



---

## **СТАТИСТИЧЕСКИ И НАДЕЖДНОСТЕН АНАЛИЗ НА ОТКАЗИ НА ОСИГУРИТЕЛНИ СЪОРЪЖЕНИЯ В ЖЕЛЕЗОПЪТНИЯ ТРАНСПОРТ**

**Емилия Димитрова, Васил Димитров**  
[edimitrova@vtu.bg](mailto:edimitrova@vtu.bg), [vdimitroff@vtu.bg](mailto:vdimitroff@vtu.bg)

*Висше транспортно училище „Тодор Каблешков”  
гр. София, ул. „Гео Милев” 158  
РЕПУБЛИКА БЪЛГАРИЯ*

**Ключови думи:** осигурителни системи, железопътен транспорт, надеждност

**Резюме:** Към елементите на осигурителните системи в железопътния транспорт се предявяват високи изисквания с цел осигуряване на безопасността на движението. Съвременните осигурителни системи изпълняват множество функции и са неразделна част от системите за дистанционен мониторинг и управление в железопътния транспорт. Броят на елементите и новите технологии в тях се увеличава – взаимодействат си синергично електронни, електрически, хидравлични, механични компоненти, софтуер и т.н. В процеса на работа между тях съществува постоянно взаимодействие, като евентуалният отказ дори в един не трябва да нарушава правилното функциониране на системата като цяло. Това определя особено значение на проблема за надеждност на системата, а увеличаването на сложността затруднява значително анализа на надеждността.

В доклада е разработен подход за анализ на откази на осигурителни съоръжения в железопътния транспорт, който включва статистически анализ на отказите в подсистемите и техните елементи и анализ на надеждността на отделните компоненти. Представени са конкретни данни и са определени показателите за надеждност.

### **ВЪВЕДЕНИЕ**

Надеждността (най-общо) е способността на обекта да запазва качеството си на съответствие (съществените си свойства) в течение на отработката (времето за работа) при зададени ограничения. Безопасността е съхранимост, отсъствие на недопустим риск. Рискът е мярка за възможните загуби от нежелани събития, чието настъпване е вероятно: представлява вероятната интензивност на поява на опасност, причиняваща вреда и степента на тежест (строгост) на тази вреда [1-5].

Осигуряването на безопасността на движението е основен приоритет в железопътния транспорт. В доклада е представен цялостен подход за статистически и надеждностен анализ на откази на елементи и съоръжения от осигурителните системи, показани са предимствата от определянето на комплексните показатели за безотказност и ремонтпригодност.

## ПОСТАНОВКА НА ПРОБЛЕМА

В теорията на надеждността състояние, за което всички параметри на обекта (основни и второстепенни) се намират в допустимите си граници, се нарича изправно. Състояние, за което всички основни параметри на обекта са в допустимите си граници, се нарича работоспособно. Състояние, за което поне един основен параметър на обекта не е в допустимите си граници, се нарича неработоспособно. Следователно, всяко изправно състояние е и работоспособно и всяко неработоспособно състояние е и неизправно. Обратните релации, обаче, не са верни [3, 6, 7]. Обектът може да бъде работоспособен без да е изправен и да бъде неизправен без да бъде неработоспособен.

Моментът на преминаването от работоспособно в неработоспособно състояние се нарича отказ. Обратното преминаване (ако е възможно) се нарича възстановяване. То става чрез ремонт и/или отстраняване на грешките, а при определени случаи може да се извършва и автоматично (самовъзстановяване). Обектите, за които това е възможно, се наричат възстановими.

Показателите на надеждност представляват количествената характеристика на едно или няколко свойства, характеризиращи надеждността на елементите и системите. Базовите показатели за надеждност на възстановими обекти са следните:

- Функция на готовност  $\Gamma(t)$  – Availability (вероятността системата да се намира в работоспособно състояние);

- Функция на престоя  $\Pi(t)$  – Unavailability:

$$(1) \quad \Pi(t) = 1 - \Gamma(t);$$

- Интензивност на отказите  $\lambda$ ;

- Средна отработка до отказ  $T_{cp}$ ;

- Интензивност на възстановяване  $\mu_v$ ;

$$(2) \quad \mu_v = \frac{1}{T_B},$$

- Средно време за възстановяване  $T_B$  (Mean Time To Repair – MTTR);

- Средно време между два последователни отказа Mean Time Between Failures:

$$(3) \quad MTBF = T_{cp} + T_B.$$

При стационарни процеси отказ – възстановяване и пренебрежимо малко време за възстановяване в сравнение с работата без отказ, като показател на безотказност се използва *интензивността на поток откази*  $\omega(t)$  [3,7]:

$$(4) \quad \omega = \frac{1}{T_{cp} + T_B} = \frac{1}{MTBF}.$$

Статистическата оценка на интензивността на поток откази  $\hat{\omega}(t)$  се определя с израза [3]:

$$(5) \quad \hat{\omega}(\Delta t) = \frac{\sum_{i=1}^N r_i(\Delta t)}{N(\Delta t) \cdot \sum_{i=1}^N \tau_i(\Delta t)},$$

където:

$N(\Delta t)$  - общ брой съоръжения от съответен тип, наблюдавани в интервала  $\Delta t$ ;

$r_i(\Delta t)$  - сумарен брой откази в интервала  $\Delta t$ ;

$\tau_i(\Delta t)$  - отработка на  $i$ -ти тип съоръжение за интервала  $\Delta t$ .

Като комплексни показатели за безотказност и ремонтпригодност се използват коефициентите на готовност  $k_r(t)$  и престои  $k_n(t)$ . Това са вероятностите за работоспособно и неработоспособно състояние на системата в определен момент от времето  $t$ :

$$(6) \quad k_r(t) + k_n(t) = 1.$$

На практика процесът отказ-възстановяване достига установен режим достатъчно бързо и затова най-често се използват стационарни коефициенти на готовност и престои:

$$(7) \quad k_r = \lim_{t \rightarrow \infty} k_r(t) = \frac{T_0}{T_{cp} + T_B} = 1 - \omega T_B ; \quad (8) \quad k_n = \lim_{t \rightarrow \infty} k_n(t) = \frac{T_B}{T_{cp} + T_B} = \omega T_B$$

## СТАТИСТИЧЕСКИ АНАЛИЗ НА ОТКАЗИ НА СЪОРЪЖЕНИЯ ОТ ОСИГУРИТЕЛНИ СИСТЕМИ В ЖЕЛЕЗОПЪТНИЯ ТРАНСПОРТ

За инсталирането, експлоатацията и техническото обслужване на съоръженията от осигурителните системи в железопътния транспорт отговаря Подделение „Сигнализация и телекомуникации“ (ССТ) към Национална компания "Железопътна инфраструктура" (НКЖИ). На всяко тримесечие се събират данни за отказите на [10, 11]:

- външните съоръжения – стрелкови обръщателни апарати (СОА), светофори, релсови токови вериги и броячни точки (РТВ и БТ);

- вътрешните съоръжения – маршрутно-компютърни централизации МКЦ, релейни централизации тип МРЦ, електромеханични централизации ЕМЦ, релейни уредби за ключови зависимости РУКЗ, пултове за управление на входни светофори/семафори (ПУ);

- междугаровите съоръжения – релейна полуавтоматична блокировка (ПАБ), автоблокировка с проходни сигнали (АБ с релсови вериги), автоблокировка без проходни сигнали (АБ с броячи на оси), автоматични прелезни устройства (АПУ), автоматична локомотивна сигнализация (АЛС), стрелки на открит път (СОП);

- телекомуникационни съоръжения (автоматични телефонни централи АТЦ, външни линии) и др.

Възникналите повреди (откази) се дължат на технически причини, кражби, посегателства, дейност на външни организации и природни бедствия. Информацията по години за цялата страна за периода 2017-2018 г. е обобщена в процентно съотношение в Табл. 1. Проведен е анализ и за отказите по отделните видове съоръжения.

Таблица 1. Откази на съоръжения от осигурителната техника

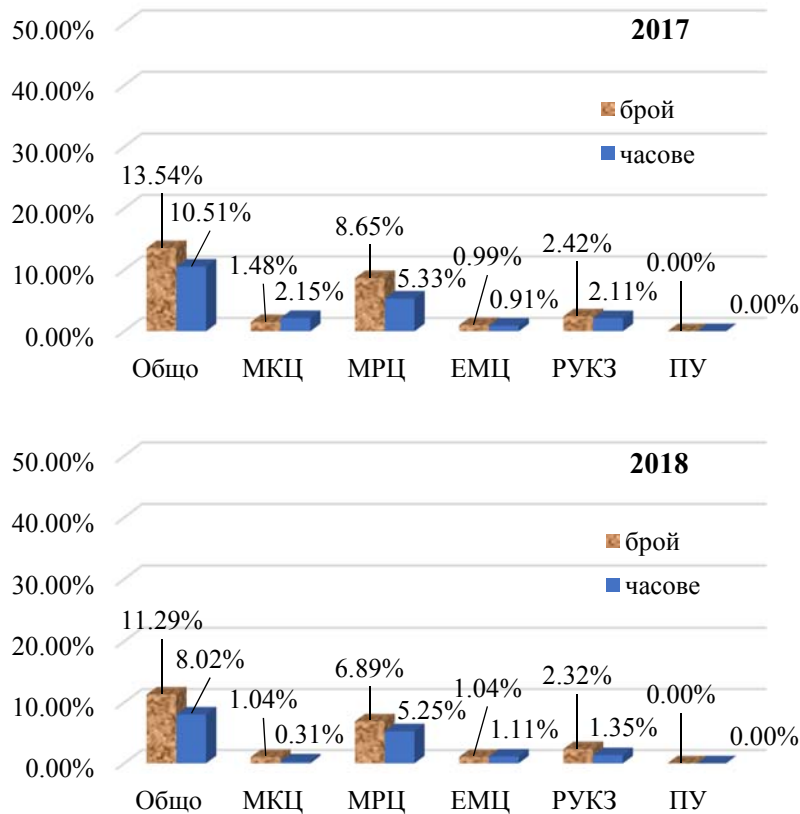
№	Откази на съоръжения	2017 г.		2018 г.	
		Брой	Часове	Брой	Часове
1	Вътрешни съоръжения	13,54 %	10,51 %	11,29 %	8,02 %
2	Външни съоръжения	56,21 %	54,66 %	46,68 %	44,93 %
3	Междугарови съоръжения	25,01 %	23,41 %	36,93 %	35,05 %
4	Телекомуникации	5,24 %	11,42 %	5,10 %	12 %

Ръст бележат отказите на междугаровите съоръжения (най-значителен е при АПУ, но се забелязва нарастване и на броя откази по автоблокировките и ПАБ). Това се дължи най-вероятно на разширяване на мрежата от жп линии, съоръжени с автоблокировка, както и на подмяната на съществуващите АПУ и инсталирането на нови, което неминуемо е съпроводено с голям брой откази до правилната настройка и регулиране при подмяна на част от елементите на междугаровите съоръжения.

Видно е значително намаляване на отказите на външните гарови съоръжения и на продължителността им. Най-значителен спад може да се отбележи при времето за възстановяване на РТВ и БТ (над 9%), но повредите по тях са съпроводени по принцип с по-голямо време за възстановяване – необходимо е откриване на местонахождението на аварията и изпращане на ремонтна бригада на място. Намаляват и отказите на СОА (над 5%). Има слаб ръст на отказите на светофори.

Отказите на вътрешните съоръжения и тяхната продължителност като цяло също намаляват. Те са съпроводени с по-малко време за възстановяване. Обобщената информация поотделно за отказите по видове съоръжения е представена на фиг. 1. Трябва да се отбележи ниският процент на откази в маршрутно-компютърните

централизации (МКЦ), както и тенденцията към намаляване. Такава тенденция се забелязва и при най-широко-разпространените МРЦ. Не се забелязват откази на пултовете за временно управление на светофори – постоянни (при гари без осигурителна инсталация) и временни (използвани по време на строителни дейности в ремонтирани гари) [8]. Ръстът на откази при ЕМЦ доказва необходимостта от постепенната подмяна на все още действащите електромеханични централизации с маршрутно-компютърни.



Фиг. 1. Откази на вътрешни гарови съоръжения от осигурителната техника

Отказите по телекомуникациите са със сравнително постоянен характер (Табл. 1). Видно е, че ремонтът по външните линии (телекомуникационни, както и релсови вериги и тези за осигуряване на ПАБ) изисква значително по-дълго време, свързано с откриване мястото на повредата и придвижване на ремонтната бригада.

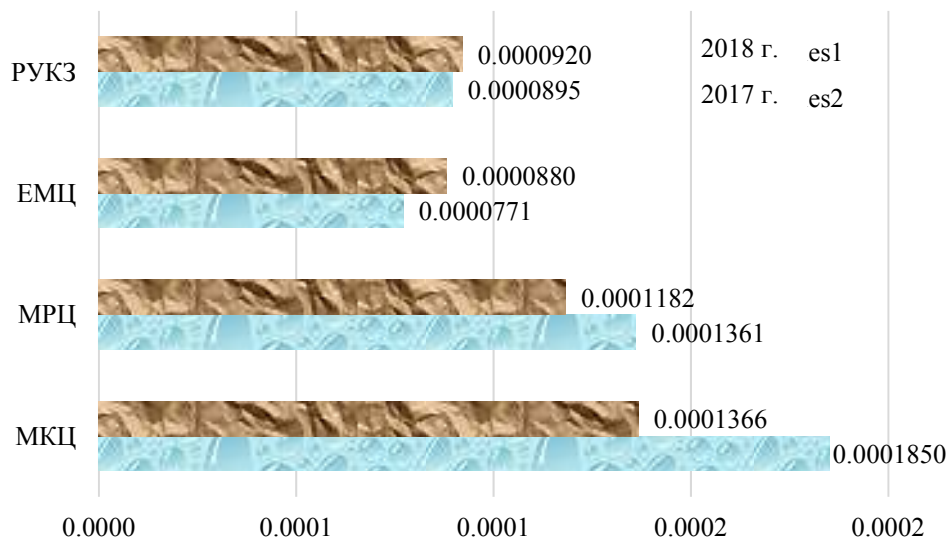
### АНАЛИЗ НА НАДЕЖДНОСТТА

Въз основа на статистическата обработка на информацията за отказите се извършва изчисление на показателите за надеждност на съоръженията. Осигурителните системи са възстановими и работят в стационарен режим на откази и последващо възстановяване на работното им състояние [9]. Използва се информацията за общия брой съоръжения от даден тип за цялата страна за изследвания период по данни от НКЖИ [10, 11].

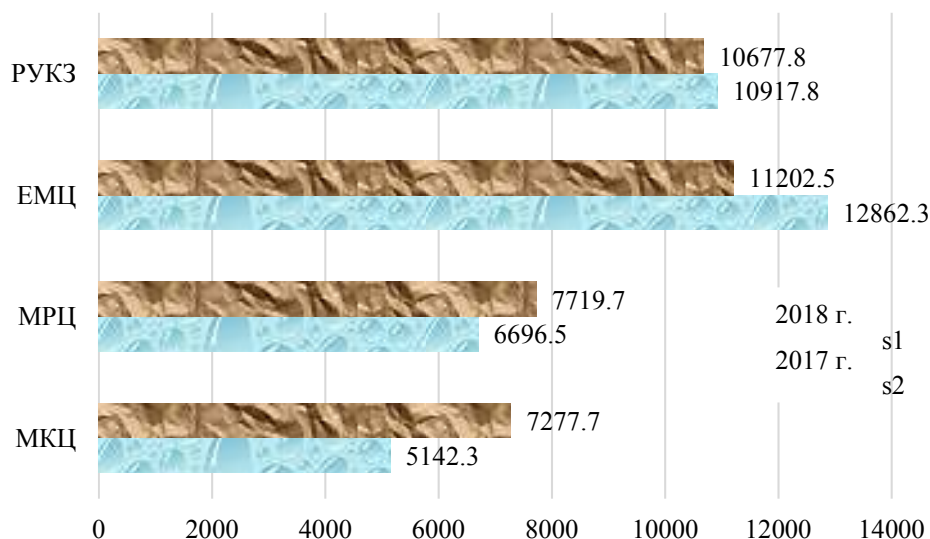
Определянето на показателите за надеждност се извършва в следната последователност:

1) Изчислява се статистическата оценка на интензивността на поток откази  $\hat{\omega}(t)$  за всяко съоръжение по израза (5). Получените стойности за вътрешните съоръжения са дадени в графичен вид на фиг. 2.

2) Изчислява се средното време за работа между отказите  $T_0$  Mean Time Between Failures (MTBF) за всяко съоръжение, като се използва изразът (4). Получените стойности са дадени в графичен вид на фиг. 3.



Фиг. 2. Статистическа оценка на интензивността на поток откази  $\hat{\omega}(t)$



Фиг. 3. Средно време за работа между отказите MTBF

3) Изчисляват се коефициентите на готовност и престой, като се използва изразите (7) и (8). Получените стойности са дадени в графичен вид на фиг. 4 и 5.

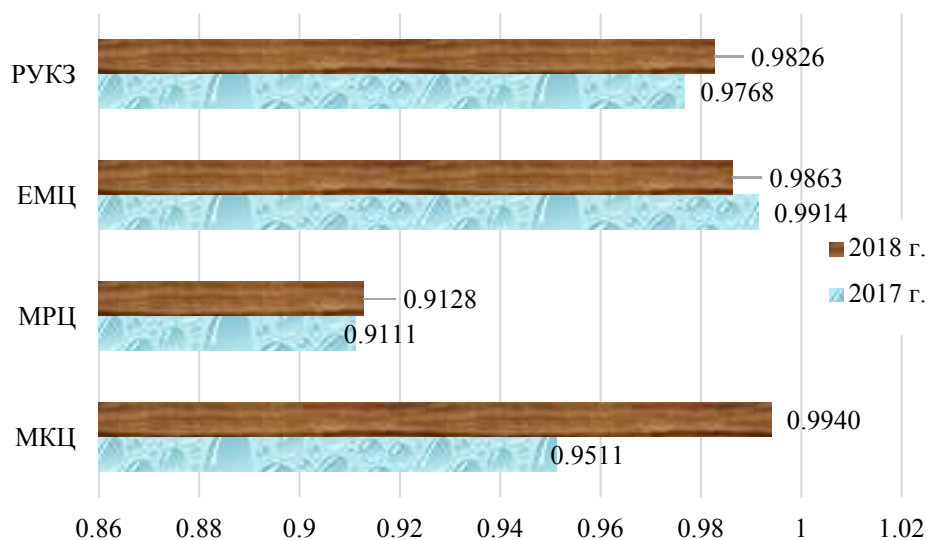
Може да се направи изводът, че след внедряването на маршрутно-компютърни централизации и преминаване на първоначалните изпитания и настройки, коефициентът на готовност се повишава, съответно коефициентът на престой значително намалява.

При електромеханичните централизации се наблюдава обратното – забелязва се тенденция към нарастване на коефициента на престой.

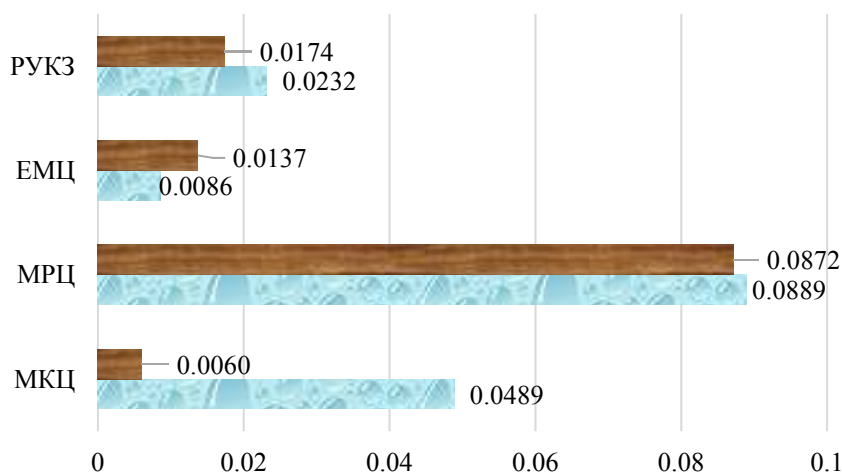
Сравнително нисък е коефициентът на готовност за РУКЗ и особено за маршрутно-релейните централизации. Това доказва още по-категорично необходимостта от постепенната подмяна на тези съоръжения. Въпреки ниските стойности на процентното съотношение на броя откази при МРЦ и на

продължителността им, коефициентът на престой има сравнително високи стойности.

Получените резултати категорично доказват необходимостта от надеждностен анализ и определяне на комплексните показатели за безотказност и ремонтпригодност. Статистическата оценка на информацията за откази и продължителността им не дава пълна представа за надеждността на съоръженията, тъй като не взема под внимание редица допълнителни фактори.



Фиг. 4. Коефициент на готовност  $k_r$



Фиг. 5. Коефициент на престой  $k_n$

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящия доклад извършен анализ на откази на съоръжения от осигурителни системи – статистически и надеждностен, за двугодишен период от време в железопътна инфраструктура, като са обхванати вътрешни гарови съоръжения (МКЦ, МРЦ, ЕМЦ, РУКЗ, ПУ), външни гарови съоръжения (СОА, светофори и РТВ и БТ), междугарови съоръжения (АБ, ПАБ, АПУ, АЛС, СОП), телекомуникации (АТЦ и външни линии).

Последователността при извършване на анализа може да се използва като методика за определяне на надеждността на различни системи по вид, структура и приложение.

Категорично е доказана необходимостта от провеждане на надеждностен анализ,

който дава много по-точна оценка за експлоатационната надеждност на съоръженията в сравнение със статистическата обработка на информацията.

#### ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Bouissou M., Rogovchenko-Buffoni L., Thiele, B., From design to dependability: a bridge between physical simulation and risk analysis, Lambda-mu 20, Saint Malo, 2016
- [2] Сапожников В., Вл. Сапожников, Д. Ефанов, Основы теории надежности и технической диагностики, Лань, 2019
- [3] Петров Н., Эксплоатационна надеждност на рискови технически системи, Университет “Проф. д-р Асен Златаров” – Бургас, 2002
- [4] Сапожников В., Вл. Сапожников, В. Шаманов, Надежность систем железнодорожной автоматики телемеханики и связи, Москва, 2003
- [5] Георгиев Н., В. Вельова, Същност, актуални проблеми и насоки за развитие на сигурността в транспорта, н. сп. „Механика, транспорт, комуникации“, т. 19, бр. 3, стр. П-1 – П-9, 2021
- [6] Христов, Х., Основи на осигурителната техника. Техника, София, 1990
- [7] Христов Х., В. Трифонов, Надеждност и сигурност на комуникациите. Нови знания, София, 2005
- [8] Неделчев Н., Х. Христов. Електрически централизации. Второ изд., С., ВТУ, 2008
- [9] Гиндев Е., Увод в теорията и практиката на надеждността, Част 2: Осигуряващи процедури в надеждността, Акад. Изд. „Проф. Марин Дринов“, София, 2002
- [10] Годишен консолидиран доклад за дейността, ДП „НКЖИ“, 2017
- [11] Референтен документ на железопътната мрежа 2018-2019, ДП „НКЖИ“, 2019

## STATISTICAL AND RELIABILITY ANALYSIS OF FAILURES OF SIGNALLING DEVICES IN RAILWAY TRANSPORT

Emiliya Dimitrova, Vasil Dimitrov  
[edimitrova@vtu.bg](mailto:edimitrova@vtu.bg), [vdimitroff@vtu.bg](mailto:vdimitroff@vtu.bg)

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

**Key words:** *signalling devices, railway transport, reliability*

**Abstract:** *High requirements are set on the elements of signalling systems in railway transport in order to ensure traffic safety. Contemporary signalling systems perform multiple functions and are an integral part of remote monitoring and control systems in railway transport. The number of elements and new technologies in them is increasing - electronic, electrical, hydraulic, mechanical components, software, etc. interact synergistically. In the process of work, there is a constant interaction between them, and a possible failure even in one should not disrupt the proper functioning of the system as a whole. This determines the particular importance of the system reliability problem, and the increase in complexity makes the reliability analysis significantly more difficult.*

*In this paper, an approach is developed to analyse the failures of signalling devices in railway transport, which includes statistical analysis of failures in subsystems and their elements and analysis of the reliability of individual components. Specific data are presented and the reliability indicators are determined.*