebywania elementu w podzbiorach stanów E_+ i E_- wyznaczyć można ze wzorów:

$$\bar{T}_+ = \sum_{i \in E_+} P_i \bar{T}_i \left(\sum_{i \in E_+} P_i \sum_{j \in E_-} p_{ij} \right)^{-1} \quad (5)$$

$$\bar{T}_- = \sum_{i \in E_-} P_i \bar{T}_i \left(\sum_{i \in E_+} P_i \sum_{j \in E_-} p_{ij} \right)^{-1} \quad (6)$$

gdzie: \bar{T}_i - wartość oczekiwana czasu przebywania elementu w i -tym stanie:

$$\bar{T}_i = \sum_{j=1}^N p_{ij} \bar{T}_{ij} \quad (7)$$

gdzie: \bar{T}_{ij} - wartość oczekiwana czasu przebywania elementu w i -tym stanie pod warunkiem, że element przejdzie do j -tego stanu:

$$\bar{T}_{ij} = \int_0^{\infty} [1 - F_{ij}(t)] dt \quad (8)$$

Prawdopodobieństwo wystąpienia i -tego stanu oznaczone jest P_i i wyrażone wzorem:

$$P_i = \frac{D_i}{\sum_{j=1}^N D_j} \quad (9)$$

gdzie: D_i - macierz uzyskana z macierzy $D[a_{ij}]$; $a_{ij} = p_{ij}$ dla $i \neq j$; $a_{ij} = 1 - p_{ij}$ dla $i = j$ przez wykreślenie i -tej kolumny i i -tego wiersza.

W odniesieniu do większości systemów, a w szczególności systemów zawierających dużą liczbę elementów, jako kryterium ich gotowości lub niegotowości przyjmuje się ustalony z góry procent elementów, które powinny znajdować się w stanie gotowości, ażeby określony system jako całość był w stanie gotowości. Warunek taki może być zapisany wzorem:

$$A_{\frac{k}{n}=c} = \sum_{i=cn}^n \binom{n}{cn} A^{cn} (1-A)^{n(1-c)} \quad (10)$$

gdzie: $i = cn, cn + 1, \dots, n-1, n$,

$$\binom{n}{cn} = \frac{n!}{(cn)! [n(1-c)]!}$$

Zwiększenie gotowości systemu w przypadku, kiedy składa się on z dużej liczby elementów o gotowości $A > k/n$ zwiększa jedynie margines wymaganej gotowości, natomiast nie wpływa na jej wzrost.

Zwiększenie gotowości systemu w przypadku, kiedy składa się on z dużej liczby elementów o gotowości $A < k/n$ zmniejsza jedynie dystans, jaki występuje pomiędzy gotowością wymaganą, a gotowością rzeczywistą systemu, natomiast nie wpływa na jej wzrost.

If \bar{T}_+ denotes the expected time of the element remaining in the subset E_+ , and \bar{T}_- - the expected value of time the element remains in the subset of states E_- , then the availability of system element is described with this formula:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} a(t) = a = \frac{\bar{T}_+}{\bar{T}_+ + \bar{T}_-} \quad (4)$$

The expected values of times the element remains in the state subsets E_+ and E_- can be determined from these formulas:

$$\bar{T}_+ = \sum_{i \in E_+} P_i \bar{T}_i \left(\sum_{i \in E_+} P_i \sum_{j \in E_-} p_{ij} \right)^{-1} \quad (5)$$

$$\bar{T}_- = \sum_{i \in E_-} P_i \bar{T}_i \left(\sum_{i \in E_+} P_i \sum_{j \in E_-} p_{ij} \right)^{-1} \quad (6)$$

where: \bar{T}_i - expected value of time the element remains in the i -th state:

$$\bar{T}_i = \sum_{j=1}^N p_{ij} \bar{T}_{ij} \quad (7)$$

where: \bar{T}_{ij} - expected time in which the element will remain in the i -th state on condition that the element passes to the j -th state:

$$\bar{T}_{ij} = \int_0^{\infty} [1 - F_{ij}(t)] dt \quad (8)$$

The probability that the i -th state occurs, denoted as P_i , is expressed by this formula:

$$P_i = \frac{D_i}{\sum_{j=1}^N D_j} \quad (9)$$

where: D_i - matrix obtained from the matrix $D[a_{ij}]$; $a_{ij} = p_{ij}$ for $i \neq j$; $a_{ij} = 1 - p_{ij}$ for $i = j$ by deleting the i -th column and i -th row.

In reference to most systems, particularly those containing a great number of elements, the criterion for system availability or unavailability is assumed to be a predetermined percentage of those elements that should be available in order for a given system as a whole to be in the state of availability. This condition can be written as:

$$A_{\frac{k}{n}=c} = \sum_{i=cn}^n \binom{n}{cn} A^{cn} (1-A)^{n(1-c)} \quad (10)$$

where: $i = cn, cn + 1, \dots, n-1, n$,

$$\binom{n}{cn} = \frac{n!}{(cn)! [n(1-c)]!}$$

Increased availability of a system that consists of a great number of elements with the availability $A > k/n$ increases only the margin of required availability, but does not increase the availability itself.

Increased availability of the system that consists of a great number of elements with the availability $A < k/n$ decreases only the time length that exists between required availability and the actual availability of the system, but it does not increase the availability itself.

Maksymalne zmiany gotowości systemu występują w pobliżu wartości $A = k/n \pm \Delta A$, będącej wartością progową danego systemu.

Szczególnym przypadkiem systemów typu k z n są systemy typu 1 z n ($k = 1$) oraz systemy typu n z n ($k = n$).

Dla systemów typu 1 z n przyjmuje się, że znajdują się one w stanie gotowości, jeżeli przynajmniej jeden spośród n obiektów systemu znajduje się w stanie gotowości. Gotowość systemu typu 1 z n można zapisać wzorem:

$$A_{1zn} = \prod_{i=1}^n (1 - A_i) \quad (11)$$

W przypadku gdy rozważony system zawiera wyłącznie elementy jednorodne, jego gotowość wyraża się wzorem:

$$A_{1zn} = 1 - (1 - A)^n \quad (12)$$

Dla różnych wartości n , z których wynika, że w miarę jak liczba elementów w systemie rośnie, wzrasta również gotowość systemu, przy czym dla dużych wartości $n \rightarrow \infty$ system znajduje się w stanie absolutnej gotowości ($A_{1zn} = 1$) bez względu na gotowość jego elementów ($0 < A < 1$).

Dla systemów typu n z n przyjmuje się, że znajdują się one w stanie gotowości jedynie wówczas, gdy wszystkie elementy systemu znajdują się w stanie gotowości. Gotowość systemu typu n z n można zapisać jako:

$$A_{nzn} = \prod_{i=1}^n A_i \quad (13)$$

a w przypadku, kiedy zawiera on wyłącznie elementy jednorodne:

$$A_{nzn} = A^n \quad (14)$$

W zależności od rodzaju systemu można stosować dekompozycję jedno- lub wielokrotną. Dekompozycję k -krotną można wykonać na $n \binom{n}{k}$ różnych sposobów. Wybór krotności dekompozycji oraz określonego podzbioru elementów podlegających dekompozycji (elementów dekomponowanych) decyduje o ilości obliczeń. Ważny wpływ na ilość obliczeń ma również przyjęty sposób przeprowadzania dekompozycji i redukcji. Zapis analityczny struktury złożonej można uzyskać poprzez dekompozycję struktur mieszanych. Przeprowadza się to drogą:

- dekompozycji prostej,
- dekompozycji złożonej.

Dekompozycja prosta schematu blokowego n -elementowego systemu o strukturze złożonej prowadzona jest względem jednego wybranego elementu tego systemu zwanego elementem dekompozycyjnym. Blok odwzorowujący ten element należy usunąć ze schematu zastępując go kolejno stałym połączeniem oraz przerwą. Zastąpienie i -tego bloku stałym połączeniem jest równoważne ze zdarzeniem, że i -ty element systemu znajduje się w stanie zdadności (i -ta współrzędna realizacji wektora stanów jest równa r). Zastąpienie r -tego bloku przerwą jest równoważne ze zdarzeniem, że r -ty element systemu znajduje się w stanie niezdatności (r -ta współrzędna realizacji wektora stanów jest równa 0).

W wyniku otrzymuje się dwa schematy składające się z $n-1$ bloków. Element dekompozycyjny należy dobierać w taki sposób, aby schematy blokowe, uzyskane w wyniku dekompozycji były schematami struktur mieszanych.

Maximum changes in system availability occur close to the value $A = k/n \pm \Delta A$, being the threshold value of a given system.

Systems of the 1 in n ($k = 1$) type and systems of n in n ($k = n$) type are a special case of the systems k in n .

It is assumed that 1 in n systems are in the state of availability if at least one of n system items is in the state of availability. '1 in n ' availability can be written down with this formula:

$$A_{1zn} = \prod_{i=1}^n (1 - A_i) \quad (11)$$

When the considered system contains only homogenous elements, its availability is expressed as follows:

$$A_{1zn} = 1 - (1 - A)^n \quad (12)$$

The system availability increases for those various values of n which imply that as the number of elements in the system increases, the system availability also increases; for high values of $n \rightarrow \infty$ the system in the state of absolute availability ($A_{1zn} = 1$) regardless of the availability of its elements ($0 < A < 1$).

For 'n in n' systems it is assumed that they are in the state of availability only when all the system elements are in the state of availability. The availability of this kind of system can be written as:

$$A_{nzn} = \prod_{i=1}^n A_i \quad (13)$$

while in the case it contains only homogenous elements:

$$A_{nzn} = A^n \quad (14)$$

Depending on the kind of system, we can use single or multiple decomposition. The k -fold decomposition can be performed in $n \binom{n}{k}$ ways. The choice of decomposition multiplicity and specific subset of elements subject to decomposition (elements to be decomposed) determines the quantity of computation. This quantity also considerably depends on the adopted method of decomposition and reduction. The analytical record of a complex structure can be obtained by the decomposition of mixed structures. The particular steps include:

- simple decomposition,
- complex decomposition.

The simple decomposition of a block diagram of n -element complex structure system is performed relative to a selected element of that system called the decomposition element. The block representing that element has to be deleted from the diagram and replaced, subsequently, by a constant connection and a disconnection. The replacement of an i -th block by a constant connection is equivalent with an event such as the i -th element of the system is in up state (i -th coordinate of state vector equals r). The replacement of the r -th block by a disconnection is equivalent with an event that the r -th element is in down state (r -th coordinate of state vector equals 0).

Consequently, we obtain two diagrams consisting of $n-1$ blocks. The decomposition element should be chosen in such a way that the block diagrams obtained from decomposition are diagrams of mixed structures.

3. Oszacowanie gotowości systemu energetyczno-napędowego i technologicznego statku rybackiego w wybranych stanach pracy

Podstawę do analizy gotowości systemu energetyczno-napędowego i technologicznego statku rybackiego stanowi schemat systemu przedstawiony na rys. 1.

Ważniejsze (podstawowe) stany pracy systemu to:

1. Podróż morską (statek rybacki przemieszcza się pomiędzy łowiskami i/lub portami pracują wszystkie elementy systemu za wyjątkiem wind trałowych i sieciowych). Możliwy jest przypadek pracującego silnika głównego napędzającego poprzez przekładnię nierozłączalny wał napędowy śruby, śrubę stałą lub o zmiennym skoku z dyszą Korta, prądnicę wałową prądu przemiennego w pozycji zaszprzęglonej, zainstalowane w systemie ale rozszprzęglone pompy wałowe i windy wałowe oraz niezainstalowane lub wyłączone windy elektryczne.
2. Wydawanie i wybieranie sieci (pracują wszystkie elementy systemu). Przypadek pracującego silnika głównego napędzającego poprzez przekładnię nierozłączalny wał napędowy śruby, śrubę stałą lub o zmiennym skoku z dyszą Korta, prądnicę wałową prądu przemiennego w pozycji zaszprzęglonej, zainstalowane w systemie i zaszprzęglone pompy wałowe i windy wałowe oraz niezainstalowane windy elektryczne.
3. Operacja trałowania (pracują wszystkie elementy systemu oprócz wind sieciowych). Przypadek pracującego silnika głównego napędzającego poprzez przekładnię nierozłączalny wał napędowy śruby, śrubę stałą lub o zmiennym skoku z dyszą Korta, prądnicę wałową prądu przemiennego w pozycji zaszprzęglonej, zainstalowane w systemie i zaszprzęglone pompy wałowe, zainstalowaną i zaszprzęgloną windę trałową oraz zainstalowane i rozszprzęglone windy sieciowe wałowe i niezainstalowane windy elektryczne.
4. Polawianie w dryfie lub postój w porcie (pracują zespoły prądotwórcze - nie pracują windy ani napęd główny statku). Przypadek pracującego silnika głównego napędzającego poprzez przekładnię prądnicę wałową prądu przemiennego przy rozszprzęglonym i będącym w stanie rozszprzęglonym wale napędowym śruby, śruby stałe bez dyszy Korta, zainstalowane w systemie i zaszprzęglone pompy wałowe, zainstalowane i rozszprzęglone windy wałowe i niezainstalowane lub niezłączone windy elektryczne.

Ze względu na specyfikę i strukturę pracy, wszystkie elementy tworzą strukturę niezawodnościową szeregową, której gotowość określa zależność (13).

Oszacowania gotowości systemu w opisanych powyżej stanach dokonano na podstawie wartości gotowości zestawionych w tab. 1 (wartości gotowości oraz intensywności uszkodzeń przyjęto w oparciu o informacje zawarte w [4, 11], a dla elementów, których nie wyszczególniono w [4, 11] i występują w przedstawionym modelu, przyjęto wartości intensywności uszkodzeń oraz gotowości dla elementów o najbardziej zbliżonych funkcjach i/lub warunkach pracy [1, 2].

Uwzględniając możliwość załączenia poszczególnych elementów systemu w poszczególnych stanach pracy systemu oszacowane gotowości dla wybranych przypadków.

Podróż morską

Dla przypadku pracującego silnika głównego napędzającego poprzez przekładnię nierozłączalny wał napędowy śruby, śruby

3. Estimation of the availability of power-propulsion and technological system of a fishing vessel in selected operational modes

The diagram in Figure 1 provides a basis for an analysis of the availability of the power-propulsion and technological system of a fishing vessel.

Major modes of operation of the system include:

1. Sea passage (fishing vessel is moving between fishing grounds and/or ports; except for trawl and net winches all system elements are in operation). In one case, the main engine may run driving through gearing an disengagable propeller, fixed or controllable pitch propellers with the Kort nozzle, coupled AC shaft generator; shaft pumps and winches installed in the system are disengaged, electric winches are either uninstalled or switched off.
2. Running out and hauling in nets (all system elements are in operation). This is the case when the main engine through gearing drives the steadily coupled propeller shaft, fixed pitch propeller or controllable pitch propeller with the Kort nozzle, coupled AC shaft generator, installed and coupled shaft pumps and trawl winches and uninstalled electric winches.
3. Trawling operation (except for net winches, all system elements are in operation). This is the case when the main engine through gearing drives the steadily coupled propeller shaft, fixed pitch propeller or controllable pitch propeller with the Kort nozzle, coupled AC shaft generator, installed and coupled shaft pumps, installed and coupled trawl winch, and installed and uncoupled shaft-driven net winches and uninstalled electric winches.
4. Drift fishing or stay in port (all generating sets are running, neither winches nor main propulsion system are working). This is the case when the running main engine through gearing drives an AC shaft generator while the propeller shaft is disengaged, the fixed pitch propeller does not have the Kort nozzle, shaft pumps are installed in the system and coupled, installed shaft winches are uncoupled, while electric winches are uninstalled or switched off.

Due to the specific character and structure of operation, all the elements form a series reliability structure, whose availability is described by the relation (13).

The system availability in the above operational modes was estimated from the values of the availability listed in Table 1 (values of availability and failure rate are those given in [4, 11], while for elements present in the models but not included in [4, 11], the assumed values of failure rate and availability are those of elements with possibly similar functions and/or operating conditions [1, 2].

The availability values for selected cases take into account the possibility of switching on each element of the system in particular modes of operation.

Sea passage

In the case the main engine drives through gearing an disengagable propeller, fixed or controllable pitch propeller with

stałej lub o zmiennym skoku z dyszą Korta, prądnicę wałową prądu przemiennego w pozycji zasprężonej, zainstalowane w systemie, ale rozsprężone pompy wałowe i windy wałowe oraz niezainstalowane lub wyłączone windy elektryczne, na gotowość wpływają następujące pracujące elementy systemu: 1, 2, 3, 19, SW2, 9, SAC, SW1. 5, 8, 7, 6, 4, y, x (z rys. 1). Gotowość dla tak połączonych elementów o gotowościach z tabeli 1, tworzących szeregową strukturę niezawodnościową wynosi 0,9823.

Z kolei, jeżeli w układzie napędowym nie ma dyszy Korta, na gotowość wpływają następujące pracujące elementy systemu: 1, 2, 3, 19, SW2, 9, SAC, SW1. 5, 7, 6, 4, y, x (z rys. 1. Gotowość dla tak połączonych elementów o gotowościach z tabeli 1, tworzących szeregową strukturę niezawodnościową wynosi również 0,9823.

the Kort nozzle, coupled AC shaft generator; shaft pumps and winches installed in the system are disengaged, electric winches are either uninstalled or switched off, the availability is affected by the following operating elements of the system: 1, 2, 3, 19, SW2, 9, SAC, SW1. 5, 8, 7, 6, 4, y, x (Fig. 1). For thus connected elements availabilities Table 1 making up a series reliability structure, the availability equals 0.9823.

If, in turn, the propulsion system does not have the Kort nozzle, the availability is affected by the following operating elements of the system: 1, 2, 3, 19, SW2, 9, SAC, SW1. 5, 7, 6, 4, y, x (Fig. 1). The availability for thus connected elements availabilities Table 1 making up a series reliability structure also amounts to 0.9823.

Tab. 1. Wartości gotowości i intensywności uszkodzeń elementów systemu energetyczno-napędowego i technologicznego statku rybackiego.

Tab. 1. The values of availability and failure rate of elements of a power-propulsion and technological system of a fishing vessel.

Symbol	Opis elementu / Element description	Gotowość Availability a [-]	Intensywność uszkodzeń Failure rate λ [10^{-6} h]
1	Silnik napędu głównego i instalacje pomocnicze / Main engine and auxiliary installations	0,995907	575
2	Kolektor wydechowy silnika napędu głównego / Exhaust gas manifold of main engine	0,999586	82
3	Układu wymiany ładunku / Charge exchange system	0,998221	418
4	Sprzęgła wału pośredniego / Intermediate shaft couplings	0,999997	3,3
5	Przekładnia / Gearing	0,999773	42,9
6	Linia wałów / Shafting	0,999983	29,1
7	Śruba napędowa / Propeller	0,999997	3,3
8	Dysza śruby napędowej / Propeller nozzle	0,999999	0,2
9	Prądnica wałowa prądu przemiennego / AC shaft generator	0,999972	4,4
10	Prądnica wałowa prądu stałego / DC shaft generator	0,999972	4,4
11	Pompa nr 1 / Pump No. 1	0,999181	176,9
12	Pompa nr 2 / Pump No. 2	0,999181	176,9
13	Hydrauliczny układ napędowy windy trałowej / Trawl winch hydraulic propulsion system	0,999851	88,2
14	Przekładnia windy trałowej / Trawl winch gearing	0,999773	42,9
15	Bęben windy trałowej / Trawl winch drum	0,999993	11,1
16	Hydrauliczny układ napędowy windy sieciowej / Hydraulic propulsion system of net winch	0,999851	88,2
17	Przekładnia windy sieciowej / Net winch gearing	0,999773	42,9
18	Bęben windy sieciowej / Net winch drum	0,999993	11,1
13a	Silnik elektryczny windy trałowej / Electric motor of trawl winch	0,999181	176,9
14a	Przekładnia windy trałowej / Trawl winch gearing	0,999773	42,9
15a	Bęben windy trałowej / Trawl winch drum	0,999993	11,1
16a	Silnik elektryczny windy sieciowej / Electric motor of net winch	0,999181	174,9
17a	Przekładnia windy sieciowej / Net winch gearing	0,999773	42,9
18a	Bęben windy sieciowej / Net winch drum	0,999993	11,1
19	Pompa wody morskiej wraz z instalacją / Sea water pump and installation	0,998787	297,5
SAC	Sprzęgło rozłączne prądnicy wałowej prądu przemiennego / AC shaft generator clutch	0,999773	42,9
SDC	Sprzęgła rozłączne prądnicy wałowej prądu stałego / DC shaft generator clutch	0,999773	42,9
SP1	Sprzęgła rozłączne pompy wałowej nr 1 / Shaft pump 1 clutches	0,999773	42,9
SP2	Sprzęgła rozłączne pompy wałowej nr 2 / Shaft pump 2 clutches	0,999773	42,9
SW1	Sprzęgła rozłączne pompy hydraulicznej napędu windy trałowej Hydraulic pump clutches of trawl winch drive	0,999773	42,9
SW2	Sprzęgła rozłączne pompy hydraulicznej napędu windy sieciowej Hydraulic pump clutches of net winch drive	0,999773	42,9
SH1	Sprzęgło rozłączne silnika hydraulicznego napędu windy trałowej Engine clutch of trawl winch hydraulic drive	0,999773	42,9
SH2	Sprzęgło rozłączne silnika hydraulicznego napędu windy Engine clutch of net winch hydraulic drive	0,999773	42,9
SWL	Sprzęgło rozłączne wału napędowego statku / Ship's propeller shaft clutch	0,999773	42,9
x	Pomocniczy zespół elektro-energetyczny / Auxiliary generating set	0,999339	181,7
y	Inne odbiorniki energii elektrycznej / Other electric power receivers	0,991335	1951,9

W przypadku, gdy wał napędowy ma możliwość rozsprzęglenia od napędzającego go silnika napędu głównego gotowość określają następujące pracujące elementy systemu: 1, 2, 3, 19, SW2, 9, SAC, SW1, 5, SWL, 8, 7, 6, 4, y, x lub 1, 2, 3, 19, SW2, 9, SAC, SW1, 5, SWL, 7, 6, 4, y, x (z rys. 1). Gotowość dla tak połączonych elementów o gotowościach z tabeli 1, tworzących szeregową strukturę niezawodnościową, wynosi po 0,9821.

Rodzaj śruby napędowej (stała lub o zmiennym skoku) nie ma wpływu na zmianę struktury a może mieć jedynie wpływ na wartości gotowości.

Wydawanie i wybieranie sieci

W przypadku pracującego silnika głównego napędzającego poprzez przekładnię nierozłączalną wał napędowy śruby, śruby stałej lub o zmiennym skoku z dyszą Korta, prądnice wałową prądu przemiennego w pozycji zaszprzęglonej, zainstalowane w systemie i zaszprzęglone pompy wałowe i windy wałowe oraz niezainstalowane windy elektryczne, na gotowość wpływają następujące pracujące elementy systemu: 1, 2, 3, 19, 11, SP1, 9, SAC, 14, 15, 13, SH1, SW1, 17, 18, 16, SH2, SW2, 12, SP2, 5, 8, 7, 6, 4, y, x (z rys. 1). Gotowość dla tak połączonych elementów o gotowościach z tabeli 1, tworzących szeregową strukturę niezawodnościową wynosi 0,9791.

Jeżeli w systemie nie występuje dysza Korta, na gotowość wpływają następujące pracujące elementy systemu: 1, 2, 3, 19, 11, SP1, 9, SAC, 14, 15, 13, SH1, SW1, 17, 18, 16, SH2, SW2, 12, SP2, 5, 8, 7, 6, 4, y, x (z rys. 1), a gotowość dla tak połączonych elementów o gotowościach z tabeli 1, tworzących szeregową strukturę niezawodnościową wynosi również 0,9791.

Dla podsystemu technologicznego wyposażonego tylko w windy z napędem elektrycznym na gotowość wpływają następujące pracujące elementy systemu: 1, 2, 3, 19, 11, SP1, 9, SAC, 12, SP2, 5, 8, 7, 6, 4, 13a, 14a, 15a, 16a, 17a, 18a,y, x, lub 1, 2, 3, 19, 11, SP1, 9, SAC, 12, SP2, 5, 7, 6, 4, 13a, 14a, 15a, 16a, 17a, 18a,y, x (z rys. 1), a gotowości dla tak połączonych elementów o gotowościach z tabeli 1, tworzących szeregową strukturę niezawodnościową wynoszą po 0,9787.

Z kolei jeżeli jednostka rybacka wyposażona jest zarówno w elektryczne jak i napędzane od silnika napędu głównego windy trałowe i sieciowe to na gotowość wpływają następujące pracujące elementy systemu: 1, 2, 3, 19, 11, SP1, 9, SAC, 14, 15, 13, SH1, SW1, 17, 18, 16, SH2, SW2, 12, SP2, 5, 8, 7, 6, 4, 13a, 14a, 15a, 16a, 17a, 18a,y, x, lub 1, 2, 3, 19, 11, SP1, 9, SAC, 14, 15, 13, SH1, SW1, 17, 18, 16, SH2, SW2, 12, SP2, 5, 7, 6, 4, 13a, 14a, 15a, 16a, 17a, 18a,y, x (z rys. 1), a gotowości dla tak połączonych elementów o gotowościach z tabeli 1, tworzących szeregową strukturę niezawodnościową wynoszą po 0,9770.

Operacja trałowania

W operacji trałowania pracujący silnik główny napędzający poprzez przekładnię nierozłączalną wał napędowy śruby, śruby stałej lub o zmiennym skoku z dyszą Korta, prądnice wałową prądu przemiennego w pozycji zaszprzęglonej, zainstalowane w systemie i zaszprzęglone pompy wałowe, zainstalowana i zaszprzęglona winda trałowa oraz zainstalowana i rozprzęglona winda sieciowa wałowa i niezainstalowane windy elektryczne tworzy szeregową strukturę niezawodnościową o elementach 1, 2, 3, 19, 12, SP2, 9, SAC, 14, 15, 13, SH1, SW1, SW2, SDC, 5, 8, 7, 6, 4, y, x (z rys. 1) i gotowości 0,9805, a w przypadku braku dyszy Korta tworzy strukturę o elementach 1, 2, 3, 19, 12, SP2, 9, SAC, 14, 15, 13, SH1, SW1, SW2, SDC, 5, 7, 6, 4, y, x (z rys. 1) i również gotowości 0,9805.

In the event the propeller shaft can be disconnected from the main engine, the availability depends on the following elements: 1, 2, 3, 19, SW2, 9, SAC, SW1, 5, SWL, 8, 7, 6, 4, y, x or 1, 2, 3, 19, SW2, 9, SAC, SW1, 5, SWL, 7, 6, 4, y, x (Fig. 1). For thus connected elements availabilities Table 1 making up a series reliability structure, each availability equals 0.9821.

The type of propeller (fixed or controllable pitch) does not cause a change of the structure, although it may affect the value of availability.

Running out and hauling in nets

In the case when the main engine through gearing drives the steadily coupled propeller shaft, a fixed pitch propeller or controllable pitch propeller with the Kort nozzle, coupled AC shaft generator, installed and coupled shaft pumps and trawl winches and uninstalled electric winches, the availability depends on the following operating elements of the system: 1, 2, 3, 19, 11, SP1, 9, SAC, 14, 15, 13, SH1, SW1, 17, 18, 16, SH2, SW2, 12, SP2, 5, 8, 7, 6, 4, y, x (Fig. 1). For thus connected elements availabilities Table 1 making up a series reliability structure, the availability equals 0.9791.

If there is no Kort nozzle in the system, the availability is affected by the following operating system elements: 1, 2, 3, 19, 11, SP1, 9, SAC, 14, 15, 13, SH1, SW1, 17, 18, 16, SH2, SW2, 12, SP2, 5, 8, 7, 6, 4, y, x (Fig. 1), and for thus connected elements availabilities Table 1 making up a series reliability structure, the availability equals 0.9791.

For the technological subsystem equipped with electrically-driven winches only, the availability depends on these operating system elements: 1, 2, 3, 19, 11, SP1, 9, SAC, 12, SP2, 5, 8, 7, 6, 4, 13a, 14a, 15a, 16a, 17a, 18a,y, x, lub 1, 2, 3, 19, 11, SP1, 9, SAC, 12, SP2, 5, 7, 6, 4, 13a, 14a, 15a, 16a, 17a, 18a,y, x, and the values of availability for thus connected elements making up a series reliability structure are equal to 0.9787 in each case.

If a fishing vessel is fitted with both electric and main engine shaft-driven trawl and net winches, the availability will depend on the following operating system elements: 1, 2, 3, 19, 11, SP1, 9, SAC, 14, 15, 13, SH1, SW1, 17, 18, 16, SH2, SW2, 12, SP2, 5, 8, 7, 6, 4, 13a, 14a, 15a, 16a, 17a, 18a,y, x or 1, 2, 3, 19, 11, SP1, 9, SAC, 14, 15, 13, SH1, SW1, 17, 18, 16, SH2, SW2, 12, SP2, 5, 7, 6, 4, 13a, 14a, 15a, 16a, 17a, 18a,y, x (Fig 1). The respective availability for thus connected elements availabilities Table 1 making up a series reliability structure in each case equals 0.9770.

Trawling operation

When the ship is engaged in trawling, the main engine through gearing drives the steadily coupled propeller shaft turning a fixed pitch propeller or controllable pitch propeller with the Kort nozzle, coupled AC shaft generator, installed and coupled shaft pumps, installed and coupled trawl winch, and installed and uncoupled shaft-driven net winches and uninstalled electric winches. This series reliability structure consists of these elements: 1, 2, 3, 19, 12, SP2, 9, SAC, 14, 15, 13, SH1, SW1, SW2, SDC, 5, 8, 7, 6, 4, y, x (Fig. 1) and its availability equals 0.9805. When there is no Kort nozzle, its structure consists of 1, 2, 3, 19, 12, SP2, 9, SAC, 14, 15, 13, SH1, SW1, SW2, SDC, 5, 7, 6, 4, y, x (Fig. 1) and the availability is also 0.9805.

Jeżeli podsystem technologiczny wyposażony jest tylko w windy z napędem elektrycznym to strukturę szeregową tworzą elementy 1, 2, 3, 19, 12, SP2, 9, SAC, SDC, 5, 8, 7, 6, 4, 13a, 14a, 15a, y, x lub 1, 2, 3, 19, 12, SP2, 9, SAC, SDC, 5, 7, 6, 4, 13a, 14a, 15a, y, x (z rys. 1) o gotowościach po 0,9805.

Z kolei jeżeli jednostka rybacka wyposażona jest zarówno w elektryczne jak i napędzane od silnika napędu głównego windy trałowe i sieciowe, to strukturę szeregową tworzą elementy 1, 2, 3, 19, 12, SP2, 9, SAC, SDC, 5, 8, 7, 6, 4, 13a, 14a, 15a, 14, 15, 13, SH1, SW1, SW2, y, x lub 1, 2, 3, 19, 12, SP2, 9, SAC, SDC, 5, 7, 6, 4, 13a, 14a, 15a, 14, 15, 13, SH1, SW1, SW2, y, x (z rys. 1) o gotowościach po 0,9794.

Łowienie w dryfie lub postój w porcie

W czasie łowienia w dryfie lub podczas postoju w porcie pracują zespoły prądotwórcze (nie pracują windy ani napęd główny statku). Szeregową strukturę niezawodnościową tworzą elementy 1, 2, 3, 19, 11, SP1, 9, SAC, 12, SP2, 5, SWL, 4, x, y (z rys. 1), której oszacowana gotowość wynosi 0,9805.

W przypadku pracy prądnicy wałowej prądu stałego szeregową strukturę niezawodnościową tworzą elementy 1, 2, 3, 19, 11, SP1, 12, SP2, 10, SDC, 5, SWL, 4, x, y (z rys. 1), której oszacowana gotowość wynosi również 0,9805.

Jeżeli statek nie ma możliwości rozsprzęglenia wału napędowego, aby silnik główny w czasie dryfowania lub postoju w porcie mógł napędzać prądnicę wałową, wówczas energia elektryczna produkowana jest wyłącznie poprzez pomocnicze zespoły prądotwórcze i jest szacowana tylko ich gotowość.

4. Podsumowanie

Zaprezentowana analiza przedstawia oszacowanie gotowości dla jednego z najprostszyc przypadków gotowości, gdy struktura elementów w czasie różnych stanów pracy jest szeregową. Zdecydowana większość kutrów rybackich pracujących na polskim wybrzeżu Bałtyku charakteryzuje się opisanymi stanami pracy. Bardziej złożone systemy niezawodnościowe analizowane są w pracach [5, 6, 7, 8, 9, 10]. Również prace te zawierają opis i zastosowanie innych bardziej złożonych metod użytych do szacowania niezawodności i gotowości systemów technicznych siłowni okrętowych.

5. References

1. Aven T. Reliability/Availability Academics of Coherent Systems Based on Minimal Cut Sets. Reliability Engineering 1985; 13: 93-104.
2. Aven T. Reliability Academic of Multistate Systems with Multistate Components. IEEE Transactions on Reliability 1985; 5(R-34): 473-479.
3. Balcerski A, Bocheński D. Układy technologiczne i energetyczne jednostek oceanotechnicznych. Gdańsk: Wyd. Politechniki Gdańskiej, 1998.
4. Duda-Gwiazda J. Niezawodność okrętowych siłowni spalinowych. Sformułowanie problemu i propozycja jego rozwiązania. Raport Techniczny Nr RT-95/T-01. Gdańsk: Centrum Techniki Okrętowej, 1995.
5. Matuszak Z. Sposób oceny stanu technicznego urządzeń siłowni okrętowej. Gdynia: Materiały XIII Międzynarodowego Sympozjum Siłowni Okrętowych 1991; 129-137.
6. Matuszak Z. Szacowanie niezawodności siłowni okrętowych metodą przekrojów niezdatności i dekompozycji. Gdynia: Materiały XIII Międzynarodowego Sympozjum Siłowni Okrętowych 1991; 139-146.
7. Matuszak Z. Szacowanie niezawodności instalacji siłowni okrętowej jako systemu odpowiedzialnego za pracę silnika głównego. Gdynia: Materiały Konferencji Naukowo-Technicznej EXPLO-SIL'92 „Eksplatacja silników spalinowych o zapłonie samoczynnym”. Część 2: 1992; 36-44.
8. Matuszak Z. Szacowanie niezawodności systemu zasilania paliwem urządzeń siłowni. Gdańsk: Materiały na X Sympozjum Paliw Płynnych i Produktów Smarowych w Gospodarce Morskiej. Jarosławiec 1993; Referat nr 29.
9. Matuszak Z, Polek W. Program do wstępnego szacowania niezawodności elementów i instalacji siłowni okrętowych. Gdynia:

If the technological subsystem is equipped with electric winches only, the series structure consists of these elements: 1, 2, 3, 19, 12, SP2, 9, SAC, SDC, 5, 8, 7, 6, 4, 13a, 14a, 15a, y, x or 1, 2, 3, 19, 12, SP2, 9, SAC, SDC, 5, 7, 6, 4, 13a, 14a, 15a, y, x (Fig. 1) and in either case the availability equals 0.9805.

If a fishing vessel is fitted with both electric and main engine shaft-driven trawl and net winches, the series structure includes the elements 1, 2, 3, 19, 12, SP2, 9, SAC, SDC, 5, 8, 7, 6, 4, 13a, 14a, 15a, 14, 15, 13, SH1, SW1, SW2, y, x or 1, 2, 3, 19, 12, SP2, 9, SAC, SDC, 5, 7, 6, 4, 13a, 14a, 15a, 14, 15, 13, SH1, SW1, SW2, y, x (Fig. 1), both presenting the availability equal 0.9794.

Drift fishing or stay in the port

While drift fishing or staying in the port, ship's generating sets are in operation (neither winches nor main engine are running). The series reliability structure consists of the elements 1, 2, 3, 19, 11, SP1, 9, SAC, 12, SP2, 5, SWL, 4, x, y (Fig. 1). The estimated availability of this structure is equal to 0.9805.

When the DC shaft generator is switched on, the series reliability structure is composed of the elements 1, 2, 3, 19, 11, SP1, 12, SP2, 10, SDC, 5, SWL, 4, x, y (Fig. 1), and its estimated availability also amounts to 0.9805.

If the vessel propeller shaft cannot be disengaged, so that the main engine will drive the shaft generator during drifting or staying alongside the berth, then electric power is produced only by auxiliary generating sets and their availability only is estimated.

4. Summary

The above analysis presents the estimation of availability for its rather simple case, i.e. when various operational states represent a series structure. Most of the vessels operating off the Polish Baltic coast are characterized by such operational state. More complex reliability systems have been analyzed in the works [5, 6, 7, 8, 9, 10], which also include a description and use of more sophisticated methods for the estimation of reliability and availability of marine power plant systems.

- Materiały XV Międzynarodowego Sympozjum Siłowni Okrętowych 1993; 197-203.
10. Matuszak Z. Wybór metody do szacowania niezawodności instalacji siłowni okrętowych.. Niezawodność i Bezpieczeństwo. Problemy Eksploatacji 1993; 7: 99-103.
 11. OREDA. Offshore Reliability Data Handbook. Høvik: 3-rd Edition. Det Norske Veritas, 1997.

Dr hab. inż. Zbigniew MATUSZAK

Zakład Siłowni Okrętowych

Instytut Technicznej Eksploatacji Siłowni Okrętowych

Akademia Morska w Szczecinie

Ul. Wały Chrobrego nr 1-2, 70-500 Szczecin, Polska

e-mail: zbigma@o2.pl
