Механика Транспорт Комуникации

ISSN 1312-3823 (print)
ISSN 2367-6620 (online)
том 23, брой 3, 2025 г.
Научно списание **http://www.mtc-aj.com** **статия № 2704**

МОДЕЛИРАНЕ ЧРЕЗ ГРАФ НА НАДЕЖДНОСТНОТО ПОВЕДЕНИЕ НА КОМПЛЕКТУВАЩАТА СИСТЕМА „ЕЛЕКТРИЧЕСКИ ВЕРИГИ“ НА СЛОЖЕН ТЕХНИЧЕСКИ ОБЕКТ

Владимир Илиев Бояджиев
v.boyadjiev@abv.bg

Висше транспортно училище „Тодор Каблешков”,
ул. „Гео Милев” 158, София 1574,
БЪЛГАРИЯ

Резюме: *В настоящото изследване се разглежда моделирането на надеждностното поведение на сложни технически обекти чрез инструментариума на теорията на графите. По-конкретно е моделирана комплектуващата система „Електрически вериги“ с оглед вграждането на модела й в обобщения модел на разглеждания обект. Общоприета практика е да бъдат синтезирани частични надеждностни модели. Те се изграждат в зависимост от конкретно поставена задача, чието решение трябва да бъде намерено. Частичните надеждностни модели са предпочитани при надеждностното моделиране, тъй като имат редица предимства в процеса на създаването и използването им. Но те са с ограничена функционалност поради основния им недостатък – липсата на всеобхватност на процесите, влияещи върху експлоатационната надеждност и работната ефективност на техническите обекти. Именно тази всеобхватност се осигурява при създаването на цялостен надеждностен модел на обекта. Тя дава възможност за отчитане на взаимното влияние на отделните фактори, определящи надеждността на обектите. А това дава възможност за провеждане на високоефективни мероприятия за подобряване на надеждностните показатели. Но създаването на обобщен надеждностен модел на сложен технически обект е обективно трудна задача. Това обстоятелство произтича от значителната разнородност на физиката на процесите, формиращи надеждността. Поради това едновременното им обхващане в един модел обикновено се извършва на чисто математическо ниво – съвсем формално. Това става по пътя на надеждностно моделиране чрез набор от числени стойности на набори от надеждностни показатели. С изграждането на неформален обобщен надеждностен модел би се преодолял този недостатък.*

Ключови думи: *моделиране, надеждност, граф, електрически вериги*

1. ВЪВЕДЕНИЕ

При моделиране на надеждностното поведение на сложните технически обекти се прилагат различни стратегии. Това многообразие на прилагани подходи е следствие от значителните трудности, които изследователите срещат в този процес. На първо място е широкото разнообразие на физическите процеси, които обуславят възникващите откази и необходимостта да бъдат „подведени под общ знаменател“ в един модел. Обикновено това се извършва на формална основа по чисто математически път чрез обхващането на разнородните откази в един количествен параметър. При този формален математически подход се губят взаимовръзките между процесите, формиращи отказите. Други изследователи правят компромис чрез синтезирането на частични надеждностни модели на обектите в зависимост от конкретно поставените пред тях задачи. Но когато има възможност обикновено се върви по линията на формиране на модели на обособена част от обекта. В други случаи се моделира само конкретен обект [1, 2, 3]. Бурно развитие в последно време има използването на графите на знанието съвместно с моделите на големи езици (LLM) за изграждане на изкуствен интелект [4].

Тези типични различни инженерни компромиси имат общ недостатък – губи се взаимовръзката между процесите, които оказват влияние на експлоатационната надеждност на разглежданите обекти. Т.е. всеки експлоатационен отказ се разглежда сам за себе си, откъснат от останалите откази.

От тук произтича ценността на обобщените надеждностни модели – те обхващат протичащите процеси, които водят до откази, в най-голяма степен. Тук се появява необходимостта от неформален подход при моделирането – при него следва да се запази отчитането на физиката на отказите.

В настоящото изследване се разглеждат възможностите за прилагане на инструментариума на теорията на графите за синтезирането на обобщен модел на надеждностното поведение на сложен технически обект. Поради ограничения обем на доклада е разгледана само конкретна комплектуваща система на този обект – „Електрически вериги“. Но моделът й е построен така, че да може да бъде вграден в обобщения модел на сложния технически обект. Този обобщен модел е крайната цел.

2. МЕТОДИЧНИ ОСОБЕНОСТИ

В качеството на типичен сложен технически обект е изследвана стругова металорежеща машина с цифрово-програмно управление, тъй като в структурата й има разнородни от надеждностна гледна точка части – електронна, електрическа, хидравлична и механична. По-конкретно обект на изследването е комплектуващата система „Електрически вериги“ на три машини родно производство, малък типоразмер, един модел. Набраната статистическа информация обхваща около 1500 – 1600 работни часа общо за трите машини.

Надеждностния модел на разглежданата комплектуваща система ще представим под формата на граф $G_{ЕВ}(V_{ЕВ}, E_{ЕВ})$, където:

$V_{ЕВ}$ – множеството върхове на графа,

$E_{ЕВ}$ – множеството ребра на графа.

Множеството върхове на графа $V_{ЕВ}$ образуваме като за съставните му елементи определяме комплектуващите системи на машината, които имат отношение към експлоатационната надеждност на комплектуващата система „Електрически вериги“.

За елементи на множеството ребра на графа $E_{ЕВ}$ приемаме факторите и процесите, които имат отношение към надеждността на комплектуващата система.

В началото на процеса на формиране на графа $G_{ЕВ}(V_{ЕВ}, E_{ЕВ})$ издигаме хипотеза – кои да са конкретните му върхове и съответно – код да са съответните му ребра. Тази хипотеза издигаме въз основа на предположения, основани на експертна оценка.

Първоначалният вид на множеството $V_{ЕВ}$ се построява непосредствено, ползвайки списъка на комплектуващите системи, изграждащи обекта.

При съставянето на първоначалния вид на множеството $E_{ЕВ}$ се предлага следният подход. Факторите и процесите, влияещи на надеждността, се структурират в следните три подмножества:

- дължащи се на външни за сложния технически обект причини;
- дължащи се на взаимното влияние на разглежданата комплектуваща система и останалите комплектуващи системи. Това подмножество разделяме на две подмножества. Едното съдържа факторите и процесите, които произтичат от разглежданата комплектуваща система и влияят на надеждността на други комплектуващи системи. Елементите на другото подмножество са съставени от факторите и процесите, които произтичат от други комплектуващи системи и влияят на надеждността на разглежданата комплектуваща система;
- протичащи вътре в разглежданата комплектуваща система.

При конкретната комплектуваща система „Електрически вериги“ (ЕВ) издигнатата хипотеза за състава на двете множества $V_{ЕВ}$ и $E_{ЕВ}$ изглежда по следния начин:

А. Тъй като ЕВ контактува с всички останали комплектуващи системи на обекта, предполага се с висока степен на вероятност елементите на множеството $V_{ЕВ}$ да са повечето комплектуващи системи.

Б. Елементите на множеството $E_{ЕВ}$ разпределяме в три групи съгласно гореописаните му при подмножества:

- фактори и процеси, произтичащи от външни за сложния технически обект причини, включително човека:

= S – механични натоварвания;
= D – прах;
= CH – химически въздействия;
= M – влага;

- произтичащи от разглежданата комплектуваща система и влияещи на други такива:

= U – повишаване или пад на напрежението;
= S – механични натоварвания;

- влияещи от други комплектуващи системи върху разглежданата:

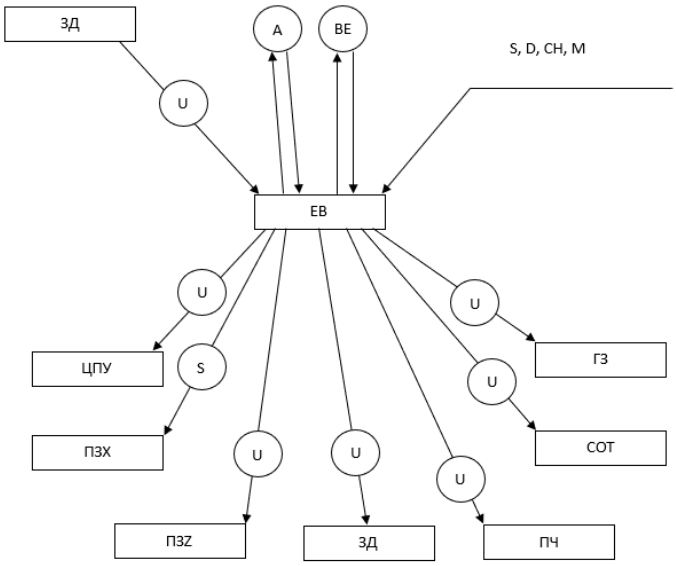
= U – повишаване или пад на напрежението;

- фактори и процеси, вътрешни за комплектуващата система:

= BE – влияние на нискокачествена елементна база;
= A – процеси на стареене.

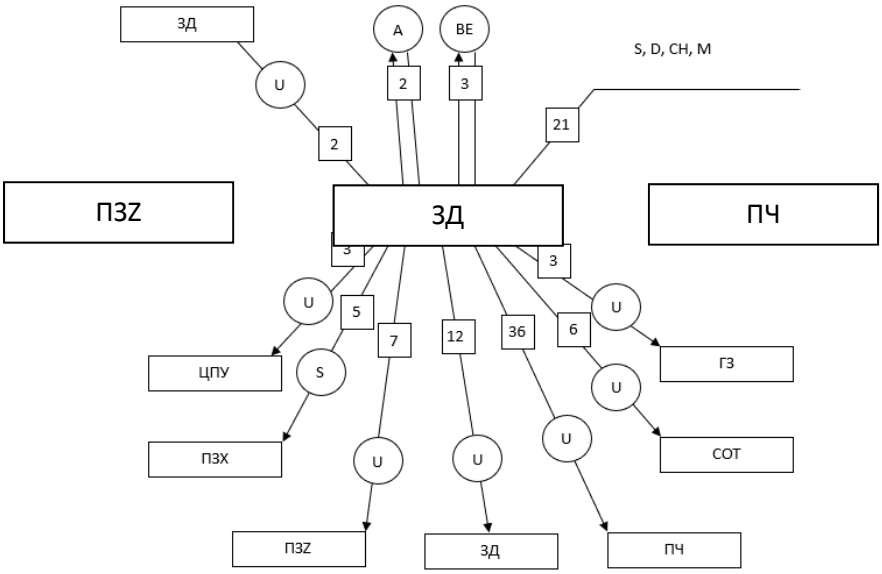
3. ПОСТРОЯВАНЕ НА ГРАФА $G_{EB}(V_{EB}, E_{EB})$

Така описаната хипотеза представяме във формата на графа $G_{EB}(V_{EB}, E_{EB})$ – фигура 1.



Фиг. 1. Първоначална хипотеза за структурата на графа $G_{EB}(V_{EB}, E_{EB})$

Следващата стъпка в процеса на построяване на графа $G_{EB}(V_{EB}, E_{EB})$ е отчитане резултатите, получени в процеса на набиране на статистическата информация за възникващите експлоатационни откази. Уточнява се наличието или отсъствието на всеки връх в структурата на графа. При това се отчита и степента на влияние на всеки фактор или процес. Това става чрез въвеждането на тегловни коефициенти. Те могат да бъдат представени в различна димeнсия. За нуждите на конкретния модел е избрана димeнсията „процент“. Т.е. определен е относителният дял на отказите, дължащи се на всеки регистриран фактор и процес спрямо общия брой откази, който се приема за 100 %. Числената стойност на всеки процент е показан за всяко ребро на графа – фигура 2.



Фиг. 2. Графът GEB (VEB, EEB) с означени тегловни коефициенти на всяко ребро в проценти

Така полученият граф, отнасящ се за разглежданата комплектуваща система „Електрически вериги“ дава възможност за вграждането му в обобщения надеждностен модел на цялата сложна техническа система. Този модел ще съдържа обобщения граф, в който ще бъдат включени аналогичните графи на получения граф в настоящото изследване, но отнасящи се за всяка от останалите комплектуващи системи, изграждащи структурата на сложния технически обект.

4. ИЗВОДИ

1) Посредством графа $G_{EB}(V_{EB}, E_{EB})$ е синтезиран модел на експлоатационната надеждност и работната ефективност на комплектуваща система от структурата на сложен технически обект. По-конкретно моделът се отнася за комплектуващата система „Електрически вериги“.

2) Полученият граф може да бъде вграден в обобщен надеждностен модел на целия сложен технически обект.

3) Настоящият модел на разглежданата комплектуваща система обхваща разнородната физика на отказите, възникващи в процеса на експлоатация. Това дава възможност за определяне на взаимовръзките между разнородните фактори и процеси, формиращи надеждностната картина на обекта.

4) Методиката за изграждане на настоящия модел е приложима за различни нива на сложен технически обект, които може да има различен състав и структура.

5) Предложената методика може да бъде приложена и при изграждането на частични надеждностни модели.

6) Въвеждането на тегловни коефициенти дава възможност за подреждане на факторите и процесите, влияещи на надеждността на обекта, по техния относителен дял. Т.е. могат да бъдат определени факторите и процесите, които имат най-голямо значение, респективно – коригиращите мероприятия да бъдат приоритетно насочени към тях.

ЛИТЕРАТУРА:

[1] P. Dhavakumar, S. Vengadeswaran; Software defect prediction using graph sample and aggregate-attention network optimized with nomadic people optimizer for enhancing the software reliability, Computer Standards & Interfaces; Volume 95, January 2026, 104033, ISSN: 0920-5489, 2025, Elsevier BV;
[2] Liyuan Kong, Chunjie Yang, Siwei Lou, Yaoyao Bao, Xiaoke

Huang, Li Chai; A graph-guided network with adaptive evaluation and improvement for disturbed sensors in fault-tolerant soft sensor modeling; Knowledge-Based Systems, Volume 318, 7 June 2025, 113497, ISSN: 0950-7051, 2024, Elsevier BV
[3] Xin Wang, Hang Wang, MinJun Peng; Interpretability study of a typical fault diagnosis model for nuclear power plant primary circuit based on a graph neural network, Reliability Engineering & System Safety, Volume 261, September 2025, 111151; ISSN: 0951-8320, 2025, Elsevier Ltd.
[4] Xinxin Liang, Zuoxu Wang, Jihong Liu; A survey of large language model-augmented knowledge graphs for advanced complex product design, Journal of Manufacturing Systems, Volume 80, June 2025, Pages 883-901; ISSN: 0278-6125, 2025, The Society of Manufacturing Engineers. Published by Elsevier Ltd.

MODELING THROUGH A GRAPH OF THE RELIABILITY BEHAVIOR OF THE COMPONENT SYSTEM "ELECTRICAL CIRCUITS" OF A COMPLEX TECHNICAL OBJECT

Vladimir Iliev Boyadjiev
v.boyadjiev@abv.bg,
ORCID: 0009-0001-5714-9418

Todor Kableshkov University of Transport,
Sofia, Geo Milev Str. 158,
BULGARIA

Abstract: *This study examines the modeling of the reliability behavior of complex technical objects using the tools of graph theory. More specifically, the component system "Electrical Circuits" is modeled with a view to embedding its model in the generalized model of the object under consideration. It is generally accepted practice to synthesize partial reliability models. They are built depending on a specific task, the solution of which must be found. Partial reliability models are preferred in reliability modeling, as they have a number of advantages in the process of their creation and use. However, they have limited functionality due to their main drawback - the lack of comprehensiveness of the processes affecting the operational reliability and operational efficiency of technical objects. It is this comprehensiveness that is ensured when creating a comprehensive reliability model of the object. It makes it possible to take into account the mutual influence of the individual factors determining the reliability of the objects. And this makes it possible to carry out highly effective measures to improve reliability indicators. However, creating a generalized reliability model of a complex technical object is an objectively difficult task. This circumstance arises from the significant heterogeneity of the physics of the processes forming reliability. Therefore, their simultaneous inclusion in one model is usually carried out at a purely mathematical level - quite formally. This is done by way of reliability modeling through a set of numerical values of sets of reliability indicators. By building an informal generalized reliability model, this drawback would be overcome.*

Key words: *modeling, reliability, graph, electrical circuits*