CZASOPISMO INŻYNIERII LĄDOWEJ, ŚRODOWISKA I ARCHITEKTURY
JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING, ENVIRONMENT AND ARCHITECTURE
JCEEA, t. XXXIV, z. 64 (4/II/17), październik-grudzień 2017, s. 287-296, DOI:10.7862/rb.2017.246

Ryszarda IWANEJKO[1]
Jarosław BAJER[2]

DEKOMPOZYCJA WIELOKROTNA JAKO METODA DOKŁADNEGO WYZNACZANIA NIEZAWODNOŚCI SYSTEMÓW ZŁOŻONYCH

Współcześnie wszystkie systemy inżynierskie należy projektować z uwzględnieniem konieczności równoczesnego spełnienia kryteriów technicznych, ekonomicznych i niezawodnościowych. Kryteria te, zwłaszcza kryteria niezawodnościowe, powinny być również spełnione dla systemów już istniejących i działających. Podstawowe kryterium może odnosić się do niezawodności systemu K. Wielkość K jest interpretowana jako prawdopodobieństwo, że w dowolnej chwili czasu w tzw. normalnym okresie eksploatacji system będzie sprawny i będzie w zadowalający sposób wypełniać swoje zadania. Znajomość wartości miary K często stanowi podstawę podejmowania istotnych, bo strategicznych decyzji dotyczących konieczności modernizacji systemu. Miarę niezawodności K można wyznaczać za pomocą różnych metod. Najprostszą z nich jest dokładna metoda wzorów analitycznych, którą można stosować dla systemów o mieszanej strukturze niezawodnościowej. W praktyce inżynierskiej mogą jednak występować przypadki, gdy system nie ma takiej struktury. Nie można wówczas skonstruować prawidłowego schematu niezawodnościowego systemu, a to oznacza, że nie można w ten najprostszy, tradycyjny sposób, wyznaczyć dokładnej wartości niezawodności systemu K. Pozostałe metody, czyli metody przeglądu zupełnego i częściowego, na ogół są niepraktyczne. Dla większych systemów pierwsza z nich jest zbyt praco- i czasochłonna. Druga, choć jest metodą przybliżoną, umożliwiającą sterowaniem dokładnością obliczeń, powoduje że uzyskanie zadowalająco małego błędu również znacząco zwiększa jej pracochłonność. Jednak w wielu sytuacjach można ominąć tę trudność. Wystarczy zastosować proces dekompozycji systemu, jedno- lub wielokrotny, a później wzór na prawdopodobieństwo zupełne. Takie postępowanie pozwoli, najczęściej niewielkim nakładem pracy, uzyskać dokładny wynik miary niezawodności systemu K. W artykule przedstawiono metodykę wyznaczania K przy zastosowaniu procesu dekompozycji wielostopniowej.

Słowa kluczowe: stacjonarny wskaźnik gotowości, element dekompozycyjny, dekompozycja stopniowa, dekompozycja równoczesna, dekompozycja kombinowana

[1] Ryszarda Iwanejko, riw@vistula.wis.pk.edu.pl
[2] Autor do korespondencji / corresponding author: Jarosław Bajer, Instytut Zaopatrzenia w Wodę i Ochrony Środowiska, Politechnika Krakowska, 31-155 Kraków, ul. Warszawska 24, tel. +(48) 12 6282877; jbajer@vistula.wis.pk.edu.pl

1. Wstęp

Tradycyjnie podstawową miarą niezawodności stosowaną dla dowolnych systemów jest tzw. stacjonarny wskaźnik gotowości systemu K. Jest on interpretowany jako prawdopodobieństwo, że system będzie sprawny (będzie wykonywać swoje zadanie albo będzie gotów do podjęcia wykonywania swego zadania) w dowolnej chwili czasu w tzw. normalnym okresie eksploatacji (czyli po czasie adaptacji systemu po jego pierwszym uruchomieniu, ale jeszcze przed tym, gdy zaczną się ujawniać procesy zużycia, starzenia i zmęczenia). Jest to miara kompleksowa, uwzględniająca dwa strumienie: strumień uszkodzeń i odnowy [7,8,9, 10,11]. Miarę K można wyznaczać za pomocą różnych metod. W pierwszym rzędzie są to metody jednoparametryczne, do których należą metoda wzorów analitycznych oraz metody przeglądu.

2. Metody wyznaczania niezawodności systemu K(S)

Metodę wzorów analitycznych (MWA) stosuje się w sytuacjach, gdy nie można skonstruować prawidłowego schematu niezawodnościowego systemu, co oznacza, że z niezawodnościowego punktu widzenia system ma strukturę mieszaną (typową lub nietypową) [1,8,10]. Ideą metody jest takie blokowanie elementów, by dla uzyskanych bloków można było zastosować wzory analityczne dla struktur podstawowych (szeregowej, równoległej, progowej). Uzyskany w ten sposób wynik K(MWA) jest dokładny.

Metody przeglądu (MP) stosuje się w sytuacjach, gdy nie można skonstruować prawidłowego schematu niezawodnościowego systemu. Ideą metody przeglądu jest sporządzenie tabeli stanów elementarnych systemu, z których każdy opisuje jeden możliwy przypadek spośród różnych kombinacji stanów sprawności elementów systemu. Jeśli liczba elementów systemu jest niewielka, to należy uwzględnić wszystkie możliwe stany elementarne systemu i zastosować metodę przeglądu zupełnego (MPZ), co pozwoli na uzyskanie dokładnej wartości K(MPZ). Wynik dokładny K przy znacznej liczbie elementów można uzyskać również wówczas, gdy możliwe jest zastosowanie metody wyboru stanów sprawności [1,7]. Jeśli liczba wszystkich elementów systemu jest duża, to najczęściej jedynym wyjściem jest pominięcie w obliczeniach mało prawdopodobnych przypadków, gdy w dowolnej chwili czasu znaczna liczba elementów jest niesprawna, co sprowadza się do zastosowania metody przeglądu częściowego (MPCz). Wyznaczona wówczas wartość K(MPCz) jest przybliżona, co z jednej strony ogranicza pracochłonność metody a z drugiej wiąże się z koniecznością oszacowania popełnianego błędu ε. Oszacowanie błędu ε jest stosunkowo proste, więc pozwala na sterowanie dokładnością obliczeń [3,4]. MPCz jest przy tym metodą uniwersalną, dla której nie obowiązują żadne ograniczenia (np. co do liczby elementów systemu, jego struktury).

Miarę K dla złożonych systemów można wyznaczyć również wykorzystując dwuparametryczną, pracochłonną metodę minimalnych przekrojów niesprawności (MMPN) [1,10,11]. Mimo, że podstawowym celem tej metody jest wyznaczenie średnich czasów sprawności (Tp) i niesprawności (Tn) systemu, to jest oczywistym, że ich znajomość pozwala na wyliczenie miary oznaczanej tutaj przez K(MMPN). Dwa parametry systemu (Tp, Tn), choć nie są wyznaczane jako wartości dokładne, to dają projektantowi ważną informację jakiego rzędu są te wielkości, co pozwala na ocenę pracy systemu i podejmowanie decyzji o ewentualnej konieczności jego modernizacji. Wyznaczone K(MMPN) jest również wartością przybliżoną, jednak problem oszacowania popełnianego błędu nie jest prosty [4]. Ponadto nie wiadomo, czy uzyskany wynik K(MMPN) jest większy czy mniejszy od nieznanej wartości dokładnej K(MPZ). Wiąże się to z niebezpieczeństwem błędnej oceny niezawodności systemu. W sytuacji, gdy wymagany poziom niezawodności systemu Kw [9,10] oraz poziom wyznaczony K(MMPN) są zbliżone, to istnieje realne ryzyko podjęcia złej, często strategicznej, decyzji wskutek niezgodnej ze stanem faktycznym relacji między wartościami K oraz Kw. W praktyce uwzględnienie minimalnych przekrojów niesprawności (MPN) o większej liczbie elementów pozwala na uzyskanie dokładniejszych wyników K(MMPN). Jednak dodatkowy nakład pracy nie zawsze w istotny sposób wpływa na poprawę dokładności wyniku. Poniżej (przykład 1) przeanalizowano dokładność wyników K(MMPN) dla struktur mieszanych, dla których celem porównania wyznaczono dokładne wartości niezawodności K za pomocą MWA.

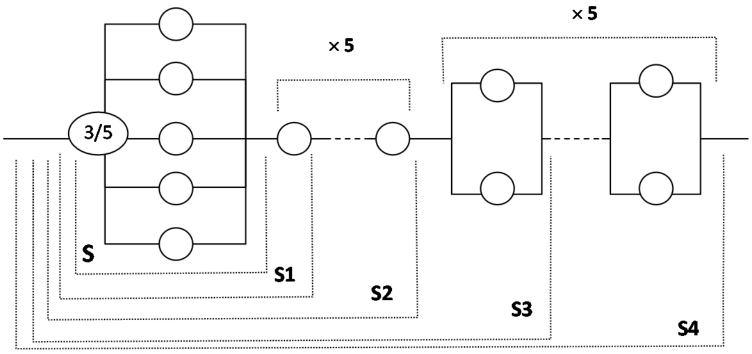
<u>Przykład</u>

Aby ocenić dokładność miary K wyznaczanej za pomocą MMPN, jako wyjściową wzięto pod uwagę strukturę progową S „3 z 5”, złożoną z elementów jednorodnych e. Następnie strukturę S zmodyfikowano i utworzono struktury (rys.1):

– S1 - poprzez dołączenie do S szeregowo jednego elementu e,
– S2 - poprzez dołączenie do S szeregowo 5-ciu takich samych jednorodnych elementów,
– S3 - poprzez szeregowe dołączenie do S2 jednej jednorodnej struktury „1 z 2”,
– S4 - poprzez szeregowe dołączenie do S2 5-ciu jednorodnych struktur „1 z 2”.

Obliczenia przeprowadzono dla dwóch wariantów - o niższej (I) i wyższej (II) niezawodności elementów K(e). Do obliczeń przyjęto:

I) Tp(e)= 9 [d], Tn(e)= 1 [d], skąd K(e)=0,90
II) Tp(e)= 50 [d], Tn(e) = 1 [d], skąd K(e)=0,98.



Rys. 1. Struktury niezawodnościowe analizowane w przykładzie 1 (opracowanie własne)

Fig. 1. Reliability structures analyzed in example 1(authors' work)

Jak wiadomo dla struktury „3 z 5" istnieje $\binom{5}{3}=10$ minimalnych przekrojów trójementowych. Dla pozostałych struktur istnieją dodatkowe minimalne przekroje (1-elementowe dla S1, S2, S3 i S4 oraz 2-elementowe dla S3 i S4). W kolejnym kroku wyznaczono niezawodności powyższych struktur za pomocą MWA i uzyskano wartości dokładne K(MWA) oraz za pomocą MMPN i uzyskano wartości przybliżone K(MMPN), przy czym w obliczeniach uwzględniano wszystkie istniejące dla danej struktury MPN. Wartości dokładne K(MWA) posłużyły do porównań, co później pozwoliło na sformułowanie wniosków.
Uzyskane wyniki niezawodności K przedstawionych powyżej systemów, wraz z błędami bezwzględnymi BB i względnymi BW, zestawiono w tabeli 1, natomiast w tabeli 2 zestawiono wartości błędów bezwzględnych BB i względnych BW dla najbardziej złożonej struktury S4, uzyskane przy uwzględnianiu minimalnych przekrojów niesprawności (1-, 2- oraz 3-elementowych).

Tabela 1. Wyznaczone wartości niezawodności poszczególnych struktur z przykładu 1 (opracowanie własne)

Table 1. The reliability values of individual structures, example 1 (authors' work)

Struktura oraz liczba MPN 1-, 2- i 3-elementowych	Przypadek / K(e)	K(MWA)	K(MMPN)	Błąd bezwzględny BB= K(MWA)-K(MMPN)	Błąd względny BW= BW/K(MWA)
S 0 /0/ 10	I / 0,90	0,991440000	0,986468200	0,004971800	0,501%
	II / 0,98	0,999926814	0,999920006	0,000006808	0,001%
S1 1/ 0/ 10	I / 0,90	0,892296000	0,889024390	0,003271610	0,367%
	II / 0,98	0,980320406	0,980315269	0,000005137	0,001%

S2	I / 0,90	0,585435406	0,637237762	-0,051802357	-8,849%
5/ 0 / 10	II / 0,98	0,905664523	0,909024798	-0,003360275	-0,371%
S3	I / 0,90	0,579581052	0,632263660	-0,052682608	-9,090%
5/ 1 / 10	II; 0,98	0,905316324	0,908694388	-0,003378063	-0,373%
S4	I / 0,90	0,556743246	0,613120269	-0,056377024	-10,126%
5/ 5 / 10	II; 0,98	0,903924868	0,907375145	-0,003450277	-0,382%

Tabela 2. Wyznaczone wartości błędów BB i BW dla struktury S4 (opracowanie własne)

Table 2. The absolute and relative error values for the structure S4 (authors' work)

Liczba MPN 1-, 2- i 3-elementowych	Przypadek / Ke	K(MWA)	K(MMPN)	BB	BW
5 /0 / 0	I / 0,90	0,556744	0,642857	-0,086114	-15,467%
5 / 5/ 0			0,618321	-0,061577	-11,060%
5 / 5/ 10			0,613120	-0,056377	-10,126%
5 /0 / 0	II / 0,98	0,903925	0,909091	-0,005166	-0,572%
5 / 5/ 0			0,907441	-0,003516	-0,389%
5 / 5/ 10			0,907375	-0,003450	-0,382%

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń sformułowano następujące spostrzeżenia:

– w przypadkach, gdy jest brak lub gdy występuje niewielka liczba przekrojów 1-elementowych (np. dla struktur S i S1), wartość przybliżona K(MMPN) jest mniejsza od wartości dokładnej K(MWA); w przypadkach, gdy liczba przekrojów 1-elementowych jest znaczna (np. dla struktur S2) wartość przybliżona K(MMPN) jest większa od wartości dokładnej K(MWA) (ten fakt wynika ze stosowania przybliżonych wzorów),
– dla systemów, dla których brak jest 1-elementowych MPN lub ich liczba jest niewielka (np. S, S1) błędy BB i BW są pomijalne,
– dla systemów, dla których istnieje większa liczba jednoelementowych przekrojów niesprawności, błędy (zarówno bezwzględny BB jak i względny BW) wyznaczenia K za pomocą MMPN są większe, przy czym wielkości błędów zależą od poziomu niezawodności elementów K(e); popełniany błąd może być bardzo istotny np. dla S2 oraz K(e)=0,90 błąd bezwzględny wyniósł BB≈ –0,0518 a względny BW≈ –8,85%;
– na wielkości błędów (bezwzględnego i względnego), oprócz liczby przekrojów jednoelementowych, wpływają również wartości niezawodności elementów: im elementy mają wyższą niezawodność tym błędy BB i BW są niższe, dla tej samej struktury, gdy K(e)=0,90 błędy są przeciętnie nawet do kilkaset razy większe niż gdy K(e)=0,98,
– niemożność oszacowania popełnianych błędów w praktyce stwarza ryzyko błędnej oceny działania systemu przy porównywaniu wyznaczonego K(MMPN) i wymaganego poziomu niezawodności systemu Kw [9,10], a tym

samym generuje ryzyko podjęcia błędnej decyzji strategicznej dotyczącej konieczności modernizacji systemu,
- liczba przekrojów 2-elementowych nie wpływa w tak istotny sposób na dokładność wartości K(MMPN) jak liczba przekrojów 1-elementowych, co widać przy porównaniu wyników dla struktur S2 i S4,
- samą MMPN można uprościć, uwzględniając np. tylko minimalne przekroje 1- i 2-elementowe, jednak uwzględnienie w obliczeniach MPN o większej liczbie elementów (o ile istnieją) wpływa na uzyskanie dokładniejszych wyników; z przeprowadzonych obliczeń wynika, że przykładowo dla przypadku I, gdy K(e)=0,90 dla struktury S4, przy pominięciu w obliczeniach przekrojów 2- i 3-elementowych, uzyskuje się błąd BW=-15,467% (tab.2) - jest on o ok. 5,341 punktów procentowych większy niż w przypadku, gdyby uwzględniono przekroje 2- i 3-elementowe, natomiast dla przypadku II, gdy Ke=0,98 dokładność po uwzględnieniu przekrojów 2- i 3-elementowych wzrosłaby o ok. 0,19 punktów procentowych; jak tu widać większa pracochłonność wynikająca z uwzględnienia wszystkich MPN metody wpływa w istotny sposób na większą dokładność wyniku wtedy, gdy niezawodności elementów nie są bardzo wysokie, wówczas poprawa dokładności obliczeń może być znacząca.

W praktyce istnieje wiele przypadków, gdy nie można skonstruować prawidłowego schematu niezawodnościowego systemu i gdy, wydawałoby się, jedynym wyjściem w celu wyznaczenia niezawodności systemu jest zastosowanie pracochłonnej i przybliżonej MPCz. W dalszej części przedstawiono kilka wybranych przykładów, gdy pomimo niemożności skonstruowania prawidłowego schematu niezawodnościowego systemu można uzyskać dokładny wynik K stosunkowo niewielkim nakładem pracy. W każdym z poniższych przykładów schemat postępowania jest analogiczny i opiera się na dekompozycji systemu.

3. Dekompozycja systemu

Dekompozycja systemu to inaczej jego rozkład. Może być ona jednokrotna (przeprowadzona ze względu na jeden element) lub wielokrotna (przeprowadzona ze względu na kilka elementów lub w skrajnym przypadku ze względu na wszystkie elementy systemu).

Najprostszy przypadek dekompozycji, tj. dekompozycja ze względu na jeden element, wymaga wyboru takiego jednego elementu systemu e1 (tzw. element dekompozycyjny), z którym są największe trudności np. przy próbie skonstruowania schematu niezawodnościowego. Następnie rozważa się dwa rozłączne i uzupełniające się przypadki: zakłada się, że ten element dekompozycyjny e1 jest:
- zdatny i wówczas system S zamienia się w S1,
- niezdatny i wówczas system S zamienia się w S2.

Jest oczywiste, że ani w S1 ani w S2 element e1 nie występuje. Wówczas, na mocy wzoru na prawdopodobieństwo zupełne [1,10], niezawodność systemu S wyznacza się za pomocą wzoru

$$K(S) = K(S1) \cdot K(e1) + K(S2) \cdot [1 - K(e1)] \quad (1)$$

Jeśli w sposób analityczny można wyznaczyć K(S1) i K(S2), to uzyskujemy dokładną wartość miary K(S). Jeśli natomiast nie można wyznaczyć dokładnych wartości K(S1) lub K(S2) to proces dekompozycji należy kontynuować, i wówczas jest to już dekompozycja wielostopniowa. Poniżej przyjęto, że konieczna jest dalsza dekompozycja struktury S1 ze względu na drugi element e2. Wówczas struktura S1 zamienia się w strukturę S3 (gdy e2 jest zdatny) albo w strukturę S4 (gdy e2 jest niezdatny). Stosując ponownie wzór na prawdopodobieństwo zupełne uzyskuje się

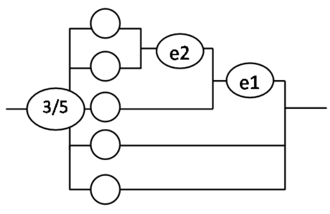
$$K(S1) = K(S3) \cdot K(e2) + K(S4) \cdot [1 - K(e2)] \quad (2)$$

Wartość K(S1) wyznaczoną za pomocą (2) należy podstawić do wzoru (1).

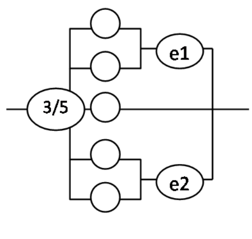
Proces dekompozycji, prowadzony ze względu na dwa elementy, może być dekompozycją stopniową albo równoczesną.

W pierwszym przypadku, przy dekompozycji stopniowej, po przeprowadzeniu dekompozycji ze względu na element e1 prowadzi się dekompozycję ze względu na element e2. Taką dekompozycję należy zastosować, gdy między elementami e1 oraz e2 istnieje zależność tego typu, że niesprawność jednego z nich (e1) wyłącza drugi element (e2). Wówczas każda droga sprawności zawierająca element e2 zawiera też e1 (rys.2a).

a)



b)



Rys. 2. Przykłady struktur mieszanych nietypowych, gdy należy zastosować dekompozycję (a) stopniową (b) równoczesną (opracowanie własne)

Fig.2. Examples of unusual mixed structures, where a) step decomposition (b) simultaneous decomposition should be used (authors' work)

Natomiast dekompozycję równoczesną ze względu na e1 oraz e2 należy przeprowadzić wówczas, gdy elementy e1 i e2 są niezależne w tym sensie, że niesprawność żadnego z nich nie wyłącza drugiego. W takiej sytuacji istnieje choć jedna taka minimalna droga sprawności (MDS), która nie zawiera równocześnie elementów e1 oraz e2 (rys. 2b). Można wtedy od razu rozważyć 4 wykluczające się przypadki:

- gdy e1 oraz e2 są równocześnie zdatne i wówczas system S zamienia się w S1; taki przypadek zachodzi z prawdopodobieństwem $P(S1) = K(e1) \cdot K(e2)$,
- gdy e1 jest zdatny natomiast e2 jest niezdatny i wówczas system S zamienia się w S2, taki przypadek zachodzi z prawdopodobieństwem $P(S2) = K(e1) \cdot [1 - K(e2)]$,
- gdy e1 jest niezdatny natomiast e2 jest zdatny i wówczas system S zamienia się w S3, taki przypadek zachodzi z prawdopodobieństwem $P(S3) = [1 - K(e1)] \cdot K(e2)$,
- gdy e1 oraz e2 są równocześnie niezdatne i wówczas system S zamienia się w S4, taki przypadek zachodzi z prawdopodobieństwem $P(S4) = [1 - K(e1)] \cdot [1 - K(e2)]$.

Na mocy twierdzenia o prawdopodobieństwie zupełnym można wtedy napisać

$$K(S) = K(S1) \cdot P(S1) + K(S2) \cdot P(S2) + K(S3) \cdot P(S3) + K(S4) \cdot P(S4) \qquad (3)$$

Choć, w przypadku, gdy elementy e1 i e2 są niezależne (w sensie jak powyżej np. jak na rys. 2b), zastosowanie dekompozycji stopniowej nie jest błędem to jednak proces wyznaczania K(S) przy stosowaniu dekompozycji równoczesnej jest znacznie przyspieszony i jest intuicyjnie prostszy.

Dekompozycję można też, w zależności od potrzeb, prowadzić ze względu na większą liczbę elementów. W ten sposób identyfikuje się szereg sytuacji i struktur Si (S1, S2, S3, ...), gdy dla danych, określonych podczas kolejnych dekompozycji stanów funkcjonowania poszczególnych elementów można wyznaczyć: 1^0 prawdopodobieństwo sprawności nowej struktury K(Si) (jest to prawdopodobieństwo warunkowe), 2^0 prawdopodobieństwo zajścia takiej sytuacji P(Si). Ponieważ zidentyfikowane sytuacje są rozłączne a zarazem wyczerpują wszystkie możliwości, więc do wyznaczenia rzeczywistej, nieznanej, dokładnej wartości K należy zastosować wzór na prawdopodobieństwo zupełne

$$K = \sum_{i} K(Si) \cdot P(Si) \qquad (4)$$

W bardziej złożonych przypadkach bardzo istotna, ze względu na pracochłonność, jest kolejność wyboru elementów dekompozycyjnych. Najlepsze rezultaty (tj. najmniej stopni dekompozycji) daje wybór w pierwszej kolejności takiego elementu, od którego „zależy najwięcej” (występuje w największej liczbie minimalnych dróg sprawności, ma największą wydajność itp.). Czasem może też być konieczność zastosowania tzw. dekompozycji kombinowanej (np. równoczesnej ze względu na e1 i e2 oraz stopniowej ze względu e3 i e4). Jeśli prowadzi się dekompozycję ze względu na wszystkie elementy, to ten proces faktycznie sprowadza się do metody przeglądu zupełnego.

4. Podsumowanie

Znajomość dokładnej wartości stacjonarnego wskaźnika gotowości K, zwanego potocznie niezawodnością, umożliwia sprawdzenie podstawowego kryterium niezawodnościowego i uzyskanie odpowiedzi na pytanie czy system w dowolnej chwili czasu jest wystarczająco niezawodny i czy konieczna jest jego modernizacja. Dla systemów o strukturze złożonej, gdy nie można wprost zastosować metody wzorów analitycznych a metody przeglądu okazują się zbyt pracochłonne, dokładną wartość niezawodności K można uzyskać po zastosowaniu tzw. procesu dekompozycji systemu. Polega on na wyborze elementu, bądź elementów, które uniemożliwiają przeprowadzenie prostych analitycznych obliczeń. Metoda dekompozycji wymaga rozważenia dwóch rozłącznych przypadków: gdy elementy dekompozycyjne są zdatne i gdy są niezdatne. Jeśli dla tych dwóch przypadków uzyska się struktury mieszane, to można do wyznaczenia ich niezawodności zastosować znane, proste wzory analityczne. Jeśli uzyskane po dekompozycji struktury nadal są zbyt złożone, proces dekompozycji stosuje się powtórnie. W zależności od sytuacji, ta wielokrotna dekompozycja może być równoczesna, stopniowa lub kombinowana. Finalne zastosowanie wzoru na prawdopodobieństwo zupełne umożliwia łączne uwzględnienie wszystkich analizowanych przypadków. Metoda jest intuicyjnie prosta. W praktyce pozwala na wyznaczenie dokładnej wartości K stosunkowo niewielkim nakładem pracy. Przykłady zastosowania dekompozycji przedstawiono w artykule „Aplikacje dekompozycji wielokrotnej do dokładnego wyznaczania niezawodności systemów złożonych” [5], stanowiącym kontynuację obecnego. Inne, interesujące podejście do zastosowania ogólnie rozumianej dekompozycji systemu (konkretnie kanalizacyjnego), traktowanego jako graf-drzewo i opartego na tzw. metodzie dekompozycji i ekwiwalentowania, zaproponowali Ermolin Ju A. i Alekseev M.I. [2], do metody których uzupełniające rozważania dotyczące uniknięcia ograniczeń w jej praktycznych zastosowaniach, zamieszczono w pracy [6].

Literatura

[1] Bajer J., Iwanejko R., Kapcia J., Niezawodność systemów wodociągowych i kanalizacyjnych w zadaniach, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2006.

[2] Ermolin Ju. A., Alekseev M. I.: Metod dekompozicii i ekvivalentirovanija kanlizacionnoj seti. Vodosnabženie i Sanitarnaja Technika No 11, s. 51-57, 2012.

[3] Iwanejko R., Analiza błędów metod wyznaczania miar niezawodności obiektów komunalnych na przykładzie systemu zaopatrzenia w wodę. Czasopismo Techniczne 3-Ś/2009, Zeszyt 11, str. 21-38, Kraków 2009.

[4] Iwanejko R., Accuracy of reliability measures of water supply and sewage facilities. Scietific Problems Of Machines Operation And Maintenance, 1 (157) 2009, ss. 29-36.

[5] Iwanejko R., Bajer J., Aplikacje dekompozycji wielokrotnej do dokładnego wyznaczania niezawodności systemów złożonych, Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury – Journal of Civil Engineering, Environment and Architecture, JCEEA, t. XXXIV, z. 64 (4/II/17), s. 345-358. DOI:10.7862/rb.2017.252

[6] Królikowska J., Kubala M., Analiza problemów praktycznego zastosowania metody dekompozycji i ekwiwalentowania, Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury – Journal of Civil Engineering, Environment and Architecture, JCEEA, 2015 z. 62, nr 3/I, s. 243-252, DOI: 10.7862/rb.2015.109.

[7] Kwietniewski M., Roman M., Kłoss-Trębaczkiewicz H., Niezawodność wodociągów i kanalizacji, Arkady, Warszawa 1993.

[8] Migdalski J. (red.), Poradnik niezawodności, Podstawy matematyczne. Wydawnictwo Przemysłu Maszynowego „WEMA", Warszawa 1982.

[9] Rak J. i inni, Niezawodność i bezpieczeństwo systemów zbiorowego zaopatrzenia w wodę. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2012

[10] Wieczysty A., Niezawodność systemów wodociągowych i kanalizacyjnych. Skrypt dla studentów wyższych szkół technicznych., Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 1990.

[11] Wieczysty A. (red.), Metody oceny i podnoszenia niezawodności działania komunalnych systemów zaopatrzenia w wodę, Monografie KIŚ PAN, Kraków 2001.

MULTI-STAGE DECOMPOSITION AS A METHOD OF ACCURATE DETERMINATION OF RELIABILITY OF COMPLEX SYSTEMS

Summary

Nowadays, design of all engineering systems should attempt to simultaneously meet technical, economic and reliability criteria. These criteria, especially the reliability ones, should also be met by already existing systems in operation. The principal criterion may refer to the system reliability K. The K measure is interpreted as the probability that at any time during a normal operation the system will be efficient and will perform its tasks in a satisfactory manner. Knowing the value of K often helps to make significant and strategic decisions whether the system needs to be modernized. The measure of reliability K can be determined using various methods. The simplest one is the accurate method of analytical formulas that can be used for systems with a mixed reliability structure. In the engineering practice, however, there may be cases when the system does not have such a structure and construction of a correct system reliability scheme is not possible; it means that the exact value of the system reliability K cannot be determined in the simplest, traditional way. The other methods, such as complete and partial review methods, are generally inefficacious. The first one is too labor-intensive and time-consuming if applied to larger systems. The second one, although approximate and keeping control on the calculations accuracy, also becomes a time and labor consuming if a satisfyingly small error has to be obtained. However, one can avoid this difficulty if the process (single or multiple) of system decomposition followed by the formula for complete probability are applied. Such a procedure will allow to obtain the exact value of the system reliability measure K at a relatively small workload. The article presents the methodology for determination of K using a multi-stage decomposition process.

Keywords: indicator of stationary readiness, single parameter methods, step decomposition, simultaneous decomposition, combined decomposition

Przesłano do redakcji: 20.12.2017 r.
Przyjęto do druku: 31.01.2018 r.