

ИЗСЛЕДВАНЕ НА НАДЕЖНОСТТА НА ГАРОВИ ЦЕНТРАЛИЗАЦИИ В ЖЕЛЕЗОПЪТНИЯ ТРАНСПОРТ

Емилия Димитрова¹, Васил Димитров¹

¹Висше транспортно училище „Тодор Каблешков”
гр. София, ул. „Гео Милев” 158

STUDY OF THE RELIABILITY OF RAILWAY INTERLOCKING SYSTEMS

Emiliya Dimitrova¹, Vasil Dimitrov¹

¹ Todor Kableshkov University of Transport - Sofia

Abstract

The high reliability of the interlocking systems in railway transport is absolutely necessary - traffic without accidents must be guaranteed. The research of failures of the equipment plays a key role in order to ensure reliability during operation and plan the maintenance and modernization of the interlocking systems. In this paper, an approach to failure analysis of devices is presented. It includes two types of research: statistical evaluation of failures in interlocking systems and reliability analysis of devices. Specific data are presented and the reliability indicators are determined.

Keywords: railway transport, interlocking stations, failures, statistical analysis, reliability indicators

ВЪВЕДЕНИЕ

Надеждността на гаровите централизации в железопътния транспорт е от много голямо значение, тъй като е свързана с осигуряването на безопасността на движението на влаковете и маневрените дейности [1 – 3]. Тези съоръжения изпълняват множество функции и има постоянно взаимодействие между тях и сигналите в процеса на работа. Евентуална повреда дори в едно устройство не трябва да нарушава правилното функциониране на системата като цяло. Това определя особено важността на проблема за надеждността на гаровите централизации, на компонентите и схемните решения на системите за железопътна сигнализация. Към тях се предявяват високи изисквания с оглед осигуряване на безопасността на движението [4 – 8].

В доклада е проведен анализ на откази на различни видове гарови централизации в експлоатация към Секция „Сигнализация и телекомуникации“ (ССТ) – Горна Оряховица за периода 2020-2022 г., като са използвани два подхода – статистически и надеждностен анализ, показани са предимствата при определяне на комплексните показатели за надеждност и ремонтпригодност. Резултатите могат да бъдат използвани при планиране на процедури за рехабилитация и модернизация не само на гарови централизации, но и на осигурителните системи като цяло.

ПОСТАНОВКА НА ПРОБЛЕМА

Осигуряването на безопасност и сигурност на движението е основен приоритет в железопътния транспорт. Гаровите централизации са един от най-

значимите компоненти на железопътната инфраструктура. Те се състоят от технически средства за дистанционно управление и контрол на стрелките, сигналите и пътните участъци в гарата и потребителски интерфейс за дежурния диспечер, създават необходимите за безопасността на движението принудителни зависимости между управляваните и контролираните обекти и осигуряват висока ефективност в работата на персонала по организация на движението [1 – 3]. Основно изискване е да се гарантира надеждно, безопасно и сигурно взаимодействие между стрелките и сигналите в контролираната зона: сигналът може да бъде установен само когато всички стрелки са заключени в правилната позиция и всички конфликтни маршрути са изключени. Съвременните централизации позволяват и дистанционно управление от главен диспечерски център.

Към настоящия момент в железопътната инфраструктура са в експлоатация различни видове гарови централизации (ГЦ), които могат да бъдат систематизирани в следните основни групи [9]:

- маршрутно-компютърни централизации МКЦ (в момента на изследването няма такива в района към ССТ – Горна Оряховица; през 2023 г. е въведена в експлоатация МКЦ на гара Синдел);
- маршрутно-релейни централизации МРЦ (54 бр. през изследвания период в района към ССТ – Горна Оряховица);
- електромеханични централизации ЕМЦ (15 бр.);
- релейни уредби за ключови зависимости РУКЗ (22 бр.);
- пултове за временно управление на светофори ПУВ (6 бр.).

У нас има три Секции „Сигнализация и телекомуникации” (София, Пловдив и Горна Оряховица) към Национална компания „Железопътна инфраструктура” (НКЖИ), които отговарят за инсталирането, експлоатацията и поддръжката на устройствата от гаровите централизации в железопътния транспорт. На всеки три месеца ССТ и НКЖИ събират данни за

повреди в съоръженията (техният брой, продължителност и причини за възникване – кражби, природни бедствия, дейности на външни организации и др.) [10 – 12].

В настоящето изследване са използвани данни от обобщените отчети на НКЖИ въз основа на документите от ССТ – Горна Оряховица и са обработени по следната методика.

СТАТИСТИЧЕСКИ АНАЛИЗ НА ОТКАЗИТЕ

Въз основа на броя откази, посочени в Годишните консолидирани доклади за дейността на НКЖИ [10 – 12] се изчислява процентното съотношение по видове ГЦ за период от три години с помощта на израза:

$$n_f = \frac{r(\Delta t)}{\sum_{i=1}^N r_i(\Delta t)} \cdot 100, \% \quad (1)$$

където:

n_f – дял на отказите на даден тип ГЦ (в процентно съотношение);

$r(\Delta t)$ – брой откази на конкретния тип ГЦ в интервала Δt ;

N – общ брой осигурителни съоръжения, наблюдавани в интервала Δt ;

$r_i(\Delta t)$ – брой откази на конкретен тип осигурителни съоръжения в интервала Δt .

Сумата в знаменателя представлява общия брой повреди на всички устройства от осигурителните системи за периода (вкл. външни, междугарови и телекомуникационни устройства – стрелкови обръщателни апарати, светофори, релсови токови вериги, броячи на оси, релейна полуавтоматична блокировка РПАБ, различни автоматични блокировки, автоматични прелезни устройства АПУ, автоматична локомотивна сигнализация АЛС, автоматични телефонни централи, външни комуникационни линии и др.).

По подобен начин е изчислено процентното съотношение на продължителността на отказите по типове устройства за същия период:

$$t_f = \frac{t(\Delta t)}{\sum_{i=1}^N t_i(\Delta t)} \cdot 100$$

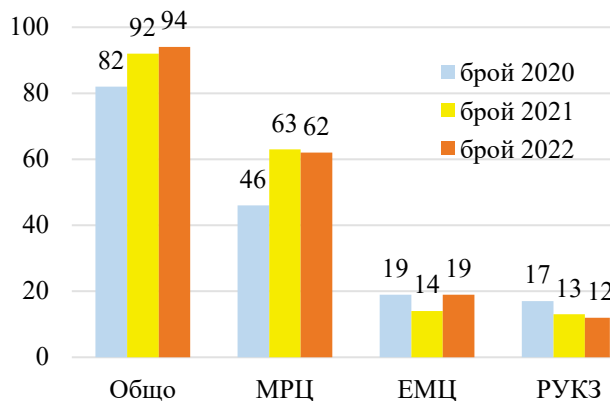
където:

t_f – процентна продължителност на отказите на даден тип ГЦ;

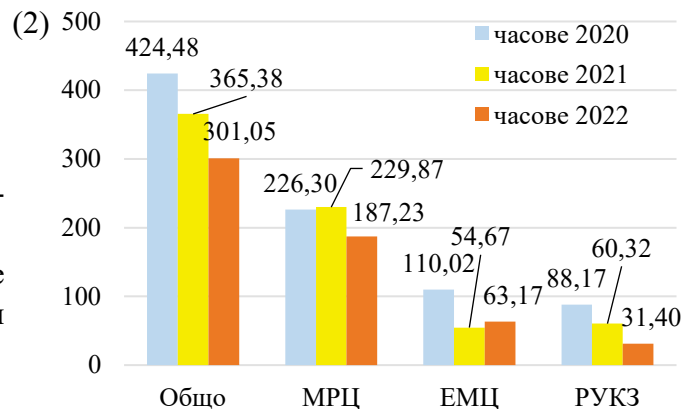
$t(\Delta t)$ – продължителност на отказите (време за възстановяване) от съответния тип ГЦ в интервала Δt (2020 – 2022 г.).

Сумата в знаменателя представлява общата продължителност на отказите на всички осигурителни съоръжения за периода (общо време за възстановяване).

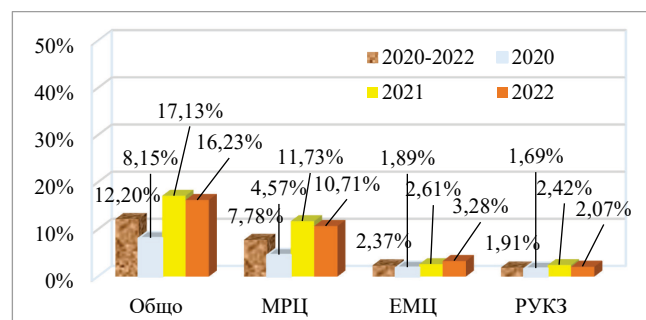
Данните за отказите на ГЦ са представени графично на фиг. 1, а за продължителността им – на фиг. 2. Получените резултати за всеки тип ГЦ по години, както и за тригодишния период, след изчисленията по (1) са обобщени на фиг. 3, а след изчисленията по (2) – на фиг. 4. Отказите на ГЦ имат относително нисък дял и сравнително кратко време за възстановяване в сравнение с останалите съоръжения от осигурителните системи. Най-честите откази са на външни и междугарови устройства (релсови токови вериги, РПАБ и автоматични блокировки, АПУ и др.), където



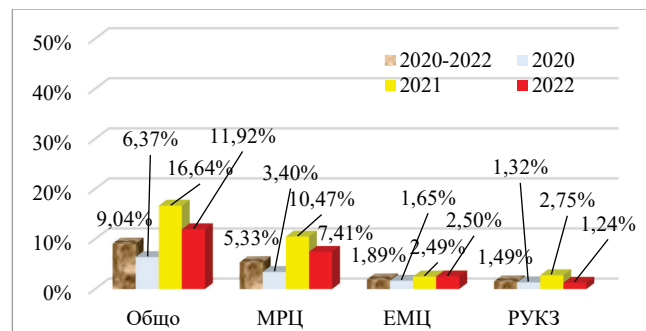
Фиг. 1. Брой на отказите на ГЦ, (ССТ-Горна Оряховица 2020-2022)



Фиг. 2. Продължителност на отказите на ГЦ, часове (ССТ-Горна Оряховица 2020-2022)



Фиг. 3. Съотношение на отказите на ГЦ за ССТ-Горна Оряховица 2020-2022



Фиг. 4. Съотношение на продължителността на отказите на ГЦ за ССТ-Горна Оряховица

голяма част от причините са климатични условия, състояние на изолиращите настилки, кражби и вандализъм. Времето за възстановяване на тези съоръжения също е по-голямо поради необходимостта от време за придвижване на техническия персонал до мястото на повреда.

Най-голям брой откази по отношение на ГЦ и съответно най-голяма продължи-

телност се наблюдават при МРЦ. Виден е ръст на делът откази при ЕМЦ (фиг. 3), което налага необходимостта от постепенната им подмяна с маршрутно-компютърни централизации.

АНАЛИЗ НА НАДЕЖДНОСТТА НА ГЦ

Показателите за надеждност се използват за описание на случайните променливи време за работа, време за живот и време за възстановяване [4 – 8]. Те обикновено се записват чрез математическото очакване на времето за безотказна работа (τ), средното време между отказите (mean time between failures $MTBF$) и интензивността на потока откази $\omega(t)$.

Времето за безотказна работа τ за даден интервал от време Δt (например една година или три години) може да се изчисли от информацията за продължителността на отказите на всеки тип устройства (в случая – за ГЦ в района към ССТ – Горна Оряховица). Може да се използва следният израз:

$$\tau_i(\Delta t) = \Delta t - MTTR_i, h \quad (3)$$

където:

$\tau_i(\Delta t)$ – време за безотказна работа на i -тия тип ГЦ за наблюдавания интервал Δt (i е МРЦ, ЕМЦ, РУКЗ или ПУ);

$\Delta t = 365 \cdot 24 = 8760$ h (1 година) или $3 \cdot 365 \cdot 24 = 26280$ h (3 години);

$MTTR_i$ – средно време за ремонт на i -тия тип ГЦ за интервала Δt (равен на продължителността на отказите).

Статистическата оценка на интензивността на потока откази $\omega(t)$ за даден период Δt е $\hat{\omega}(\Delta t)$ и може да се изчисли, като се използват данни за броя на отказите, тяхната продължителност и общия брой устройства от съответния тип:

$$\hat{\omega}_i(\Delta t) = \frac{\sum_{j=1}^{N_{ГЦ}} r_{ij}(\Delta t)}{N_{ГЦ}(\Delta t) \cdot \sum_{j=1}^{N_{ГЦ}} \tau_{ij}(\Delta t)}, 1/h \quad (4)$$

където:

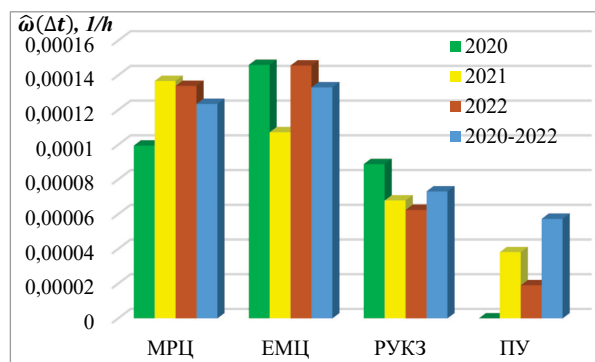
$N_{ГЦ}(\Delta t)$ – общ брой на ГЦ от съответния тип, наблюдаван в интервала Δt (той не е променен през изследвания тригодишен период [9]);

$r_i(\Delta t)$ – общ брой откази на ГЦ от i -тия тип в интервала Δt .

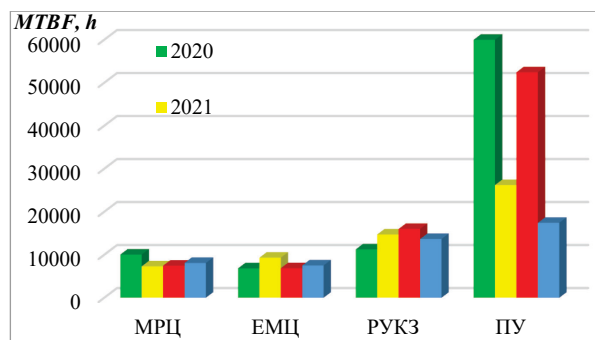
Средното време между отказите $MTBF$ може да се изчисли като реципрочната стойност на $\hat{\omega}(t)$:

$$MTBF_i = \tau + MTTR_i = \frac{1}{\hat{\omega}(\Delta t)}, h \quad (5)$$

Получените резултати са показани графично на фиг. 5 и 6 за всеки тип ГЦ по години, както и за тригодишен период.



Фиг. 5. Статистическа оценка на интензивността на потока откази



Фиг. 6. Средно време между отказите

Очевидно е, че стойностите на $MTBF$ на МРЦ и ЕМЦ са от еднакъв порядък, въпреки значително по-големия дял на отказите и продължителността им за МРЦ спрямо ЕМЦ. Тези резултати ясно доказват необходимостта от анализ на надеждността и определяне на нейните показатели.

Най-точната оценка на надеждността на дадено оборудване са комплексните показатели, като най-често се използват стационарните коефициенти на готовност и престой. Те характеризират както отказоустойчивостта, така и ремонтно-пригодността на съоръженията. Тези коефициенти за всеки тип ГЦ могат да бъдат изчислени чрез изразите:

$$A_i = 1 - \widehat{\omega}_i(\Delta t) \cdot MTTR_i \quad (6)$$

$$U_i = \widehat{\omega}_i(\Delta t) \cdot MTTR_i \quad (7)$$

където:

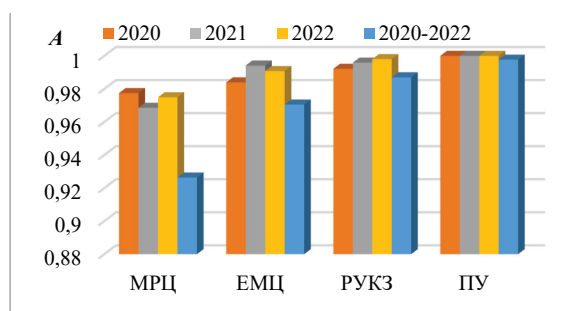
A_i – стационарен коефициент на готовност (Availability) на съответната ГЦ;

U_i – стационарен коефициент на престой (Unavailability).

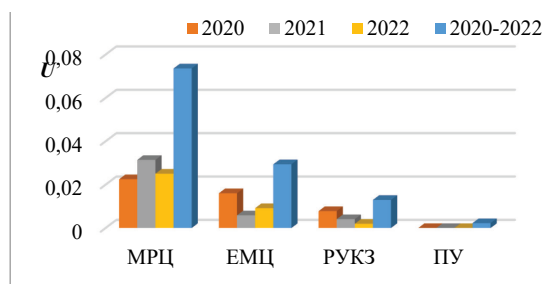
Сумата от стационарните коефициенти на готовност и престой на съответната ГЦ във всеки един момент е равна на 1:

$$A_i + U_i = 1 \quad (8)$$

Получените резултати за всеки тип ГЦ по години и за тригодишния период са представени графично на фиг. 7 и 8. Ясно се вижда, че коефициентът на готовност на ЕМЦ достига по-високи стойности от този на МРЦ.



Фиг. 7. Коефициент на готовност



Фиг. 8. Коефициент на престой

Коефициентът на престой на е най-висок за МРЦ, които са най-разпространени и относително стари. Поради това някои от тях трябва постепенно да бъдат заменени с маршрутно-компютърни. Продължителността на отказите на тези ГЦ е най-висок сред всички изследвани съоръжения. Времето за възстановяване може да бъде намалено, ако МРЦ са включени в система за дистанционно наблюдение и контрол.

Трябва да се отбележи, че не трябва да се изчисляват средните стойности на коефициентите за няколко години, а трябва да се определят за целия период на изследване. Ако се изчислят средните стойности на коефициентите на готовност, те ще бъдат по-високи за всички ГЦ в сравнение със стойностите за тригодишен период, което може да доведе до грешни решения относно поддръжката, техническото обслужване и модернизацията на съоръженията.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

ГЦ в железопътния транспорт трябва да се характеризират с висока степен на надеждност – отказите не трябва да водят до инциденти. В доклада е предложен подход за оценка на надеждността и е показана методика за изчисляване на показателите.

Статистическата обработка на данните за отказите и тяхната продължителност не дава ясна представа за състоянието на изследваните съоръжения и системи. Необходимо е да се изчислят комплексните показатели за надеждност – коефициентите на готовност и престой. Въз основа на получените стойности трябва да се планира техническа поддръжка и да се вземат решения за надграждане на конкретни устройства или модернизация на системата.

REFERENCE

- [1] Nedelchev N., Hristov. Electrical interlocking stations. Second edition, S., VTU, 2008 // Неделчев Н., Х. Христов.

- Електрически централизации, Второ издание, С., ВТУ, 2008
- [2] Pachl J., Railway Signalling Principles, Braunschweig, 2020
- [3] Theeg Г., C. Vlasenko, Railway Signalling and Interlocking, 3rd Ed., PMC Media House GmbH, 2020
- [4] Sapozhnikov V., Vl. Sapozhnikov, and V. Shamanov, Reliability of railway automation, telemechanics and communication systems, Moscow, 2003
- [5] Balagurusamy E., Reliability engineering – part 1: Basic concept of reliability, McGraw-Hill Education, India, 2010
- [6] Sapozhnikov V., Vl. Sapozhnikov, and D. Efanov, Fundamentals of Reliability Theory and Technical Diagnostics, Lan, 2019
- [7] Kumar V., Singh L., Tripathi A.K., Reliability analysis of safety-critical and control systems: a state-of-the-art review. IET Softw., 12/1: pp. 1-18. <https://doi.org/10.1049/iet-sen.2017.0053>, 2018
- [8] Jiaqi L., Yunwen F., Cheng Lu, Chengwei F., Operational reliability assessment of complex mechanical systems with multiple failure modes: An adaptive decomposition-synchronous-coordination approach, Reliability Engineering & System Safety, Vol. 253, 110494, ISSN 0951-8320, <https://doi.org/10.1016/j.res.2024.110494>
- [9] Референтен документ на железопътната мрежа 2021-2022, НКЖИ, 2021
- [10] Годишен консолидиран доклад за дейността, НКЖИ, 2020
- [11] Годишен консолидиран доклад за дейността, НКЖИ, 2021.
- [12] Годишен консолидиран доклад за дейността, НКЖИ, 2022.