

---

## МОДЕЛИРАНЕ ЧРЕЗ ГРАФ НА НАДЕЖДНОСТНОТО ПОВЕДЕНИЕ НА ПОДАВАТЕЛЕН ПРЕВОД ПО ОС X НА СЛОЖЕН ТЕХНИЧЕСКИ ОБЕКТ

*Владимир Бояджиев*  
[vboyadjiev@vtu.bg](mailto:vboyadjiev@vtu.bg)

*Висше транспортно училище „Тодор Каблешков“,  
гр. София, ул. Гео Милев № 158  
РЕПУБЛИКА БЪЛГАРИЯ*

**Ключови думи:** моделиране, надеждност, подавателен превод, граф, сложен технически обект

**Резюме:** Създаването на цялостен надеждностен модел на сложен технически обект е обективно трудна задача. Основната трудност произтича от голямото разнообразие на физиката на отказите. Факторите и процесите, които влияят на експлоатационната надеждност и работната ефективност на един сложен технически обект, се отличават със значително разнообразие. Освен това тези разнородни фактори и процеси взаимно си влияят, което прави обхващането им в един модел в още по-голяма степен трудна задача.

В доклада се разглеждат възможностите за използване на теорията на графите за обхващане на разнообразните фактори и процеси, влияещи на надеждността на обектите. При сложните технически обекти това разнообразие е значително по-голямо поради по-сложната им структура и състав. При това се създават предпоставки за реализиране на предимствата на цялостния надеждностен модел – отчитане на комплексните взаимовръзки както между тези фактори и процеси, така и между отделните елементи от структурата на сложния технически обект.

Тъй като задачата за разработването на такъв цялостен надеждностен модел на сложен технически обект е с обем далече излизащ извън рамките на обема на доклад, в настоящата разработка е разгледан само един фрагмент от този модел – обхващащ конкретна комплектуваща система – подавателен превод по ос x. Това дава възможност след изграждането на аналогични модели на останалите комплектуващи системи, те да бъдат обединени в един цялостен модел.

### 1. Увод

При изследванията на експлоатационната надеждност и работната ефективност на сложни технически обекти един от най-съществените въпроси е какъв надеждностен модел ще бъде обект на изследването.

Ключов фактор при избора на модела е сравнително голямото разнообразие на физическите процеси, които му влияят. Например, в хидропневматичните системи протичащите процеси са много различни като физически механизми от процесите в електрическата му част. Наред с това физиката на отказите във всяка конкретна система се отличава с широка палитра факторите и процесите, влияещи на надеждността на вградените елементи, а от там – и на системата като цяло.

Това значително разнообразие затруднява обхващането на всички експлоатационни откази в един обобщен надеждностен модел на съответния сложен технически обект.

Поради това широко разпространена практика е при надеждностното моделиране да се прави компромис – в зависимост от поставените пред изследователите цели да се изгражда частичен модел. При него се изследва в ограничен обхват надеждността на сложния технически обект. По този начин, макар и с цената на приблизително решение, се решават поставените проблеми. Често срещан подход при моделирането на сложни технически системи е формалният математически подход [1]. В други случаи разработеният модел е предназначен за конкретен обект, например софтуерна мрежа [2]. Широко използвано е и формалното математическо моделиране за конкретни сложни технически обекти [3]. Компромисът с цел опростяване на моделирането може да бъде направен и по други направления, например формално моделиране само за началния експлоатационен цикъл на обекта [4].

Основен недостатък на този изследователски подход е загубата на взаимното влияние в надеждностно отношение на всички фактори и процеси, протичащи в елементите на сложния технически обект. От тук произтича и ценноста на възможността за изграждане на цялостен надеждностен модел на сложен технически обект.

В настоящия доклад ще бъдат изследвани възможностите на теорията на графите за синтезирането на именно такъв цялостен модел на експлоатационната надеждност и работната ефективност на сложен технически обект.

## **2. Основни методични моменти**

Конкретен обект на настоящото изследване е типичен сложен технически обект – стругова металорежеща машина с цифрово-програмно устройство.

Построяването на обобщен надеждностен модел на целия сложен технически обект е в обем, който далече превишава обема на един доклад. Поради това обект на изследването в рамките на настоящия доклад е само една негова конкретна комплектуваща система – подавателен превод по ос  $x$ . Моделирането ще бъде направено така, че да позволява вграждането му в последствие в обобщен надеждностен модел на целия сложен технически обект.

В изследването са обхванати три стругови металорежещи машини с цифрово-програмно устройство от един модел родно производство, малък типоразмер. Регистрирани са данните за експлоатационните откази в рамките на 1300 – 1400 часа работа на машините в реални експлоатационни условия. Т.е. набирането на статистическата информация е извършено по метода на наблюдаваната експлоатация.

Както беше споменато, за изграждането на надеждностния модел на разглежданата комплектуваща система ще бъдат изследвани възможностите на теорията на графите. Ще построим графа  $G_{ппх}$  – индексите „ппх” показват, че той ще се отнася за комплектуващата система „Подавателен превод по ос  $X$ ” (ППХ). За целта нека дефинираме графа  $G_{ппх}(V_{ппх}, E_{ппх})$  по следния начин:

$V_{ппх}$  – върхове на графа  $G_{ппх}$ ,

$E_{ппх}$  – ребра на графа  $G_{ппх}$ .

Определяме елементите на множеството върхове на графа  $V_{ппх}$  да бъдат комплектуващите системи, от които се състои разглеждания модел металорежеща машина. Множеството  $E_{ппх}$  формулираме като състоящо се от елементи, в качеството на които са факторите и процесите, които влияят на надеждното поведение на разглеждания сложен технически обект. За целта предварително се съставя предварителна номенклатура на тези фактори и процеси. В процеса на изследването тя може да бъде допълвана.

Целесъобразно е разглежданите фактори и процеси да бъдат структурирани в три групи:

а) въздействащи на експлоатационната надеждност на разглежданата комплектуваща система „Подавателен превод по ос  $x$ ”, които са обусловени от външни за целия сложен технически обект фактори;

б) въздействащи на експлоатационната надеждност на разглежданата комплектуваща система „Подавателен превод по ос  $x$ ”, които са обусловени от взаимното влияние на комплектуващите системи. Тези процеси разделяме на две групи:

- въздействащи на комплектуваща система „Подавателен превод по ос  $x$ ” от други комплектуващи системи;

- въздействащи от комплектуващата система „Подавателен превод по ос  $x$ ” на други комплектуващи системи;

в) въздействащи на експлоатационната надеждност на разглежданата комплектуваща система „Подавателен превод по ос  $x$ ”, които са обусловени от вътрешни за комплектуващата система фактори.

Съгласно така формулираната структура на множеството ребра на графа  $E_{ппх}$  и въз основа на натрупаната информация за експлоатационните откази отнасяме всеки от тях към съответен елемент на  $E_{ппх}$ .

### **3. Построяване на графа $G_{ппх}(V_{ппх}, E_{ппх})$**

Въз основа на така разпределената информация съставяме първоначалния вид на графа  $G_{ппх}(V_{ппх}, E_{ппх})$  – фигура 1.

На фигура 1 са приети следните означения:

ППХ подавателен превод по ос  $x$ ,

ЦПУ – цифрово-програмно управление,

ПЧ – припасваща част,

ПЗХ – подавателно задвижване по ос  $x$ ,

ИДМ – импулсно дозаторно мазане,

U – параметри на електрическия ток,

toC – температура,

S – механични натоварвания,

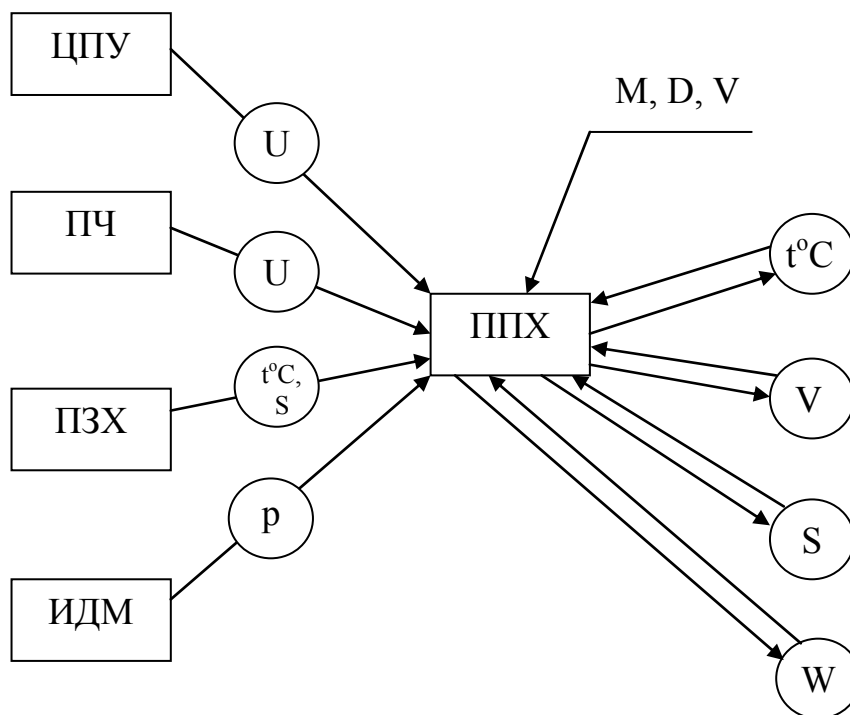
p – налягане,

M – влага,

D – прах,

V- вибрации,

W- износване.



**Фиг. 1.** Първоначален вид на графа  $G_{ППХ}(V_{ППХ}, E_{ППХ})$  с отразени фактори и процеси, влияещи на надеждността на обектите

Като следваща итерационна стъпка при синтезирането на графа  $G_{ППХ}(V_{ППХ}, E_{ППХ})$  ще отделим тегловните коефициенти за всеки фактор и процес, т.е. – за всяко ребро на графа. Тези тегловни коефициенти могат да бъдат определени в различни дименсии в зависимост от поставените цели. За нуждите на настоящото изследване е избрана дименсията „процент”, т.е. относителния дял на броя отказ, дължащи се на определен фактор спрямо общия брой откази. За целта въз основа на натрупаната статистическа информация всеки отказ е отнесен към съответния фактор или процес. Чрез броя откази за всеки фактор или процес, отнесени към общият брой откази е определен тегловният коефициент на всяко ребро на графа. Така определените тегловни коефициенти са показани на фигура 2.

#### 4. Изводи

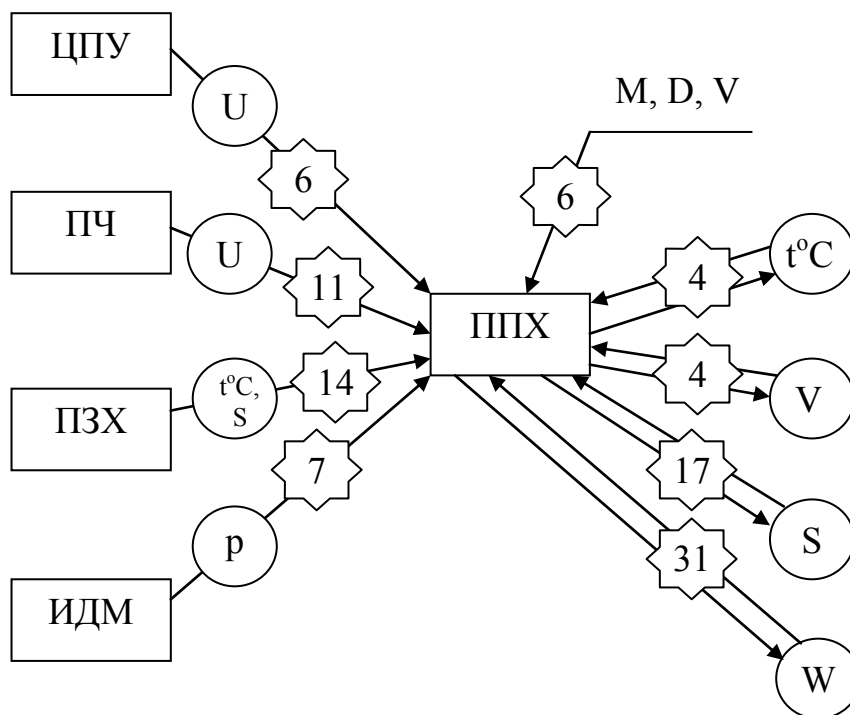
1) В един модел са обхванати всички регистрирани фактори и процеси, които въздействат на експлоатационната надеждност и работната ефективност на комплектуващата система „Подателен превод по ос x” на стругова металорежеща машина с цифрово-програмно управление.

2) Реализираният подход за надеждностно моделиране на сложен теплически обект дава възможност за разкриване на взаимовръзките между тези фактори и процеси.

3) Определянето на тегловните коефициенти позволява определяне на значимостта в количествено отношение на всеки от тези фактори и процеси.

4) Предложеното надеждностно моделиране чрез граф е приложимо и за други сложни теплически обекти.

5) Предложеният метод за моделиране дава възможност за прилагане на метода на суперпозицията при изследване на сложни технически обекти.



Фиг. 2. Графът  $G_{ППХ}(V_{ППХ}, E_{ППХ})$  с отразени тегловни коефициенти (в проценти) на факторите и процесите, влияещи на експлоатационната надеждност на комплектуващата система „Подателен превод по ос x”

#### ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Rongxi Wang, Yufan Li, Jinjin Xu, Zhen Wang, Jianmin Gao; F2G: A hybrid fault-function graphical model for reliability analysis of complex equipment with coupled faults, Reliability Engineering & System Safety, Volume 226, October 2022, 108662, ISSN: 0951-8320, Elsevier Ltd.
- [2] Chun Yong Chong, Sai Peck Lee; Analyzing maintainability and reliability of object-oriented software using weighted complex network, Journal of Systems and Software, Volume 110, December 2015, Pages 28-53, ISSN: 0164-1212, Elsevier Inc.
- [3] Sergey M. Kuznetsov; Reliability Assessment of Hydro Transport Systems' Operation, Transportation Research Procedia, Volume 61, 2022, Pages 691-698, ISSN: 2352-1465, Elsevier B.V.
- [4] Nikolaus Haselgruber, Shawn P. Capser, Giorgio I. Vignati; Early life reliability growth testing with non-constant failure intensity, Procedia Computer Science, Volume 180, 2021, Pages 608-617, ISSN: 1877-0509, Elsevier B.V.

# MODELING THROUGH A GRAPH OF THE RELIABILITY BEHAVIOR OF AN X-AXIS TRANSMISSION OF A COMPLEX TECHNICAL OBJECT

Vladimir Boyadzhiev  
[vboyadjiev@vtu.bg](mailto:vboyadjiev@vtu.bg)

*Todor Kableshkov University of Transport,  
158 Geo Milev str. Sofia,  
THE REPUBLIC OF BULGARIA*

***Key words:** modeling, reliability, submission translation, graph, complex technical object*

***Abstract:** Creating a comprehensive reliability model of a complex technical object is an objectively difficult task. The main difficulty arises from the wide variety of failure physics. The factors and processes that affect operational reliability and operational efficiency of a complex technical object are characterized by considerable diversity. Furthermore, these disparate factors and processes influence each other, making their inclusion in a single model even more difficult.*

*The paper examines the possibilities of using graph theory to capture the diverse factors and processes affecting the reliability of objects. In the case of complex technical objects, this diversity is significantly greater due to their more complex structure and composition. At the same time, prerequisites are created for realizing the advantages of the overall reliability model - taking into account the complex interrelationships both between these factors and processes, as well as between the individual elements of the structure of the complex technical object.*

*Since the task of developing such a complete reliability model of a complex technical object is of a volume far beyond the scope of the report, only one fragment of this model – covering a specific assembly system – x-axis translation is considered in the present work. This makes it possible, after the construction of similar models of the other component systems, to combine them into one complete model.*