

**Дніпропетровський національний університет залізничного
транспорту імені академіка В. Лазаряна**

**ЕЛЕКТРОМАГНІТНА СУМІСНІСТЬ ТА
БЕЗПЕКА НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ**

Науковий журнал

№ 13, 2017

Виходить 2 рази на рік
Заснований у лютому 2011 р.

Дніпро
2017

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

ЕЛЕКТРОМАГНІТНА СУМІСНІСТЬ ТА
БЕЗПЕКА НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ

Засновник:
ДНІПРОПЕТРОВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ ІМЕНІ АКАДЕМІКА В. ЛАЗАРЯНА

ГОЛОВА РЕДАКЦІЙНОЇ РАДИ УНІВЕРСИТЕТУ
ГОЛОВНИЙ РЕДАКТОР ЖУРНАЛУ

Пшінько О. М., доктор технічних наук, проф.
Гаврилюк В. І., доктор фізико-математичних наук,
проф.
Сердюк Т. М., кандидат технічних наук, доц.
Рибалка Р. В., кандидат технічних наук, доц.

ЗАСТУПНИК ГОЛОВНОГО РЕДАКТОРА
ВІДПОВІДАЛЬНИЙ СЕКРЕТАР

ЧЛЕНИ РЕДАКЦІЙНОЇ КОЛЕГІЇ (УКРАЇНА):

Бабаєв М. М. – д.т.н., проф., Українська державна академія залізничного транспорту (УкрДАЗТ);
Бойнік А. Б. – д.т.н., проф., УкрДАЗТ; Гетьман Г. К. – д.т.н., проф., Дніпропетровський національний
університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна (ДНУЗТ); Дубинець Л. В. – д.т.н., проф.,
ДНУЗТ; Жуковийський І. В. – д.т.н., проф., ДНУЗТ; Заблудовський В. О. – д.т.н., проф., ДНУЗТ;
Костін М. О. – д.т.н., проф., ДНУЗТ; Сасенко Ю. Л. – д.т.н., проф., Приазовський державний технічний
університет; Стасюк О. І. – д.т.н., проф., Державний економіко-технологічний університет транспорту;
Сиченко В. Г. – д.т.н., проф., ДНУЗТ; Чепцов М. М. – д.т.н., проф., Донецький інститут залізничного
транспорту Української державної академії залізничного транспорту; Профатилів В. І. – к.т.н., доц., ДНУЗТ.

ІНОЗЕМНІ ЧЛЕНИ РЕДАКЦІЙНОЇ КОЛЕГІЇ:

Бадьор М. П. – д.т.н., проф., Московський державний університет шляхів сполучення, Російська Федерація;
Бочков К. А. – д.т.н., проф., Білоруський державний університет транспорту, Республіка Білорусь;
Бялонь А. – к.т.н., Науково-технічний центр залізничного транспорту, Республіка Польща; Загарій Г. І. –
д.т.н., проф., Федеративна Республіка Німеччина; Микульський Є. – д.т.н., проф., Силезький технологічний
університет, Республіка Польща.

Журнал зареєстровано Державною реєстраційною службою Міністерства юстиції України.
Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації
серія КВ № 17326–6096Р від 14.10.2010 р.
Внесено до Переліку наукових фахових видань України (затверджено наказом
Міністерства освіти і науки України № 241 від 09.03.2016 р.).
Наукометричні показники: Index Copernicus (Poland) – ICSV 2016: 63.15.

Друкується за рішенням вченої ради університету від 24.04.2017 р., протокол № 9

Видавець Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені
академіка В. Лазаряна (м. Дніпро).
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 1315 від 31.03.2003 р.

Адреса засновника вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010
та редакції тел.: +38 (056) 371-51-05; e-mail: serducheck-t@rambler.ru
сайт журналу: <http://ecsrt.diit.edu.ua/>

Видання публікується з 2011 р.

**Днепропетровский национальный университет
железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна**

**ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ И
БЕЗОПАСНОСТЬ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ
ТРАНСПОРТЕ**

Научный журнал

№ 13, 2017

Выходит 2 раза в год
Основан в феврале 2011 г.

Днепр
2017

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ И БЕЗОПАСНОСТЬ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

Учредитель:

ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА ИМЕНИ АКАДЕМИКА В. ЛАЗАРЯНА

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ РЕДАКЦИОННОГО СОВЕТА Пшинько А. Н., доктор технических наук, проф.
УНИВЕРСИТЕТА

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР ЖУРНАЛА

Гаврилюк В. И., доктор физико-математических наук, проф.

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

Сердюк Т. Н., кандидат технических наук, доц.

ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ

Рыбалка Р. В., кандидат технических наук, доц.

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ (УКРАИНА):

Бабаев М. М. – д.т.н., проф., Украинская государственная академия железнодорожного транспорта (УкрГАЗТ); Бойник А. Б. – д.т.н., проф., УкрГАЗТ; Гетьман Г. К. – д.т.н., проф., Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна (ДНУЖТ); Дубинец Л. В. – д.т.н., проф., ДНУЖТ; Жуковичский І. В. – д.т.н., проф., ДНУЖТ; Заблудовский В. А. – д.т.н., проф., ДНУЖТ; Костин Н. А. – д.т.н., проф., ДНУЖТ; Саенко Ю. Л. – д.т.н., проф., Приазовский государственный технический университет; Стасюк А. И. – д.т.н., проф., Государственный экономико-технологический университет транспорта; Сыченко В. Г. – д.т.н., проф., ДНУЖТ; Чепцов М. Н. – д.т.н., проф., Донецкий институт железнодорожного транспорта Украинской государственной академии железнодорожного транспорта; Профатилов В. И. – к.т.н., доц., ДНУЖТ.

ИНОСТРАННЫЕ ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:

Бадёр М. П. – д.т.н., проф., Московский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация; Бочков К. А. – д.т.н., проф., Белорусский государственный университет транспорта, Республика Беларусь; Бялонь А. – к.т.н., Научно-технический центр железнодорожного транспорта, Республика Польша; Загарий Г. И. – д.т.н., проф., Федеративная Республика Германия; Микульский Е. – д.т.н., проф., Силезский технологический университет, Республика Польша.

Журнал зарегистрирован Государственной регистрационной службой Министерства юстиции Украины. Свидетельство о государственной регистрации печатного средства массовой информации серия КВ № 17326–6096Р от 14.10.2010 г.
Внесен в Перечень научных специализированных изданий Украины (утверждено приказом Министерства образования и науки Украины № 241 от 09.03.2016 г.).
Наукометрические показатели: Index Copernicus (Poland) – ICV 2016: 63.15.

Печатается по решению ученого совета университета от 24.04.2017 г., протокол № 9

Издатель Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна (г. Днепр).
Свидетельство субъекта издательского дела ДК № 1315 от 31.03.2003 г.

Адрес учредителя и редакции ул. Лазаряна, 2, Днепр, Украина, 49010
тел.: +38 (056) 371-51-05; e-mail: serducheck-t@rambler.ru
сайт журнала: <http://ecsrt.diit.edu.ua/>

Издание публикуется с 2011 г.

**Dnipropetrovsk National University of Railway Transport
named after Academician V. Lazaryan**

**ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY AND
SAFETY ON RAILWAY TRANSPORT**

Scientific journal

No. 13, 2017

Published two times a year
Founded in February 2011

Dnipro
2017

SCIENTIFIC JOURNAL

ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY AND
SAFETY ON RAILWAY TRANSPORT

Founder:

DNIPROPETROVSK NATIONAL UNIVERSITY OF RAILWAY TRANSPORT
NAMED AFTER ACADEMICIAN V. LAZARYAN

CHAIRPERSON OF THE EDITORIAL BOARD OF THE UNIVERSITY
EDITOR-IN-CHIEF

Pshinko O. M., Doctor of Technical Sciences, prof.

DEPUTY CHIEF EDITOR

Havryliuk V. I., Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Prof.

EXECUTIVE SECRETARY

Serdiuk T. M., Candidate of Technical Sciences, Associate Prof.

Rybalka R. V., Candidate of Technical Sciences, Associate Prof.

EDITORIAL BOARD MEMBERS (UKRAINE):

Babaiev M. M. – Doctor of Technical Sciences, Prof., Ukrainian State Academy of Railway Transport (UkrSART);
Boynyk A. B. – Doctor of Technical Sciences, Prof., UkrSART; Getman H. K. – Doctor of Technical Sciences, Prof., Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan (DNURT);
Dubinets L. V. – Doctor of Technical Sciences, Prof., DNURT; Zhukovytsky I. V. – Doctor of Technical Sciences, Prof., DNURT; Zabludovskyi V. O. – Doctor of Technical Sciences, Prof., DNURT; Kostin M. O. – Doctor of Technical Sciences, Prof., DNURT; Sayenko Yu. L. – Doctor of Technical Sciences, Prof., Pryazovskyi State Technical University; Stasiuk O. I. – Doctor of Technical Sciences, Prof., State Economic and Technological University of Transport; Sichenko V. H. – Doctor of Technical Sciences, Prof., DNURT; Cheptsov M. M. – Doctor of Technical Sciences, Prof., Donetsk Railway Transport Institute of Ukrainian State Academy of Railway Transport; Profatilov V. I. – Candidate of Technical Sciences, Associate Prof., DNURT.

FOREIGN MEMBERS OF EDITORIAL BOARD:

Badyor M. P. – Doctor of Technical Sciences, Prof., Moscow State University of Railway Engineering, Russian Federation; Bochkov K. A. – Doctor of Technical Sciences, Prof., Belorussian State University of Transport, Republic of Belarus; Byalon A. – Candidate of Technical Science, Science and Technology Centre of Railway Transport, Republic of Poland; Zagarii H. I. – Doctor of Technical Sciences, Prof., Federal Republic of Germany; Mikulski J. – Doctor of Technical Sciences, Prof., Silesian University of Technology, Republic of Poland.

Journal was registered by the State Registration Service of the Ministry of Justice of Ukraine.
Certificate of the State Registration of Print Media Series KV No. 17326–6096P from 14.10.2010

It was included in the list of scientific professional publications of Ukraine (by the Order of the Ministry of Education and Science of Ukraine No 241 09.03.2016).

Scientometric indicators: Index Copernicus (Poland) – ICV 2016: 63.15.

Published according to the decision of Academic Council of the University from 24.04.2017, Protocol No. 9

Publisher Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan (Dnipro)
Certificate of Publisher DK No. 1315 from 31.03.2003

Address of Founder and Editorial Office St. Lazaryana, 2, Dnipro, Ukraine, 49010
tel.: +38 (056) 371-51-05, e-mail: serducheck-t@rambler.ru
journal site: <http://ecsrt.diit.edu.ua/>

Edition is being published since 2011

ЗМІСТ**ЕЛЕКТРОМАГНІТНА СУМІСНІСТЬ НА
ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ**

<i>В. І. Гаврилюк</i>	
Огляд кривих гальмування європейської системи управління поїздом ETCS.....	11
<i>В. І. Гаврилюк</i>	
Моделювання розподілу гармонік зворотного тягового струму в рейках.....	20
<i>О. І. Бондар</i>	
Математичне моделювання перехідних процесів в установці розмагнічування феромагнітних деталей циліндричної форми	28
<i>І. В. Жежелев, В. Е. Саравас</i>	
Визначення індексу надійності систем електропостачання	31
<i>К. І. Ящук, Д. С. Курило</i>	
Дослідження роботи рейкового кола в умовах насичення колійних дросель- трансформаторів	35

БЕЗПЕКА НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ

<i>В. І. Гаврилюк</i>	
Метод виявлення дефектів рухомої арматури сигнального реле	42
<i>В. І. Гаврилюк</i>	
Порівняльний аналіз методів розрахунку імпедансу рейок типу R65 колії 1520 мм в тональному діапазоні частот	49
<i>В. В. Лагута, Т. М. Сердюк, А. А. Пархоменко</i>	
Аналіз відмов елементів залізничної автоматики	57
<i>А. Б. Бойнік, О. Ю. Каменєв, С. О. Змій, О. В. Щєбликіна, В. В. Гаєвський</i>	
Дефектування технічного, технологічного та організаційного забезпечення контрольного пункту АЛСН моторвагонного депо	66
<i>В. В. Мелешко</i>	
Технічний контроль систем числового кодового автоблокування.....	81
<i>В. Ю. Шапошник</i>	
Нові стратегії технічного обслуговування і ремонту вантажних вагонів.....	88
<i>В. Д. Петренко, Є. М. Шатайкін, А. М. Штандарин, О. Л. Тютькін, В. П. Купрій</i>	
Параметри і технологія експериментальних вибухів при проходці лівого перегінного тунелю метрополітену у м. Дніпро.....	95
<i>А. М. Пасічник, В. В. Кутирєв, В. А. Пасічник, Л. В. Дунда</i>	
Проблеми енергозбереження та удосконалення методології розрахунку тарифів на електроенергію.....	103
АНОТАЦІЇ.....	118

СОДЕРЖАНИЕ

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ НА
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

<i>В. И. Гаврилюк</i>	
Обзор кривых торможения европейской системы управления поездом ETCS.....	11
<i>В. И. Гаврилюк</i>	
Моделирование распределения гармоник обратного тягового тока в рельсах	20
<i>О. И. Бондарь</i>	
Математическое моделирование переходных процессов в установке размагничивания ферромагнитных деталей цилиндрической формы	28
<i>И. В. Жежеленко, В. Е. Саравас</i>	
Определение индекса надежности систем электроснабжения.....	31
<i>Е. И. Яцук, Д. С. Курило</i>	
Исследование работы рельсовой цепи в условиях насыщения путевых дроссель- трансформаторов	35

БЕЗОПАСНОСТЬ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

<i>В. И. Гаврилюк</i>	
Метод обнаружения дефектов подвижной арматуры сигнального реле	42
<i>В. И. Гаврилюк</i>	
Сравнительный анализ методов расчета полного сопротивления рельсов типа R65 колеи 1520 мм в тональном диапазоне частот	49
<i>В. В. Лагута, Т. Н. Сердюк, А. А. Пархоменко</i>	
Анализ отказов элементов железнодорожной автоматики	57
<i>А. Б. Бойник, А. Ю. Каменев, С. А. Змей, Е. В. Щерблыкина, В. В. Гаевский</i>	
Дефектовка технического, технологического и организационного обеспечения контрольного пункта АЛСН моторвагонного депо	66
<i>В. В. Мелешко</i>	
Технический контроль систем числовой кодовой автоблокировки	81
<i>В. Ю. Шапошник</i>	
Новые стратегии технического обслуживания и ремонта грузовых вагонов.....	88
<i>В. Д. Петренко, Е. М. Шатайкин, А. М. Штандарин, А. Л. Тюткин, В. П. Куприй</i>	
Параметры и технология экспериментальных взрывов при проходке левого перегонного тоннеля метрополитена в г. Днепре	95
<i>А. Н. Пасечник, В. В. Кутырев, В. А. Пасечник, Л. В. Дунда</i>	
Проблемы энергосбережения и усовершенствования методологии расчета тарифов на электроэнергию.....	103
АННОТАЦИИ.....	118

CONTENT

ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY ON RAILWAY TRANSPORT

<i>V. I. Havryliuk</i>	
An overview of the ETCS braking curves	11
<i>V. I. Havryliuk</i>	
Modeling of the traction current harmonics distribution in rails	20
<i>O. I. Bondar</i>	
Mathematical simulation of transient processes in the setting of cylinder mag-nets' demagnetization	28
<i>I. V. Zhezhelenko, V. E. Saravas</i>	
Definition of the dependability index of power supply systems	31
<i>K. I. Yashchuk, D. S. Kurylo</i>	
Investigation of a track circuit operation under conditions of saturation of the track's impedance bonds	35

SAFETY ON RAILWAY TRANSPORT

<i>V. I. Havryliuk</i>	
The method for detecting defects in movable armature of the signalling relay	42
<i>V. I. Havryliuk</i>	
The comparative analysis of calculating methods for ac impedance of R65 type rails and track 1520 mm gauge in the audio frequency range	49
<i>V. V. Laguta, T. M. Serdiuk, A. A. Parhomenko</i>	
Analysis of failures of railway automatics elements	57
<i>A. Bojnik, S. Zmij, A. Kameniev, O. Shcheblykina, V. Gajewsky</i>	
Flaw technical, technological and organizational support checkpoint ALSN motor-wagon depot.....	66
<i>V. V. Meleshko</i>	
Technical control of digital code autoblock system	81
<i>V. Shaposhnyk</i>	
New strategies of freight wagons repair and maintenance	88
<i>V. D. Petrenko, E. M. Shataikin, A. M. Shtandarin, A. L. Tyutkin, V. P. Kupriy</i>	
Parameters and Technology of Experimental Blasts during Drilling of the Left Running Tunnel of the Metro in the City of Dnieper	95
<i>A. N. Pasichnyk, V. V. Kutyrev, V. A. Pasichnyk, L. V. Dunda</i>	
Problems of energy conservation and improvement of the methodology of calculating tariffs on electric energy.....	103
ABSTRACTS	118

ЕЛЕКТРОМАГНІТНА СУМІСНІСТЬ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY ON RAILWAY TRANSPORT

UDC 629.4.012

V. I. HAVRYLIUK – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Prof., Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, vl.havryliuk@gmail.com, ORCID 0000-0001-9954-4478

AN OVERVIEW OF THE ETCS BRAKING CURVES**Introduction**

Since the second half of the 20th century, there has been a steady increase in the maximum speed of trains in industrialized countries. The first high speed railway (HSR) with a maximum operational speed of 210 km/h was built between Tokyo and Osaka (Japan) in 1964 and named Shinkansen (that means new trunk line) [1]. After the big success of the Shinkansen operation, the new technologies and innovations aimed to establish the basis for HSR has been developed in several European countries, particularly France, Germany, Italy and UK. The French national railway company SNCF started the operation of the first high speed line between Paris to Lyons on 27 September 1981, at a maximum speed in operation of 260 km/h. Then other HSR lines have been built in some European and Asian countries. At present time the average train movement speed in operation in industry countries amount to 200 km/h and above, and on certain lines the trains move with speed 300 km/h (fig. 1). In Great Britain the new project High Speed Two (HS2) line from London to Birmingham will planned to be operated in 2026 with speed 330 km/h (maximum line speed is 360 km/h) [2].

A single standard definition of high-speed rail and even the standard use of terms ("high speed" or "very high speed") don't exist. Therefore, two explanations of the term high speed railway are considered below in accordance with European normative documents [1, 3].

EU Directive 96/48/EC (application 1) defines the main features of high speed railway (HSR) in such terms.

– Infrastructure. Track are built specially for high speed movement or specially upgraded for high speed travel.

– Minimum speed of 250 km/h on lines specially built for high speed and about 200 km/h on existing lines which have been specially upgraded. This condition must be applied to at least one site on the line.

– Rolling stock must be able to reach a speed of at least 200 km/h to be considered high speed.

According to the International Union of Railways (UIC) norms [1] high speed railways shall comprise:

– specially high speed lines built for speeds generally equal to or greater than 250 km/h;

– specially upgraded high speed lines equipped for speeds of the order of 200 km/h;

– specially upgraded high speed lines which have special features as a result of topographical, relief or town-planning constraints, on which speed must be adopted to each case.

The appearance of high-speed train movement necessitated the upgrading of the entire railway infrastructure, including signaling and communication systems to ensure the required level of movement safety.

Other important factor resulted in developing and unification train control systems, was caused by demands of interoperability.

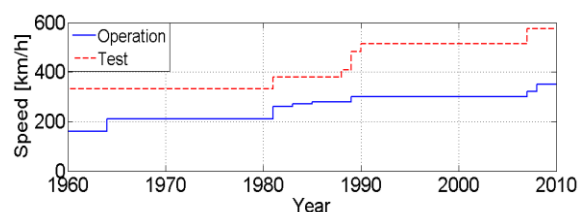


Fig. 1. Increase in maximum speeds in the operation of HSRs [1]

European railways were operated simultaneously with large variety of incompatible railway system types and procedures (more than 6 electric supply systems, 27 different signaling systems, etc.), which restricted competition of supplied companies and put obstacles in free train moving across frontiers. To greatly enhance safety, increase efficiency of trains and enhance cross-border interoperability of rail transport in Europe European Council issued a number of Interoperability Directives for high speed rail and for conventional rail [1, 3-8] and a series of Technical Specifications for Interoperability (TSI) for Rail Command, Control and Signalling (CCS) and European Rail Traffic Management System (ERTMS) [9].

ERTMS was defined by the first European Commission (2001/260/EC) decision as the combination of the European Train Control System (ETCS) and the Global System for Mobile Communication - Rail (GSM-R). The ETCS as element of ERTMS provides two principal functions: Automatic Train Protection (ATP) and Cab Signalling [10].

Automatic Train Protection is the system that automatically applies the train brakes if a driver does not keep the train's speed below the specific trackside safe limits for the train's current location and operating conditions.

Cab Signalling is the system that displays information inside a train cab about the current status of the track ahead. To do so the ETCS onboard computer must predict the decrease of the train speed in the future, from a mathematical model of the train braking dynamics and of the track characteristics ahead. This prediction of the speed decrease versus distance is called a braking curve.

The ETCS on-board computer calculates in real time braking distances, which will also be used to assist the driver and to allow him to drive comfortably, by maintaining the speed of the train within the appropriate limits [11, 12].

ETCS is based on an a set of braking curves, computed in real time and depending on different physical parameters (estimated

speed of the train, track profile, train acceleration, etc.).

Today the ETCS specifications lay down the basic principles for the braking curves and the associated information displayed to the driver, but there is still no harmonized method to compute them [13, 14]. In the absence of any requirement, the algorithms of the ETCS on-board suppliers lead to different braking distances for a given type of rolling stock. This makes the engineering of the ETCS trackside not only dependent on the pure performance of the rolling stock braking system, but also on the ETCS on-board supplier. For cross border trains, the differences through national rules require the implementation in the ETCS on-board of several national braking curves [16]. It can obviously induce increased costs (software design, cross acceptance tests, software upgrade necessary whenever a national parameter is amended).

The purpose of this article is to present an overview of the ETCS braking curves according to the European specifications, including the following main aspects: basic principle to ensure of the train movement safety, the main types of ETCS braking curves, the input parameters for braking curve calculation, construction of the emergency brake deceleration, and guaranteed emergency brake deceleration.

Train movement safety

The basic principle to ensure the train movement safety for a conventional signalling system is based on trains' separation in fixed block distance. The block-section can be occupied by only one train at a time and the train in rear needs under all conditions to be able to stop just before the border of an occupied block section in front of it. The distance between two following trains must be more than the maximum braking distance plus the length of the block section, plus an additional safety factor. The block-sections are equipped by train location sensors (rail circuits, axels counters, balises, etc.).

Another method for ensuring train movement control (so called moving block-sections method) is based on principle that distance between two trains moving in the same direction on the same route must be not lower the maximal available on this section braking distance plus additional safety factor. This method can be used to increase rail line capacity. The method with fixed block-sections is used in conventional train control systems and in EPTMC/ETCC levels 1, 2, the method with moving block-sections is developed for EPTMC/ETCC level 3.

The minimum interval between trains under automatic train protection (ATP) system is defined by minimum movement authority that comprises odometer tolerance, driver allowance, ATP reaction times, brake application time. Minimum train separation for an ERTMS Level 2 system is illustrated in fig. 2 [16].

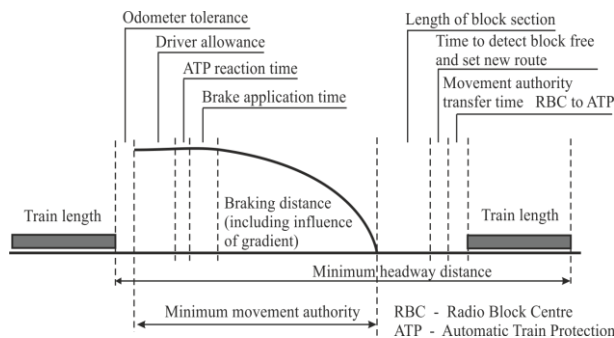


Fig. 2. Principle for determining the minimum interval between trains under ATP

ETCS braking curves

Braking curve predict of the train speed decrease versus distance by the ERTMS/ETCS on-board equipment, from a mathematical model of the train braking dynamics and the track characteristics ahead. ETCS supervises both the position and speed of the train to ensure they continuously remain within the allowed speed and distance limits, and if necessary it will command the intervention of the braking system to avoid any risk of the train exceeding those limits [14, 15].

To do so the ETCS onboard computer must predict the decrease of the train speed in

the future, from a mathematical model of the train braking dynamics and of the track characteristics ahead. This prediction of the speed decrease versus distance is called a braking curve. The purpose of braking curves is to assure that the train remains within the given speed and distance limits.

From this prediction the ETCS on-board computer calculates in real time braking distances, which will also be used to assist the driver and to allow him to drive comfortably, by maintaining the speed of the train within the appropriate limits [14, 15].

The following main ETCS braking curves are defined [17]:

- emergency brake deceleration (EBD);
- service brake deceleration (SBD);
- emergency brake intervention (EBI);
- service brake intervention (SBI).

Emergency braking means the application of a predefined brake force in the shortest time in order to stop the train with a defined level of brake performance. The braking curve related to the speed decrease due to the emergency brake is called EBD (Emergency Brake Deceleration) curve. The braking distance is determined by the performance of the service brake. Each specific target location given by the ETCS trackside is used by the ETCS on-board to compute a fully deterministic EBD curve, which depends on both train and track characteristics. The shape of the EBD curve, for a given piece of track, will therefore vary according to the type of rolling stock.

From the EBD and the measured train speed, the ETCS computer calculates in real time, several times per second, the distance necessary to stop the train from the time the ETCS on-board would command the intervention of the emergency brake.

The purpose of the emergency brake intervention curve is to assure that the train will remain within the limits of the Movement Authority (MA) and the most restrictive speed profile (MRSP) (fig. 3).

The movement authority related to permission for a train to run to a specific location

within the constraints of the infrastructure. End of Authority (EOA) is location to which the train is permitted to proceed and where target speed is equal zero.

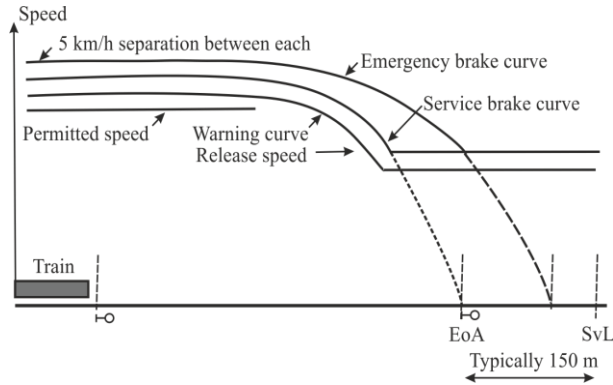


Fig. 3. Headway components for open line [2]

The speed limit is defined by the MRSP that takes into account all speed restrictions imposed by trackside and the train itself.

The MRSP defines the maximum operational speed for the train.

That means the estimated speed of the train will be a certain margin higher than the MRSP before the speed supervision function will intervene. Danger point is the location beyond the EOA that can be reached by the front of the train without creating a hazardous situation (fig. 4) [15].

The Supervised Location (SvL) shall be defined onboard as [15, 17]:

- the end of the overlap, if an overlap is implemented and if it has not timed out;
- if no overlap is implemented or if it has timed out, then the Danger Point;
- if no Danger Point is implemented, then the End of Authority.

The End of Authority and the Supervised Location are related to the Movement Authority and are the references for the different braking curves under different circumstances.

Service braking means the application of an adjustable brake force in order to control the speed of the train, including stop and temporary immobilization. The emergency brake is available in the event that the service brake does not provide sufficient retardation to stop the train safely within the movement authority

but the emergency brake will be requested by the ATP further in advance, only when and if the service brake does not perform adequately.

The EBD curve and the resulting EBI supervision limit are the elements of the ETCS speed and distance monitoring function, which materialize the so called ETCS parachute.

Therefore the ETCS on-board calculates in real time other supervision limits: Indication (I), Permitted speed (P), Warning (W) and Service Brake Intervention (SBI). They consist of locations that, when crossed by the train, will trigger some information to be given to the driver through appropriate graphics, colors and sounds on the Driver Machine Interface.

These locations are defined in order to:

- for the “I” supervision limit: leave the driver enough time to act on the service brake so that the train does not overpass the Permitted speed, when this latter will start to decrease. Without the indication it would not be possible for the driver to perform a transition from ceiling speed supervision to the target speed supervision without overpassing the Permitted speed;
- for the “P” supervision limit: in case of over speed, to leave the driver an additional time to act on the service brake so that the train will not overpass the point beyond which ETCS will trigger the command of the brakes;
- for the “W” supervision limit, to give an additional audible warning after the permitted speed has been overpassed;
- for the “SBI” supervision limit, to take into account the service brake build up time so that the EBI supervision limit is not reached after the command by ETCS of the full service brake effort. The SBI supervision limit is facultative and can be implemented on-board the train in order to avoid too frequent emergency braking, which can be damaging for both the rolling stock and the track.

The main purpose of the ETCS display is to invite the driver to keep the train speed as close as possible to the permitted speed (fig. 4). However the driver might eventually fail to do it and should be the case, ETCS of-

fers him (her) a second chance to brake the train before it takes over the responsibility to command the brakes. This is materialized by a more visible and audible warning and an additional time left to act on the service brake in order to avoid the ETCS intervention, i.e. to avoid that the EBI or the SBI supervision limit (depending on whether the ETCS command on the service brake is implemented) is reached.

Input parameters for breaking curve

Numerous input parameters are necessary to feed the ETCS braking curve algorithms and to allow the ETCS on-board computer to perform in real time its supervision and advisory functions; they can be classified in four categories [15]:

- physical parameters, which results from the real time measurements by the ETCS on-board equipment: instantaneous position, speed and acceleration;
- ETCS fixed values, which are invariant within a given ETCS baseline. They mostly relate to the ergonomics of the braking curve model itself (e.g. driver reaction times, see fig. 1);
- ETCS trackside data. It consists of signalling data (target speed/locations), infrastructure data (downhill/uphill slopes) and also some of the so called ETCS national values, which can affect the ETCS braking curve model. These parameters are under the strict

control of the infrastructure manager and are transmitted through the relevant ETCS transmission medium (balise, loop or radio);

- on-board parameters, which are captured before the start of mission as part of the so called ETCS train data. They mostly relate to the rolling stock braking system itself.

Amongst the two last categories of input parameters, a particular care must be paid to the ones contributing to the computation of the EBD curve. Indeed, the responsibility of the ETCS being solely to command the emergency brake in due time, the overall safety of a railway system highly relies on the fact that the trains will be effectively braked according to the predicted EBD.

Therefore the EBD curve must fulfil the relevant safety, which is required for the operation of ETCS trains on a given infrastructure. This is materialized in the ETCS braking curve model by the so called “correction factors”.

The purpose of the emergency brake intervention curve is to assure that the train will remain within the limits of the Movement Authority and the MRSP.

High speed trains are not capable of braking at the same rate throughout their speed range since the power dissipation in the brakes would be too high at maximum speed. The deceleration due to braking shall be given as a step function of the estimated speed of the train.

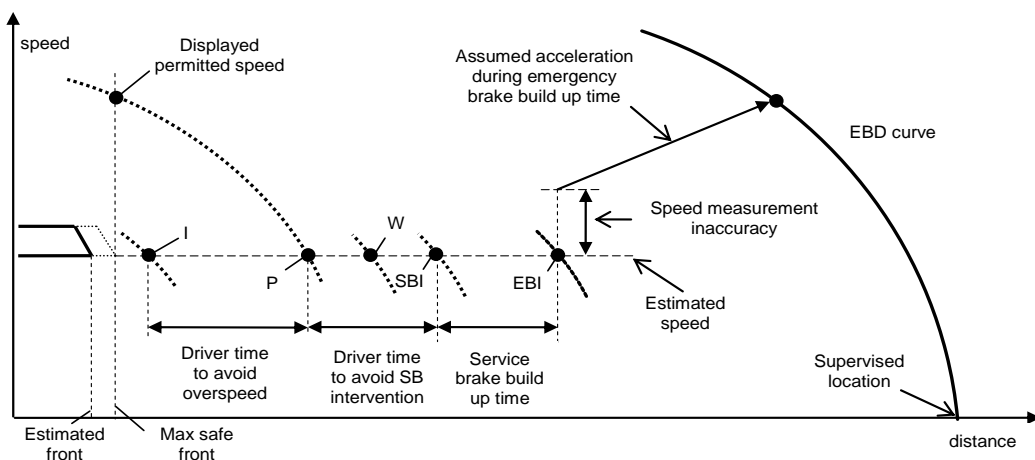


Fig. 4. Overview of the EBD braking curve and its related supervision limits

As an example fig. 5 [15] depicts braking force A_{brake} vs. estimated speed V . with 4 steps:

The dependence A_{brake} vs. speed V has 4 steps:

- $A_{\text{brake}} = AD_0$ when $0 \leq V \leq V1$;
- $A_{\text{brake}} = AD_1$ when $V1 < V \leq V2$;
- $A_{\text{brake}} = AD_2$ when $V2 < V \leq V3$;
- $A_{\text{brake}} = AD_3$ when $V3 < V$.

The European High Speed Interoperability legislation [7] defines a minimum braking capability for level track as shown below:

- 350-300km/h – 0.30 m/s²;
- 300-230km/h – 0.35 m/s²;
- 230-0km/h – 0.60 m/s².

Construction of the EBD

The EBD is a parabolic shaped curve that starts from the target location and is computed with the deceleration resulting from [15,17,18]:

- the guaranteed deceleration due to the emergency brake system itself ($A_{\text{brake_safe}}$);

- the deceleration/acceleration due to the uphill/downhill slopes (A_{gradient}).

To that effect, the emergency brake deceleration is modelled through a step function of deceleration against speed (“emergency brake deceleration profile”), while the track slopes are sent by the ETCS trackside as a step function of constant slopes against distance (“gradient profile”). The combination of both gives a set of interconnected parabolic arcs, each of them corresponding to a speed and distance “region” with a constant (fig. 6).

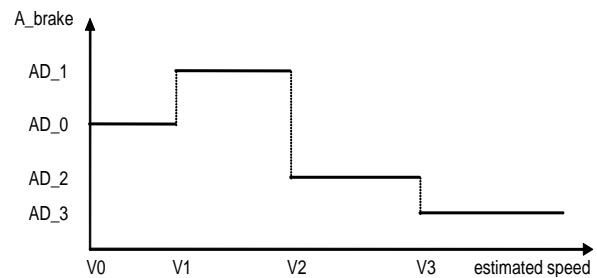


Fig. 5. The braking force A_{brake} vs. estimated speed V

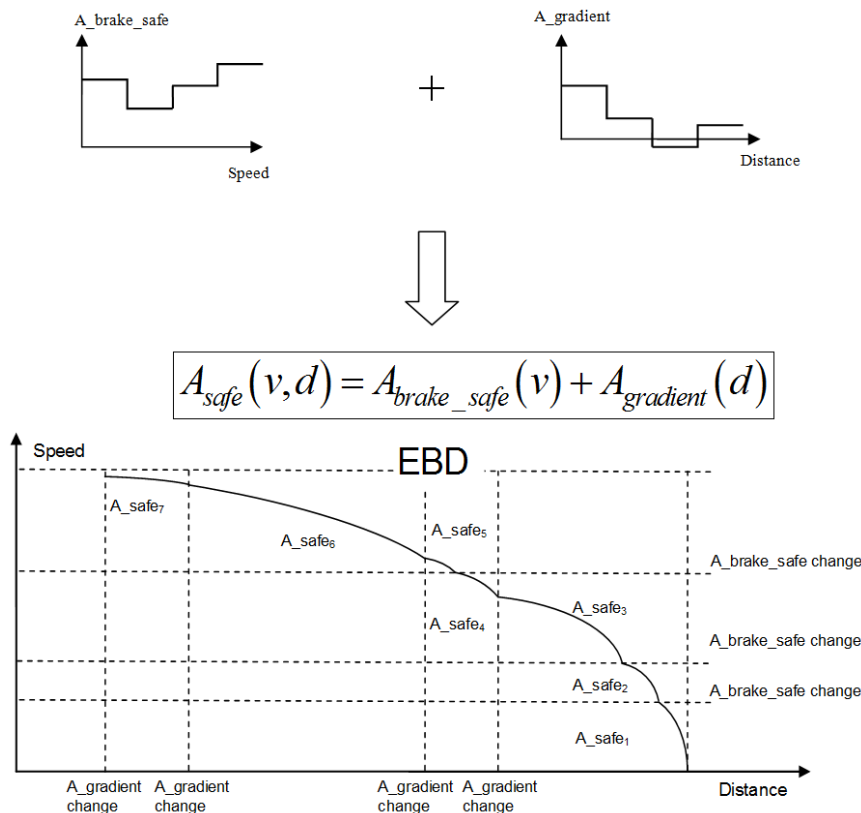


Fig. 6. Construction of the EBD [15]

Guaranteed emergency brake deceleration

Even though the current ETCS baseline 2 specification introduces the concept of EBD curve, they do not tell how reliable must be the EBD curve, or in other terms what do represent the margins that are taken in order to obtain the guaranteed emergency brake deceleration [14,15].

With the ETCS braking curve model, the margin between the nominal emergency brake performance ($A_{\text{brake_emergency}}$) and the guaranteed one is quantified by the so called correction factors. This margin is essentially related to characteristics of the rolling stock itself and depends on:

- the dispersion of the performance of some braking elements (pads, cylinders, etc.);
- the reliability of the braking system components;
- the architecture of the braking system;
- the efficiency of the Wheel Slide protection system in case of wet rail etc.

Since there can be a natural tendency in some countries to already include hidden margins when establishing the nominal braking performance of a rolling stock, first of all ETCS sets the reference conditions under which the nominal emergency deceleration must be established: environmental conditions, friction elements, track profile, wear of the wheels, all braking systems considered for the emergency braking up and running.

While it is relatively easy to represent through a statistical model the dispersion of the braking performance on dry rails (fig. 7), the physical phenomenon that occur when braking on wet rails are still today extremely difficult to model.

In order to overcome this difficulty, two distinct rolling stock correction factors have been created in order to get the guaranteed emergency brake deceleration:

- $K_{\text{dry_rst}}$, to quantify the dispersion of the emergency braking performance on dry rails. This factor is relevant for confidence levels, which represent the probability that one

emergency braking will effectively ensure a necessary deceleration;

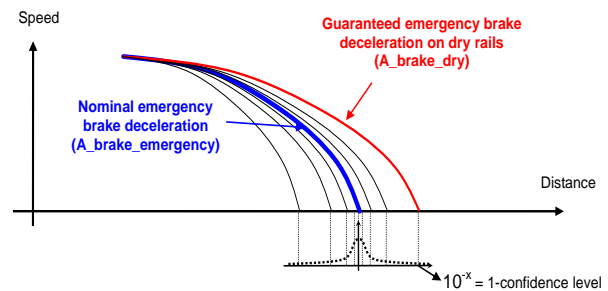


Fig. 5. Dispersion of emergency braking performance on dry rails [15]

- $K_{\text{wet_rst}}$, to quantify the loss of emergency braking performance on a reference reduced wheel/track adhesion, with regards to dry rails. It can be retrieved from the field tests prescribed to qualify the WSP system, as per standard EN15595 [20].

On the one hand, these two correction factors offer the advantage to be strictly under the responsibility of the railway undertaking, because only related to the rolling stock characteristics. On the other hand, the ETCS braking curve model offers the infrastructure manager two levers in order to interact on the computation of the EBD curve:

- the selection of the confidence level with which the guaranteed emergency braking on dry rails will be considered;
- a weighting factor that can mitigate $K_{\text{wet_rst}}$, in case the available wheel/rail adhesion is higher than the reference one defined in the standard EN15595.

As a matter of fact, these two parameters (sent by ETCS trackside as national values) are under the sole infrastructure manager responsibility and can be used to derive the overall safety target applicable to a given infrastructure.

Conclusion

The main features of the braking curves have been reviewed in the article, including the following main aspects: basic principle to ensure of the train movement safety, the purpose and main types of ETCS braking curves,

the input parameters for braking curve calculation, construction of the emergency brake deceleration curve, and guaranteed emergency brake deceleration.

Though the ETCS specifications lay down the basic principles for the braking curves and the associated information displayed to the driver, but there is still no harmonized method to compute them. In the absence of any requirement, the algorithms of the ETCS on-board suppliers lead to different braking distances for a given type of rolling stock. For cross border trains, the differences through national rules require the implementation in the ETCS on-board of several national braking curves. The basic principle to ensure the train movement safety is based on their separation in fixed block distance (for a conventional signalling system) or in moving block-sections (for ERTMS/ETCS level 3). To ensure these principles the ETCS onboard computer must predict the decrease of the train speed in the future, from a mathematical model of the train braking dynamics and of the track characteristics ahead. This prediction of the speed decrease versus distance is called a braking curve. The minimum interval between trains under automatic train protection system is defined by minimum movement authority that comprises odometer tolerance, driver allowance, ATP reaction times, brake application time. Braking curve predict of the train speed decrease versus distance by the ERTMS/ETCS on-board equipment, from a mathematical model of the train braking dynamics and the track characteristics ahead. ETCS supervises both the position and speed of the train to ensure they continuously remain within the allowed speed and distance limits, and if necessary it will command the intervention of the braking system to avoid any risk of the train exceeding those limits.

There have been considered in the work the main ETCS braking curves and the supervision limits of the EBD braking curves, the movement authority, the end of authority, the most restrictive speed profile, the supervised location and others. Differences in braking on

dry and wet rails are considered. The braking on dry rails is relatively easy to represent through a statistical model that take into account the dispersion of the braking performance. But on wet rails the physical phenomenon that occur when braking are still today extremely difficult to model. In order to overcome this difficulty, two distinct rolling stock correction factors have been considered in order to get the guaranteed emergency brake deceleration.

The braking on dry rails is relatively easy to represent through a statistical model that take into account the dispersion of the braking performance. But on wet rails the physical phenomenon that occur when braking are still today extremely difficult to model. In order to overcome this difficulty, two distinct rolling stock correction factors have been created in order to get the guaranteed emergency brake deceleration.

References

1. High speed rail. High track to sustainable mobility / International Union of Railways. (UIC), 2015. – 21 p. (www.uic.org/highspeed).
2. McNaughton, A. Signalling Headways and Maximum Operational Capacity on High Speed Two London to West Midlands Route. – Technical report, High Speed Two Ltd, 2011.
3. Directive 96/48/EC of 23 July 1996 on the interoperability of the trans-European high-speed rail system.
4. Directive 2001/16/EC of the European Parliament and of the Council of 19 March 2001 on the interoperability of the conventional rail system.
5. Directive 96/48/EC of 23 July 1996 on the interoperability of the trans-European high-speed rail system.
6. Directive 2007/32/EC of 1 June 2007 amending Annex VI to Council Directive 96/48/EC.
7. Directive 2008/57/EC of the European Parliament and of the Council of 17 June 2008 on the interoperability of the rail system within the Community (recast)
8. ERA/ERTMS-034215. Report on technical specification for interoperability for the subsystem control-command and signalling. Ver. 0.1.

9. SUBSET-026. ERTMS/ETCS. System requirements specification. Ver. 3.6.0.
10. ERA/ERTMS-015560/ETCS. Driver machine interface. Ver. 3.6.0.
11. SUBSET-041. Performance requirements for interoperability. Ver. 3.2.0.
12. Vinczea, B. Development and analysis of train brake curve calculation methods with complex simulation / B. Vinczea, G. Tarnaib // *Advances in Electrical and Electronic Engineering* / – 2006. – Vol. 5. – P. 174-177.
13. ERA/ERTMS-040022. Baseline 2. Requirements for implementation of braking curves functionality. Ver. 5.0.
14. ERA/ERTMS-040026. Introduction to ETCS Braking curves. Ver. 1.4.
15. Hunyadi, B. Capacity Evaluation for ERTMS (European Rail Traffic Management System) Level 2 Operation on HS2 // *Bombardier Transportation Rail Control Solutions*, Bombardier Inc., Montréal, Canada. – 2011.
16. EEIG ERTMS USERS GROUP. Reference EEIG: 97E881. Description of the brake curve calculation. Ver. 6I.
17. UIC 544-1. Brakes – braking power. 6th edition.
18. ERA-GUI-05 ERA. Braking curves tool handbook. Ver. 4.1. EN15595. Railway applications - Braking - Wheel Slide Protection. 2009.

Ключові слова: математична модель динаміки гальмування поїзда, безпека руху поїздів, криві гальмування ETCS, рухомий склад.

Ключевые слова: математическая модель динамики торможения поезда, безопасность движения поездов, кривые торможения ETCS, подвижной состав.

Keywords: a mathematical model of the train braking dynamics, train movement safety, ETCS braking curves, rolling stock.

Reviewers:

D. Sc. (Tech.), Prof. A. B. Boinik,
D. Sc. (Tech.), Prof. A. M. Mukha.

Received 03.04.2017.

Accepted 10.04.2017.

UDC 621.331

V. I. HAVRYLIUK – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Prof., Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, vl.havryliuk@gmail.com, ORCID 0000-0001-9954-4478

MODELING OF THE TRACTION CURRENT HARMONICS DISTRIBUTION IN RAILS

Introduction

Electrified railways are one of the most powerful wide frequency range sources of disturbances that interference on signaling and radio communication systems. This is especially true for new types of vehicles equipped with electronic static converters with pulse width modulation (PWM), which high-frequency interferences in rails can have frequencies up to several tens of kHz. The electrical disturbances from vehicles (trains, locomotives) propagate through traction network [1].

There are five feeding systems that can be used with an AC electric railway: the direct feeding system, the direct feeding system with return wire, the booster transformer feeding system, the autotransformer feeding system and the coaxial cable feeding system [2, 3].

In general, the traction network are composed of the overhead supply conductors and traction rails electrically connected to earth or (and) with additional earth potential conductors. The return current from rolling stock axles flows in rails back to the supply substation. Therefore rails act as a path for electrical disturbance propagation.

To ensure the electromagnetic compatibility (EMC) of new types of rolling stock with signaling and radio communication systems, they are subjected to an acceptance procedure that includes on EMC tests in accordance with European and national regulatory standards and norms [1, 4].

But under some unfavorable operation conditions for the trains that were successfully tested and are in operation with old vehicles on the same lines (sometimes with old feeding

system), the disturbing current generated by vehicles may reach values greater than the allowed values [4, 5]. As such unfavorable operational conditions may be considered increasing number of trains, low distance between track circuit receiver and vehicles or supply substation, low rail-to-earth conductivity and conductivity of earth. To proof the electromagnetic compatibility (EMC) between rolling stock and signalling systems it is need accurate modeling of the test cases with taking into account particular operation conditions [1].

The models for the distribution of the traction return current in the direct feeding AC and DC electric railways have been described in many works (see for example [2]). The multi-conductor transmission line (MTL) approach has been successfully used in [6, 7] to investigate the electromagnetic processes in Auto Transformer (AT) electric traction systems for high speed railways.

The distribution of the traction return current harmonics in rails and their influence on track circuits have been modeled in [8,9]. To describe various traction feeding networks in a uniform way the chain circuit model was used in [3]. Harmonic power flow in traction network was analyzed in [10].

The aim of the work is to establish mathematical and computer model for distribution of traction current harmonics in AC direct feeding traction network with multiple vehicles in feeder zone. This model is an evolution and simplification of models represented earlier [8].

The work has been performed in order to proof the electromagnetic compatibility of new trains equipped with electronic static convert-

ers with existing traction lines and has been used during tests of new types of train [5].

Arrangement of the Traction network

The single-phase 1×25 kV and AT feeding 2×25 kV traction systems are commonly used in modern railway AC electrification system, including high-speed railways. The direct feeding single-phase 1×25 kV traction system with two tracks that have been intended for new type of trains operation were considered in the work.

The traction supply current flows from the electric supply substation (ESS) through the overhead supply conductors (messenger and contact wires). The traction return current flows back from the rolling stock axles to the supply station through the rails and the earth [2]. The return current divides among the rails and it differential current that is caused by electrical asymmetry of rails produces the disturbing current through the track circuit's receiver. If the frequencies of traction current harmonics are in the frequency range of the receiver's input filters the harmonics can cause failures in track circuits (TCs) operation. To obviate TCs failures the severe requirements are imposed onto the spectrum components of vehicle return current and also onto arrangement of the path for return current flow (cross bonds, earthing of masts, electrical asymmetry of rails, rail-to-earth conductance, etc.).

The track circuits considered in work have various designs, parameters of transmitter and receiver, operational frequencies (25, 420, 480, 580, 720, 780 Hz). The length of audio-frequency track circuits is $10^2..10^3$ m and TCs with 25 Hz signal current – up to 2.5 km.

Parameters of traction network

Spacious non-uniformities having extensive multitrack arrangement are the railway stations, overtaking stations, block-posts, and etc. Point discontinuities in railway arrangement may be related to electric locomotives, power transformers, track transformers, trans-

mitters and receivers of TCs, all sort of power devices along a railway line, tracks cross-bonds, insulating joints, earthings of masts connected to rails, short-circuits connections along the catenary, and etc. In the model such point discontinuities are represented as elements with lumped parameters connected to lines.

For modeling longitudinally non-uniform traction network it is usually divided on segments, which can be considered as homogeneous. So, the network is represented as a set of connected multipole segments, which numbers of input and output poles are dependent on the numbers of lines in segments. Direct feeding system has at least five lines per one track [2].

There have been made some simplifications for considered model. The lines with equal or close to each other potentials are represented as single line with equivalent electrical parameters and placement. In such way the overhead system that consists of contact and messenger wires is presented as single line with equivalent impedance per unit length (p.u.l.) [2]

$$\underline{Z}_{OV} = \frac{\underline{Z}_K \underline{Z}_M - \underline{Z}_{KM}^2}{\underline{Z}_K + \underline{Z}_M - 2\underline{Z}_{KM}}, \quad (1)$$

were \underline{Z}_K , \underline{Z}_M are impedances (p.u.l) of the contact wire and the messenger wire, respectively, \underline{Z}_{KM} is mutual impedance (p.u.l.) between the contact and the messenger wires.

The equivalent circuit of infinitesimal segment of length dx for two-track traction system is shown in fig. 1.

The lines with indices 1 and 2 corresponds to the rails of first track, 3, 4 – to the rails of second-track, 5, 6 – to the equivalent overhead wires of the first and second tracks, respectively, and the line 0-corresponds to the ground conductivity. The voltage $\dot{U}_i(x)$ corresponds to the voltage of i -th line relative to the ground, $\dot{I}_i(x)$ is the current in i -th line; $\underline{Z}_{ii} = R_i + jX_i = R_i + j\omega L_i$ is the intrinsic impedance (p.u.l.) of i -th line (without taking

into account inductive influence of other lines), R_i X_i – active and reactive resistance (p.u.l.) of i -th line, L_i is inductance (p.u.l.) of i -th line, $\underline{Z}_{ij} = jX_{ij} = j\omega M_{ij}$ is the mutual impedance (p.u.l.) between i -th and j -th lines, M_{ij} is the coefficient of mutual inductance (p.u.l.) between i -th and j -th lines, $j = \sqrt{-1}$, $\omega = 2\pi f$ – cyclic frequency; Y_{ij} is the admittance between i -th and j -th lines.

The mutual inductance between lines of first and second tracks isn't shown in fig. 1.

Intrinsic impedance of the line consists of three components: internal line impedance \underline{Z}_{Cii} , external line impedance \underline{Z}_{Eii} and impedance introduced by ground [12-15]

$$\underline{Z}_{ii} = \underline{Z}_{Cii} + \underline{Z}_{Eii} + \underline{Z}_{Gii}. \quad (2)$$

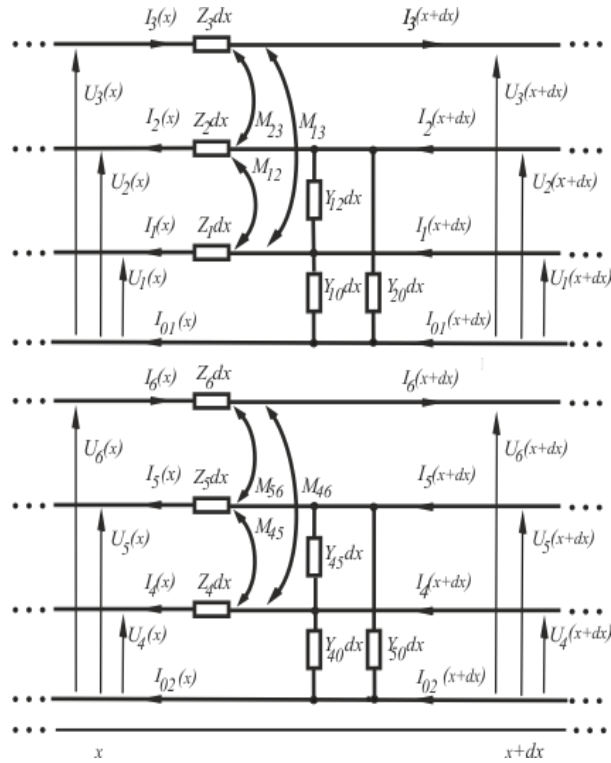


Fig. 1. The equivalent circuit of infinitesimal segment of length dx for two-track traction system

The internal impedance of the rail \underline{Z}_{Cii} ($i = 1, 2, 4, 5$) is determined taking into account the skin effect in the rail steel [16]

$$\underline{Z}_{Cii}(\omega) = R_{Cii}'(T) + R_{Cii}''(\omega) + jX_{Cii}(\omega), \quad (3)$$

where $R_{Cii}'(T)$ and X_{Cii} – the active and reactive resistance (p.u.l.) of the rail at a given temperature [16]

$$R_{Cii}''(\omega) = \frac{1}{u} \sqrt{\mu_0 \mu_s \rho_s \omega}, \quad (4)$$

$$X_{Cii} = \frac{0.6}{u} \sqrt{\mu_0 \mu_s \rho_s \omega}, \quad (5)$$

in which μ_s and ρ_s are, respectively, the magnetic permeability and conductivity of rail steel, u is the equivalent perimeter of the rail section.

The expressions for intrinsic impedance of i -th line \underline{Z}_{Gii} and the mutual impedance between i -th and j -th lines \underline{Z}_{Gij} in the presence of the earth as a return wire have been obtained by Carson [12]:

$$\underline{Z}_{Gii} = \frac{j\omega\mu}{2\pi} \ln \left(\frac{2h_i}{r_i} \right) + \underline{Z}'_{Gii}, \quad (6)$$

$$\underline{Z}_{Gij} = \frac{j\omega\mu}{2\pi} \ln \left(\frac{\sqrt{(h_i + h_j)^2 + d_{ij}^2}}{\sqrt{(h_i - h_j)^2 + d_{ij}^2}} \right) + \underline{Z}'_{Gij}, \quad (7)$$

$$\underline{Z}'_{Gii} = \frac{j\omega\mu}{\pi} \int_0^\infty \frac{\exp(-2h_i\xi)}{\xi + \sqrt{(\xi^2 + j\omega\mu\sigma)}} d\xi, \quad (8)$$

$$\underline{Z}'_{Gij} = \frac{j\omega\mu}{\pi} \int_0^\infty \frac{\exp[-(h_i + h_j)\xi]}{\xi + \sqrt{(\xi^2 + j\omega\mu\sigma)}} \cos(\xi d_{ij}) d\xi,$$

in which h_i, h_j are the heights of the wires above the ground, r_i is the radius of the wire, d_{ij} is the horizontal distance between the projections i -th and j -th lines, μ_0 is the magnetic constant.

The Carson's expressions for \underline{Z}'_{Gii} and \underline{Z}'_{Gij} include infinite integrals with complex arguments. It has been suggested to use for their approximation the infinite series with the restriction of the numbers of terms in the se-

ries. The Carson's expressions are widely used to determine intrinsic impedance of the line above the ground [3, 6-11].

In this work the approximations proposed in [14] for the intrinsic and mutual impedance of conductors above the earth's surface as a return wire have been used

$$\underline{Z}_{Gii} = \frac{j\omega\mu_0}{2\pi} \ln \left[\frac{2(h_i + p)}{r_i} \right], \quad (9)$$

$$\underline{Z}_{Gij} = \frac{j\omega\mu_0}{2\pi} \ln \left(\frac{\sqrt{(h_i + h_j + 2p)^2 + d_{ij}^2}}{\sqrt{(h_i - h_j)^2 + d_{ij}^2}} \right), \quad (10)$$

where $p = (j\omega\mu_0\sigma)^{-1/2}$ is the complex depth of the earth layer which the return current flows, σ is the earth conductivity.

Mathematical model

The mathematical model of the traction network has been performed using a Multi-conductor Transmission Line (MTL) approach with description of currents and voltage distributions in lines with equations in matrix form. The series impedances (p.u.l.) of the lines $\underline{Z}(f)$ and the shunt admittances between the lines (p.u.l.) $\underline{Y}(f)$ are represented as rectangular matrices of the size $n \times n$. The matrixes $\underline{Z}(f)$ and $\underline{Y}(f)$ are always symmetric. The elements of matrixes are calculated on the assumption that the dominant mode of wave propagation is transverse electromagnetic (TEM) in the dielectric and transverse magnetic (TM) in conductors, and that contributions from other modes are negligible.

The diagonal elements \underline{Z}_{ii} of the impedance matrix correspond to the intrinsic impedance (p.u.l.) of the i -th line without taking in account of the mutual inductive impedance. Off-diagonal elements \underline{Z}_{ij} correspond to the mutual impedance between i -th and j -th lines ($\underline{Z}_{ij} = \underline{Z}_{ji}$).

The diagonal elements of the admittance matrix are defined as

$$Y_{11} = -(Y_{10} + Y_{12}), \quad (11)$$

$$Y_{22} = -(Y_{20} + Y_{21}), \quad (12)$$

$$Y_{44} = -(Y_{40} + Y_{45}), \quad (13)$$

$$Y_{55} = -(Y_{50} + Y_{54}). \quad (14)$$

The off-diagonal elements $Y_{21} = Y_{12}$ and $Y_{45} = Y_{54}$ correspond to the conductivity (p.u.l.) between the rails of the first and second tracks, respectively. Since conductivity between the overhead line and rails under normal operation conditions is negligible, the corresponding elements of the admittance matrix were assumed to be zero: $\underline{Y}_{5i} = \underline{Y}_{i5} = 0$, $\underline{Y}_{6i} = \underline{Y}_{i6} = 0$ ($i = 1 \dots 4$).

A multiconductor traction network is a distributed circuit with the voltage-current relations in a form

$$\frac{d\bar{\underline{U}}(x, f)}{dx} = -\underline{Z}(f)\bar{\underline{J}}(x, f), \quad (15)$$

$$\frac{d\bar{\underline{J}}(x, f)}{dx} = -\underline{Y}(f)\bar{\underline{U}}(x, f), \quad (16)$$

where $\bar{\underline{J}}(x, f) = \{\bar{I}_i(x, f)\}$ is the vector of harmonic currents of frequency f which components $\bar{I}_i(x, f)$, correspond to the currents in i -th line ($i = 1 \dots N$) and $\bar{\underline{U}}(x, f) = \{\bar{U}_i(x, f)\}$ is the vector of voltages with frequency f which components $\bar{U}_i(x, f)$, correspond to the voltages between lines i -th ($i = 1 \dots N$) and earth, x represents distance along the line.

The boundary conditions for the differential equations (15, 16) depend on the type of traction system, its arrangement and the trains operation modes.

The voltage and current of the harmonic of frequency f in rails at a point with coordinate

x are presented in usual for telegraph equations form as

$$\begin{bmatrix} \bar{\mathcal{U}}(x) \\ \bar{\mathcal{J}}(x) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} ch(\Gamma x) - sh(\Gamma x) \underline{\mathcal{Z}} \\ \underline{\mathcal{Y}}_c sh(\Gamma x) - \underline{\mathcal{Y}}_c ch(\Gamma x) \underline{\mathcal{Z}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{\mathcal{U}}_1 \\ \bar{\mathcal{J}}_1 \end{bmatrix},$$

where $\bar{\mathcal{U}}_1, \bar{\mathcal{J}}_1$ are the vectors of harmonics currents and voltages with frequency f at the point with $x=0$ (at the ESS terminals), $\underline{\mathcal{Z}} = \underline{\mathcal{Z}}_c = \sqrt{\underline{\mathcal{Z}}/\underline{\mathcal{Y}}}$ is the matrix of the characteristic (wave) impedances of the lines, and $\underline{\Gamma} = \sqrt{\underline{\mathcal{Z}}\underline{\mathcal{Y}}}$ is the matrix of the propagation constants.

Traction current harmonics from single train in feeder zone

To evaluate influence of traction return current harmonics on track circuits it is necessary to determine the voltages and currents of harmonics in both rails of one track at the point where train receiver is connected and for the frequencies which is in TC's operation frequency range. Taking into account of longitudinally non-uniformity of traction network along feeding zone (transformers, TC's transmitters, receivers, cross-bonds, and etc. that are connected to the rails) it is expedient to represent two rails of one track as a single line with equivalent longitudinal parameters and then to determine the differential current of harmonics in two rails directly at required part of railway on the basis of electrical asymmetry of rails.

The disturbing vehicles are modeled as a sinusoidal current sources with several set of frequencies that represented by current vector $\mathbf{J}_H = \{\dot{J}_{Hi}(f_i)\}$ which components correspond to currents with frequencies f_i injected into rails at a point of train location.

Depended of simulation aim the values of harmonics $\dot{J}_{Hi}(f_i)$ at frequency f_i are taken as values measured during train tests or as the maximum interference values according to norms [1, 2].

A simplified three-wire equivalent circuit of the traction network with single train is shown in fig. 2.

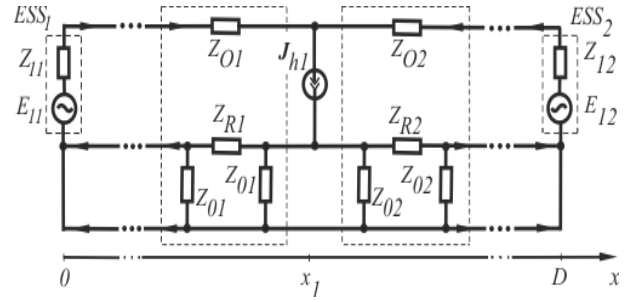


Fig. 2. A simplified three-wire equivalent circuit of the traction network for single train

Traction return current harmonics from train $\dot{J}_n(f_i)$ is divided in rails in two currents ($\dot{J}_n(f_i) = \dot{I}_{n1}(f_i) + \dot{I}_{n2}(f_i)$) which flow to ESS1 as $\dot{I}_1(f_i)$ and to ESS2 as $\dot{I}_2(f_i)$. These currents are inversely proportional to the impedances of two parts of the traction network $\underline{Z}_{TS1}(f_i)$ and $\underline{Z}_{TS2}(f_i)$ placed on the both side from the train

$$\frac{\dot{I}_{n1}(f_i)}{\dot{I}_{n2}(f_i)} = \left(\frac{\underline{Z}_{TS1}(f_i)}{\underline{Z}_{TS2}(f_i)} \right)^{-1}. \quad (17)$$

The distributions of the voltage and current of the traction return current harmonic in the rails between ESS and train for three-wire traction circuit have simple analytical form

$$\dot{U}_{Hi}(x, f) = \underline{C}_{Hi} \left[e^{\gamma(x-L-2l_2)} + e^{-\gamma(x-L_2)} \right], \quad (18)$$

$$\dot{I}_{Hi}(x, f) = -\frac{2\underline{C}_{Hi}}{\underline{Z}_{ci}} \left[e^{\gamma(x-L-2l_2)} - e^{-\gamma(x-L_2)} \right], \quad (19)$$

$$\underline{C}_{Hi} = \frac{\underline{C}_{1Hi}e^{\gamma L} + \underline{C}_{2Hi}e^{-\gamma L}}{1 + e^{-2\gamma l_2}}, \quad (20)$$

where $C1$ and $C2$ are constants of integration that are defined from boundary conditions, \underline{Z}_{ci} is the characteristic (wave) impedance of the lines, γ is the propagation constants, L is the distance between train and substation, l_2 is the spreading distance of the harmonic of the reverse traction current beyond the SSE.

Traction current harmonics from multiple trains in feeder zone

The equivalent circuit of a traction system with two ESS and multiple trains is shown in fig. 3.

The distribution of traction return current harmonics in rails generated by multiple trains in feeder zone are determined by using superposition method. On first stage of this method the partial currents in all branches of the circuit caused by one electromotive force (EMF) or current source are calculated with assumption that the other EMF sources are replaced by short-circuited branches and current sources are replaced by breaks in the circuit. Then the total currents in each of the branches are determined as a sum of the partial currents.

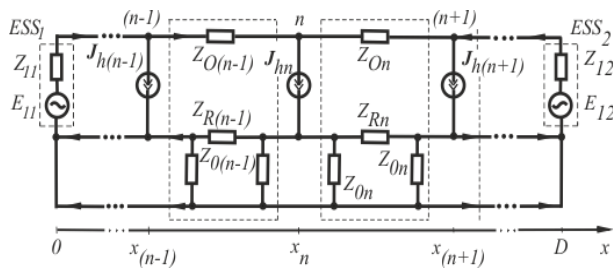


Fig. 3. The equivalent circuit of a traction system with multiple trains (only two trains with numbers n and $(n+1)$ are shown)

On the basis of the established mathematical model, a computer program have been developed

Results

To illustrate the application of the developed computer model, the distribution of the traction return current harmonics was computed for AC direct feeding traction network 2x25 kV electric railway system with two-side ESSs. The parameters of the model have been set as follows: distance between substations D_1 is 40 km, number of trains N_{T1} is varied from 1 to 5, the trains' coordinates are $x_n = 6, 13, 20, 27, 34$ km, the electrical conductivity of the earth σ_g is varied from 10^{-2} to 10^{-3} Sm/km, the rail-to-earth conductivity σ_{re}

is varied from 0.02 to 1 Sm/km, the harmonic's current at 25 Hz, generated in rails by each of the trains is 1 A (RMS) (that corresponds to maximum value of interference in the rails at 25 Hz [4]).

The maximum interference from trains is in the areas nearest to trains and also to the point of connection of return feeder to rails (at ESS terminals). Therefore, simulation results are represented for the traction return network area between ESS1 ($x=0$) and the train ($x=6$ km) (fig. 4). The traction harmonic current in rails are increased with increasing of train number in feeder zone and with decreasing of the rail-to-earth conductivity.

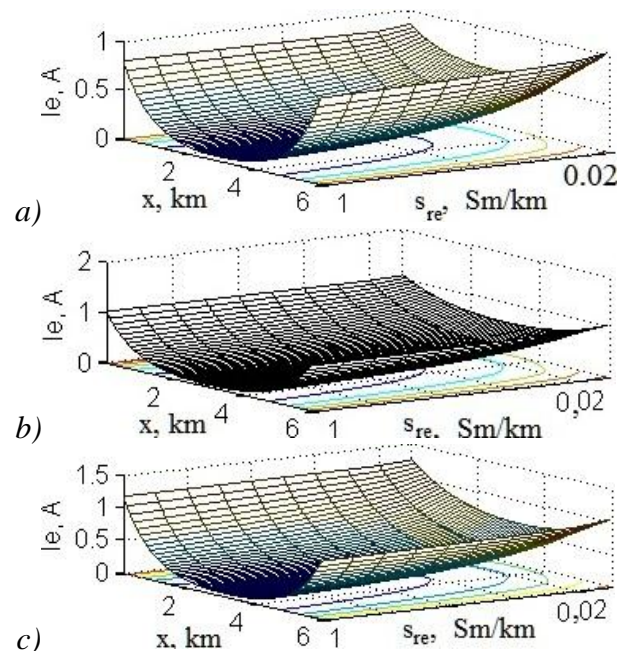


Fig. 4. Dependence of the harmonic current at a frequency 25 Hz in the rails from the coordinate x and the rail to earth conductivity σ_{re} for one (a), two (b) and five (c) locomotives in feeder zone

In case of one locomotive in feeder zone the interference at 25 Hz in the rails near the ESS don't exceed a limit value of 1 A even in unfavorable operation conditions for the rail-to-earth conductivity equal 0.02 Sm/km. (fig. 4 a). If number of trains in feeder zone increased (from 1 to 5) the interference at 25 Hz also increased and it values at rail-to-earth conductivity equal 0.02 Sm/km reach to 1.073 A for two locomotives (at $x=6$ and

13 km) and 1.233 A for five locomotives (fig. 4 (b), (c)). These values of interference are exceed the limit value 1 A at 25 Hz. Similar results are obtained for traction harmonic currents at frequencies 420, 480, 580, 720, 780 Hz.

Conclusion

A mathematical and computer model of traction current harmonic distribution in direct feeding traction network with multiple vehicles in feeder zone has been established. The traction network was represented as series-connected multipoles, corresponded to longitudinally uniform network areas which are modeled with MTL equations.

The model has been simplified as follows. The lines with equal or close to each other potentials are represented as a single line with equivalent electrical parameters. The disturbing vehicles are modeled as sinusoidal current sources with several set of frequencies that are represented by current vector $\mathbf{J}_H = \{J_{Hi}(f_i)\}$ which components correspond to currents with frequencies f_i injected into rails. Only return current harmonics with frequencies that lie in frequency range of track circuit receiver were considered. Depended of simulation aim the values of harmonics $J_{Hi}(f_i)$ at frequency f_i are taken as values measured during train tests or as the maximum interference values according to norms.

The distribution of the traction return current harmonics was computed for direct feeding traction network 1x25 kV AC electric railway system with two-side ESS and with 1 to 5 vehicles in feeder zone.

The maximum interference from trains is in the areas nearest to trains and also to the point of connection of return feeder to rails (at ESS terminals). The traction harmonic current in rails are increased with increasing of train number in feeder zone and with decreasing of the rail-to-earth conductivity.

The interference at 25 Hz in the rails area near the ESS for one locomotive in feeder

zone don't exceed a limit value of 1 A even in unfavorable operation conditions for the rail-to-earth conductivity equal 0.02 Sm/km. If number of trains are increased (from 1 to 5) the interference at 25 Hz also increased and it values at rail-to-earth conductivity equal 0.02 Sm/km reach to 1.073 A for two locomotives and to 1.233 A for five locomotives, that exceed the limit value of the interference in rails at 25 Hz.

References

1. Applications. Compatibility between rolling stock and train detection systems. – 2000-04. CENELEC Std. prEN 50 238.
2. Марквардт, К. Г. Электроснабжение электрифицированных железных дорог / К.Г. Марквардт. – М.: Транспорт, 1982. – 528 с.
3. Mingli, W. Modelling of AC feeding systems of electric railways based on a uniform multi-conductor chain circuit topology / W. Mingli, C. Roberts, S. Hillmansen // IET Conference on Railway Traction Systems (RTS 2010).
4. Гаврилюк, В. І. Норми та методи випробування рухомого складу на електромагнітну сумісність з системами сигналізації та зв'язку / В. І. Гаврилюк // Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті. – 2016. – Ном. 12. – Дніпропетровськ: Вид-во ДНУЗТ, 2016. – С. 48–57.
5. Гаврилюк, В. И. Испытания новых типов подвижного состава на электромагнитную совместимость с устройствами сигнализации и связи / В. И. Гаврилюк, В. И. Щека, В. В. Мелешко // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту. – 2015. – № 5(59). – С. 7–15.
6. Mariscotti, A. Distribution of the traction return current in AC and DC electric Railway Systems // IEEE Transactions on Power Delivery. – 2003. – Vol. 18. – No. 4. – P.1422-1432.
7. Mariscotti, A. Distribution of the Traction Return Current in AT Electric Railway Systems/ A Mariscotti, P. Pozzobon // IEEE Transactions on Power Delivery. – 2005. – Vol. 2. – No. 3. – P. 2119–2128.
8. Гаврилюк, В.І. Аналіз електромагнітного впливу тягового електропостачання на роботу рейкових кіл. Моделювання протікання тягового струму в рейках // Вісник Дніп-

- ропетровськ. національного ун-ту залізничного тр-ту ім. ак. В.Лазаряна. – 2003. – №1. – С. 6-10.
9. Serdyuk, T. Research of electromagnetic influence of traction current and its harmonics on the rail circuits / T. Serdyuk, V. Gavryliuk // 17th Int. Wroclaw Symp. and Technical Exhibition on Electromagnetic Compatibility. Wroclaw, Poland. – 2004. – P. 260-263.
 10. Bin Wang. Harmonic power flow calculation for high-speed railway traction power supply system / Bin Wang, Xu dong Han, Shi bin Gao, Wen Huang, Xiao feng Jiang // Proceedings of the 2013 International Conference on Electrical and Information Technologies for Rail Transportation (EITRT2013). Volume I. Lecture Notes in Electrical Engineering. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2014. – P. 11-25.
 11. Wen Huang. Study on distribution coefficient of traction return current in high-speed railway / Wen Huang, Zhengyou He, Haitao Hu, Qi Wang // Energy and Power Engineerings. – 2013. – No 5. – P. 1253-1258
 12. Carson, J. R. Wave propagation in overhead wires with ground return // Bell Syst. Tech. J. – 1926. – Nr. 5. – P. 539-554.
 13. Pollaczek F. On the field produced by an infinitely long wire carrying alternating current // Elekztrische Nachrichten Technik. – 1926. – Vol. III. – No. 9. – P. 339-359.
 14. Deri, A. The complex ground return plane. A simplified model for homogenous and multi-layer earth return / A. Deri, G. Tevan, A. Semlyen, A. Castanheira // IEEE trans. on power systems. –1981. – Vol 100. – No. 8. – P. 3686-3693.
 15. Havryliuk, V. I. Electrical impedance of traction rails at audio frequency range / V. I. Havryliuk, V.V. Meleshko // Інформаційно-керуючі системи залізничного транспорту, 2015. – №2. – С. 31-36.
 16. Нейман, Л. Р. Поверхностный эффект в ферромагнитных телах. – ГЭИ. Ленинград-Москва, 1949. –220 с.
- Ключові слова:** електромагнітна сумісність, математична та комп'ютерна модель розподілення гармонік тягового струму, тягова мережа, фідерна зона, рухомий склад нових типів.
- Ключевые слова:** электромагнитная совместимость, математическая и компьютерная модель распределения гармоник тягового тока, тяговая сеть, фидерная зона, подвижной состав новых типов.
- Keywords:** electromagnetic compatibility, mathematical and computer model for distribution of traction current harmonics, traction network, feeder zone, new types of rolling stock.
- Reviewers:**
D. Sc. (Tech.), Prof. A. B. Boinik,
D. Sc. (Tech.), Prof. A. M. Mukha.

Received 13.03.2017.

Accepted 20.03.2017.

УДК 621.3. 011

О. І. БОНДАР – к. т. н., доцент, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, olbond36@mail.ru

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ В УСТАНОВЦІ РОЗМАГНІЧУВАННЯ ФЕРОМАГНІТНИХ ДЕТАЛЕЙ ЦИЛІНДРИЧНОЇ ФОРМИ

Постановка проблеми та аналіз публікацій

При проектуванні та аналізі роботи різноманітних електротехнічних пристроїв досить часто постає задача розрахунку електромагнітних полів у великогабаритних феромагнітних провідниках циліндричної форми. Можливо виділити три основні напрямки розв'язання цієї задачі. Перший з них полягає у фізичних моделях установок зменшених габаритів на основі теорії подібності. Питання фізичного моделювання постійних та змінних магнітних полів та особливості різних моделюючих пристроїв докладно описано в [1]. Результати експериментальних досліджень намагнічування феромагнітного циліндра наведено також у більш сучасній роботі [2]. Іншим напрямком є математичне моделювання процесів у зазначених системах. Зокрема, в роботі [3] запропоновано методику чисельного розрахунку магнітного стану суцільного феромагнітного стрижня кругового перерізу, що знаходиться у постійному магнітному полі шляхом застосування методу просторових інтегральних рівнянь. Третім окремим напрямком у моделюванні електромагнітних процесів у вказаних системах є комп'ютерне моделювання на основі спеціалізованого програмного забезпечення. Так, наприклад, у роботі [3] вирішено задачу комп'ютерного моделювання електромагнітного поля асинхронного двигуна із зовнішнім великогабаритним ротором у статичних та динамічних режимах роботи за допомогою пакета програм Maxwell.

Ця стаття продовжує раніше згаданий напрямок математичного моделювання

процесів в установках намагнічування великогабаритних феромагнітних циліндрів. Таке моделювання має передусім визначення ефективних параметрів кола намагнічування або розмагнічування матеріалу, а також вирішення питання забезпечення електромагнітної сумісності установки при обраних параметрах.

Обґрунтування результатів

Отже, в даній роботі досліджуються електричні та магнітні величини у системі, зображеній на рис. 1. Циліндр 1, на відміну від робіт [2] та [3] в загальному випадку – багатошаровий. З торців його замкнено шихтованим магнітопроводом 2 великого перерізу. Поле утворюється струмом, який протікає через обмотку 3. Гістерезис феромагнітних шарів враховується.

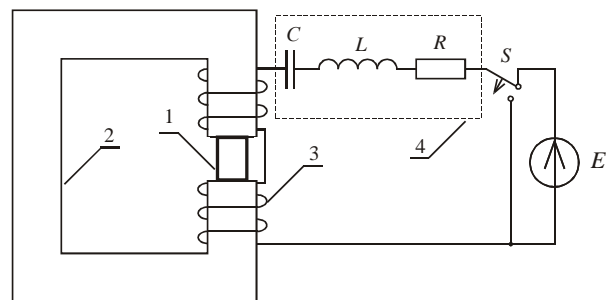


Рис. 1. Електрична принципова схема пристрою намагнічування й розмагнічування матеріалів

Система рівнянь Максвелла для квазістационарного стану електромагнітного поля має вигляд

$$\operatorname{rot} \vec{H} = \gamma \vec{E}, \quad (1)$$

$$\operatorname{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}. \quad (2)$$

Якщо сумістити вісь z циліндричної системи координат (ρ, ϕ, z) з віссю симетрії циліндра, тоді з умови припущень про те, що поле є плоским та паралельним а також симетричним відносно вісі z , вектори напруженостей \vec{E} , \vec{H} , та магнітної індукції \vec{B} залежать лише від однієї просторової координати – відстані ρ від вісі циліндра.

Електромагнітне поле у цьому випадку описують системою двох одномірних скалярних рівнянь у частинних похідних.

$$\frac{\partial H}{\partial \rho} = -\gamma E, \quad (3)$$

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial \rho}(\rho E) = -\mu_0 \frac{\partial H}{\partial t}, \quad (4)$$

$$r_0 \leq \rho \leq r_e. \quad (5)$$

В якості прикладу, на рис. 2 наведено результати чисельного розрахунку за допомогою стандартних процедур програмного пакета Maple. Ці розрахунки відповідають процесу розмагнічування циліндра 1 з матеріалу ЮНДК24Б радіусом 10 мм на контур 4 (див. рис. 1) за таких його параметрів $R = 0,4 \text{ Ом}$, $L = 4,56 \cdot 10^{-4} \text{ Гн}$, $C = 220 \cdot 10^{-5} \text{ Ф}$. Граничні умови у цьому разі витікають із співвідношення за другим законом Кірхгофа для кола розряду

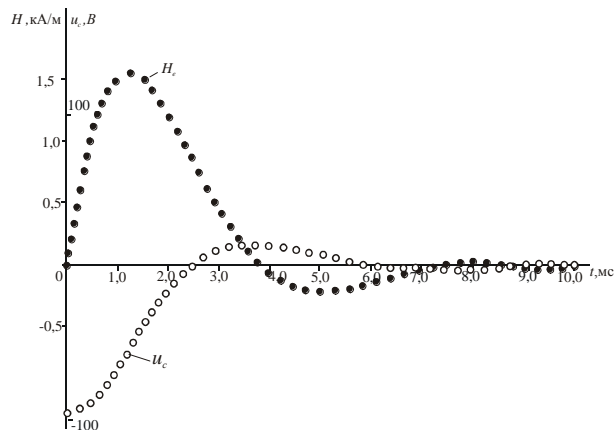


Рис. 2. Часові залежності напруженості магнітного поля на поверхні циліндра та напруга на ємності протягом процесу розмагнічування зразка

$$L \frac{di}{dt} + Ri + u_c(t) + w \frac{d\Phi_e}{dt} = 0, \quad (6)$$

де

$$u_c(t) = u_c(0) + \frac{1}{C} \int_0^t i(t) dt. \quad (7)$$

Висновки

За результатами виконаної роботи можна зробити наступні висновки.

1. Наявність у колі ємності при обраній раціональній комбінації параметрів призводить до періодично згасаючого коливального перехідного процесу під час розмагнічування циліндричного зразка. Тривалість процесу розмагнічування при даних параметрах – 10 мс.

2. При розв'язуванні задач із урахуванням явища гістерезису слід мати на увазі, що запропонована модель гарантує правильність розрахунків, якщо параметри кола забезпечують монотонність зміни напруженості поля від позитивного до негативного максимумів та вихід на граничну петлю гістерезису протягом процесу перемагнічування матеріалів.

3. На нашу думку, при наукових дослідженнях електромагнітних процесів у системах класу «електричне коло – електромагнітне поле» перевагу слід віддати математичному моделюванню на основі класичної теорії електромагнітного поля у поєднанні з чисельними методами розрахунку відповідних рівнянь. У той же час при проектуванні конкретних електротехнічних пристроїв більш ефективним є комп'ютерне моделювання, хоча у більшості випадків при його застосуванні дослідник не має повної інформації про структуру моделі, яку використовує. Фізичне моделювання також є актуальним, оскільки дозволяє підтвердити адекватність прийнятих припущень при побудові математичних або комп'ютерних моделей зазначених систем.

4. Подальших досліджень потребує питання забезпечення електромагнітної сумісності установок намагнічування та роз-

магнічування речовин при обраних раціональних, з точки зору основних процесів, параметрах установки.

Бібліографічний список

1. Демирчян, К. С. Моделирование магнитных полей [Текст]: / К. С. Демирчян. – Л.: Энергия, 1974. – 288 с.
2. Бондар, О. І. Фізичне моделювання електромагнітних процесів в установці імпульсного намагнічування [Текст] / О. І. Бондар // Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті. – 2014. – Ном. 8. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2014. – С. С.38-39.
3. Моделирование магнитного состояния ферромагнитного стержня в продольном постоянном магнитном поле [Текст] / В.Ф. Матюк и др. // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2011. – № 1. – С. 20-27.
4. Плюгин, В. Е. Численное моделирование электромагнитного поля асинхронного двигателя с внешним массивным ротором [Текст] / В. Е. Плюгин. // Вісник НТУ

«ХП». Серія: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Теорія і практика. – Х.: НТУ «ХП», 2013. – № 51 (1024). – С. 66-75.

Ключові слова: математичне моделювання, електромагнітні процеси, розмагнічування, чисельний розв'язок.

Ключевые слова: математическое моделирование, электромагнитные процессы, размагничивание численное решение.

Keywords: mathematical simulation, electromagnetic processes, demagnetization, numerical solution.

Рецензенти:

д.т.н., проф. А. Б. Бойнік,
д.т.н., проф. А. М. Муха.

Надійшла до редколегії 09.03.2017.

Прийнята до друку 20.03.2017.

УДК 621.311

И. В. ЖЕЖЕЛЕНКО – д.т.н., професор, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, zhezhelenkoiv@gmail.com

В. Е. САРАВАС – к.т.н., ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, victoriasaravas@gmail.com

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНДЕКСА НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Введение

Понятие надежности в электроэнергетике является одним из основных, главных понятий, характеризующих энергоэффективность производства, передачи и распределения электрической энергии. В различных нормативных и подобных документах под надежностью понимается свойство объекта (электроустановки, электроэнергетической станции или ее части) обеспечивать требуемые функции (например, бесперебойное электроснабжение потребителей в заданном объеме и нужном качестве) сохраняя свою работоспособность и эксплуатационные показатели. В современных условиях надежность рассматривается также на оптовом рынке (т.е. системная надежность) и на розничном рынке (электросетевая надежность). Надежность как вероятность бездефицитной работы электростанций характеризуется индексом надежности p ; в СНГ нормируется индекс надежности, равный 0.966, что значительно ниже зарубежных нормативов.

Объектом исследования являются системы электроснабжения промышленных предприятий.

Целью работы является определение индекса надежности промышленных систем электроснабжения.

В результате исследований получены выражения для оптимального значения степени надежности с учетом значений приведенных затрат и их составляющих.

1. Расчет индекса надежности

Обеспечение значений p означает снижение вероятностей ограничения электроснабжения, что требует дополнительных капиталовложений в повышение надежности всех составляющих энергосистем (генерирующих мощностей, электрических сетей различных уровней, автоматических устройств и др., а также затрат K на обеспечение резерва генерирующих резервных мощностей $P_{рез}$. Значение K можно представляется в виде

$$K = P_{рез} \cdot K_{уд}, \quad (1)$$

где $K_{уд}$ – удельная стоимость одного киловатта установки генерирующей мощности, долл/кВт.

Ущерб U возникающий из-за нехватки электроэнергии, при отсутствии аварийного резерва

$$U = P_{рез} T y_a q_{деф}, \quad (2)$$

где y_a – удельный ущерб из-за недоотпуска электроэнергии потребителю, долл/кВт ч; $q_{деф}$ – интегральная вероятность возникновения дефицита мощности.

Очевидно,

$$p = 1 - q_{деф}, \quad (3)$$

Из сопоставления выражений для K и U , учитывая, что $U \geq K$, получаем [1]

$$q_{деф} > \frac{K_{уд}}{y_a T}, \quad (4)$$

где $T = 8760$ ч.

Последнее выражение используется обычно с учетом влияния коэффициента эффективности капитальных вложений $E_{уд}$ в течение одного года, а также годовых расходов на амортизацию α_0 , ремонтные работы и обслуживание $\beta_{экон}$; таким образом, окончательно

$$q_{деф} > \frac{K_{уд} (E_{ном} + \alpha_0 + \beta_{экон})}{y_a \cdot T}. \quad (5)$$

Так, например, при $K_{уд} = 2,75$ долл/кВт, $\alpha_0 + \beta_{экон} = 0,05$, $y_a = 0,125$ долл/кВт ч оказывается $q_{деф} \geq 0,04$ и $p = 1 - q_{деф} = 0,096$. При нормировании значений $p = 0,996$ возможен дефицит электроэнергии у потребителя не более ΔT 35 час/г.

За рубежом в ряде стран принимается $p \approx 0,999$ и соответственно дефицит мощности не более 8 час/г.

2. Оптимизация надежности в промышленном электроснабжении

Для распределительных электрических сетей в качестве основных показателей надежности принимаются также:

- а) вероятность ограничения нагрузки потребителей (т.е., нарушение электроснабжения) в сравнении со значениями в нормальном режиме, либо
- б) вероятность непревышения среднегодового относительного недоотпуска электроэнергии сверх некоторого нормированного значения [2].

В качестве критерия оптимальности принимается минимум суммарных экономических затрат:

$$Z_{над} = E_{ном}^{доп} K_{инв}^{над} (\alpha_0 + \beta_{экон}) K_{инв}^{над} + Y_{\Sigma} \rightarrow \min \quad (6)$$

Здесь $E_{ном}^{доп}$ – нормативный коэффициент доходности инвестиций в надежность, $K_{инв}^{над}$ – сумма инвестиций в повышение надежности, α_0 и $\beta_{экон}$ – коэффициенты амортизационных отчислений и эксплуатационных расходов, Y_{Σ} – среднегодовое значение ущерба от нарушений электроснабжения.

На рис. 1 показаны изменения затрат и их составляющих при изменении надежности электроснабжения.

Из рассмотрения рис. 1 следует, что увеличение надежности системы приводит к уменьшению суммарного ущерба, но требует дополнительных инвестиций в резервирование сети и эксплуатационных расходов. Суммарные затраты имеют достаточно широкую зону оптимальности.

Оптимальная степень надежности находится из равенства [3]

$$\frac{\partial Z_{над}}{\partial K_{над}} = 0, \quad (7)$$

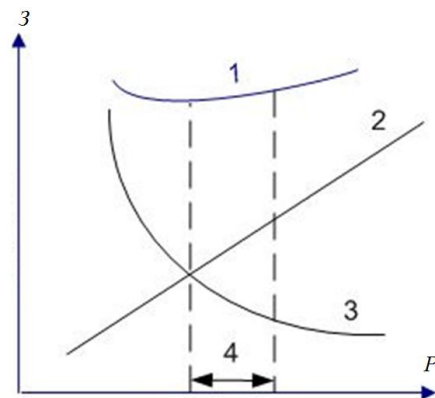


Рис. 1. График изменения затрат и их составляющих при изменении надежности электроснабжения: кривые 1 – минимума суммарных экономических затрат; 2 – инвестиций в повышении надежности; 3 – ущерба от нарушений электроснабжения, 4 – зона оптимальных значений

решение которого

$$\frac{\partial Z_{\text{над}}}{\partial K_{\text{над}}} = E_{\text{норм}}^{\text{доп}} + \alpha_0 + \beta_{\text{экон}} + \frac{\partial Y_{\Sigma}}{\partial K_{\text{над}}} = 0, \quad (8)$$

Отсюда

$$-\frac{\partial Y_{\Sigma}}{\partial K_{\text{над}}} = E_{\text{норм}}^{\text{доп}} + \alpha_0 + \beta_{\text{экон}}. \quad (9)$$

Параметр $\frac{\partial Y_{\Sigma}}{\partial K_{\text{над}}}$ представляет приращение суммарного ущерба на единицу дополнительных инвестиций.

Очевидно, что надежность электроснабжения оказывается оптимальной при равенстве приращения ожидаемого ущерба и суммы доходности инвестиций, амортизационных и эксплуатационных расходов.

Пример. $E_{\text{норм}}^{\text{доп}} = 0,12$, $\alpha_0 = 0,04$, $\beta_{\text{экон}} = 0,09$.

$$\frac{\partial Y}{\partial K_{\text{над}}} = 0,25 \frac{\text{долл./год}}{\text{долл}}.$$

3. Значения индекса надежности

В соответствии с техническими, энергетическими и экономическими особенностями электроэнергетики выделен ряд иерархических уровней надежности электроснабжения потребителей. Территориальные (региональные) распределительные сети 220 – 150 – 110 – 35 – 10(6) кВ, предназначенные для обеспечения отдельных потребителей, отнесены к 3-му уровню. Для электрических сетей этого уровня вероятность бездефицитной работы потребителей была определена И. М. Марковичем величиной $p = 0,996$. В расчетах были приняты следующие показатели: удельная стоимость резервных энергетических мощностей $K_{\text{уд}} = 2,75$ долл. / кВт, удельный ущерб от нарушения электроснабжения $y_0 = 0,075$ долл./кВт·ч.). Значения нормативов вероятности бездефицитного электро-

снабжения сегодня в: США – 0,9997, Франции – 0,9977, Нидерландах – 0,9995, Ирландии – 0,9991, Скандинавских странах – 0,999 [4].

В современных экономических условиях (показатели в ценах 2014 года) удельные капитальные вложения в резервную генерирующую мощность составляет: – $K_{\text{уд}} = 5,43$ тыс. долл. / кВт, удельный ущерб при ограничениях нагрузок в диапазоне 5 – 30 % от максимума нагрузки $y_0 = 4...16$ долл. / кВт·ч; относительное значение резерва генерирующей мощности – 0,9755. Оценочные расчеты индексов надежности субъектов электроэнергетики Украины и России до границ раздела балансовой принадлежности электрических сетей потребителей сегодня ниже показателя 0,996 и находятся в пределах 0,96...0,98; при вероятности расчетных отключений электрических сетей суммарный ущерб потребителям составит 0,5...2 млрд. долл. / год (до 1 % ВВП) [5].

В последние годы, с целью обоснования резерва генерирующих мощностей в некоторых западных странах нормируется интегральная вероятность бездефицитной работы: Франция – 3 часа/год, Великобритания и Нидерланды – 4 часа/год, Германия – 8 часов/год.

Выводы

1. Принятое в СНГ значение индекса надежности, равно 0,996, справедливо лишь при учете амортизационных и эксплуатационных затрат.

2. Обосновано применение в качестве критерия, при равенстве оптимизационных значений индекса надежности, минимума приведенных затрат.

3. Повышение надежности (индекса надежности) сверх значения 0,996 сопряжено со значительными дополнительными расходами в размере не менее 0,25 долл. / год / долл.

Библиографический список

1. Актуальные проблемы надежности систем энергетики : материалы Международного семинара им. Ю.Н. Руденко / Под. ред. Короткевич М.А., и др. - Минск: БНТУ, 2015. – Вып.66 – 454 с.
2. Чукреев Ю.Я., Чукреев М.Ю. Модели оценки показателей балансовой надежности при управлении развитием электроэнергетических систем / Ю. Я. Чукреев, М. Ю. Чукреев. – Сыктывкар: Коми НЦ УрО РАН. – 2014. – 207 с.
3. Непомнящий В.А. Проблемы учета надежности при проектировании и эксплуатации электрических сетей энергосистем / В. А. Непомнящий – СПб.: ПЭИПК, 2010. – 278с.
4. Железко Ю. С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии. Руководство для практических расчетов / Ю. С. Железко – М.: ЭНАС, 2009. – 456 с.
5. Жежеленко И. В. Анализ факторов, влияющих на энергетическую эффективность систем электроснабжения / И. В. Жежеленко, В.Е. Саравас,

Г. Г. Трофимов // Енергетика та електропостачання промислових підприємств. Енергетичний менеджмент. – 2017. – №.1(37). – Кременчуг: из-во КНТУ ім. М. Остроградського, 2017. – С.56-62.

Ключові слова: електричні мережі, енергетична ефективність, втрати електроенергії, якість електричної енергії.

Ключевые слова: электрические сети, энергетическая эффективность, потери электроэнергии, качество электрической энергии.

Keywords: electrical networks, energy efficiency, energy losses, power quality, Total Harmonic Distortion.

Рецензенти:

д.т.н., проф. В. А. Роянов,
д.т.н., проф. А. М. Муха.

Поступила в редколлегию 06.02.2017.
Принята к печати 17.02.2017.

УДК 656.256.3:621.316.9

К. І. ЯЩУК – к.т.н., Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, k.i.yaschuk@gmail.com, ORCID 0000-0002-8606-5790

Д. С. КУРИЛО – студент гр. 930 А, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, BassEastAm@gmail.com

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ РЕЙКОВОГО КОЛА В УМОВАХ НАСИЧЕННЯ КОЛІЙНИХ ДРОСЕЛЬ-ТРАНСФОРМАТОРІВ

Вступ

Модернізація систем і пристроїв залізничної автоматики та телемеханіки останнім часом все більше набуває євроінтеграційної спрямованості. Виникає потреба у створенні необхідних умов для забезпечення безперебійної роботи нової апаратури та зниження кількості відмов застарілої. На цьому шляху досить вагомою проблемою є відмови дросель-трансформаторів (ДТ), а саме насичення їх магнітопроводів. Це явище має досить комплексний характер, адже може виникати за наступних причин.

По-перше, на ділянках стикування доріг з електричною тягою постійного та змінного струмів порушується робота рейкових кіл (РК) внаслідок просторового розтікання зворотного постійного тягового струму від станції стикування по полігону, що примикає до станції з електричною тягою змінного струму. В результаті відбувається підмагнічення постійним потенціалом «рейка – земля» (біля 60 В) магнітопроводів ДТ, що призводить до відмов РК та перекриття світлофорів [1, 2].

По-друге, на проводах контактної мережі за ожеледиці в колі зворотного змінного тягового струму присутні багаточисленні гармонічні складові, серед яких і постійна складова, яка, як відомо, намагнічує осердя ДТ.

По-третє, на проблематичних гірських ділянках доріг внаслідок наявності крутих підйомів зворотний тяговий струм досягає колосальних значень. Для прикладу можна розглянути ділянку Лавочне – Бескид –

Скотарське Львівської залізниці, на якій підйоми досягають 30,4 %, а постійний тяговий струм – 7000 А [3], в результаті чого навіть при нормативній асиметрії 0,12 струм асиметрії досягає 400 А і більше. Це супроводжується насиченням магнітопроводів колійних ДТ типу ДТ-0,6-1000 та ДТ-0,2-1000 (на розглянутій гірській ділянці застосовуються кодові РК 50 Гц), зниженням вхідних опорів по кінцям рейкової лінії (РЛ) і порушенням області стійкості роботи РК автоблокування (АБ).

Мета та завдання

Отже метою роботи є дослідження коефіцієнтів схем заміщення колійних ДТ у режимі підмагнічення їх кіл постійним тяговим струмом для проведення оцінки роботи кодового РК в умовах впливу струму асиметрії.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

У теорії РК дослідження та розрахунки представляють собою роботу магнітних систем дроселів зі схемами заміщення, визначеними на лінійній ділянці основної кривої намагнічення при індукції не більше 0,25...0,5 Тл [3].

До сих пір майже не приділялася увага розрахункам цих вузлів РК у нелінійній постановці задач досліджень, за виключенням небагаточисленних робіт, опублікованих в останні роки в Україні [1, 3, 4]. Ці праці є дуже змістовними, але запропоновані в них методи та моделі є доволі складними та

громіздкими. Для проведення розрахунків роботи РК при підмагнічуванні дроселів потрібно мати відповідні експериментальні залежності магнітних характеристик пристроїв від струму підмагнічення [5, 6]. Для проведення подібних експериментів пошуку розрахункових параметрів схем заміщення (СЗ) дроселів потрібні потужні джерела постійного струму [7], що значно ускладнює процес. Тому у роботі запропоновано непрямий метод знаходження електричних параметрів чотириполюсників схем заміщення колійних ДТ.

Дослідження коефіцієнтів чотириполюсників рейкового кола

Суть запропонованого спрощеного методу полягає в отриманні коефіцієнтів схеми заміщення ДТ для різних величин модулів опорів кола намагнічування z_3 , що змінюються у процесі підмагнічення магнітопроводів ДТ постійним струмом (рис. 1 а).

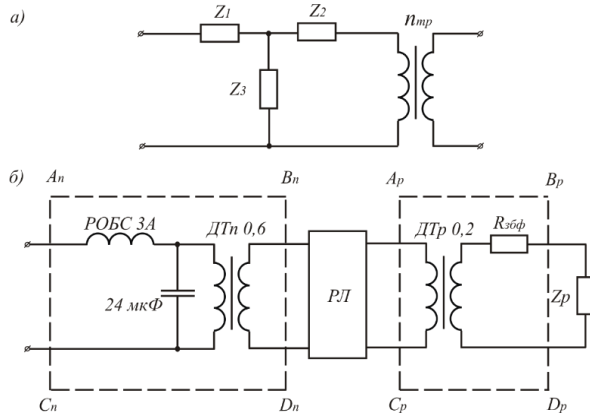


Рис. 1. Схема заміщення апаратури СЦБ:
а) дросель-трансформатору; б) кодового РК 50 Гц

Метод розрахунку має наступні припущення:

- еквівалентна схема заміщення ДТ представлена Т-подібною та ідеальною схемами трансформатору з відповідними коефіцієнтами;

- опори z_1 та z_2 , що враховують втрати у ДТ, вважаємо неперервними, тоді схема заміщення виходить симетричною, внаслідок чого спрощуються розрахунки.

У [8] приведені значення опорів, що входять до складу симетричної СЗ ДТ-0,2-1000 та ДТ-0,6-1000, яка застосовується у схемі кодового РК частотою (рис. 1 б), що підлягає розрахунку.

Приведені дані отримані з використанням довідкових величин коефіцієнтів схем заміщення колійних ДТ, що використовуються для розрахунків кодового РК. Згідно Т-подібної схеми заміщення ДТ відомі коефіцієнти чотириполюсників ДТ.

$$\begin{bmatrix} A_{\Pi} & B_{\Pi} \\ C_{\Pi} & D_{\Pi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} n_{\Pi} & 0 \\ 0 & \frac{1}{n_{\Pi}} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} A_{\Pi\Pi} & B_{\Pi\Pi} \\ C_{\Pi\Pi} & D_{\Pi\Pi} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

$$A_{\Pi} = n_{\Pi} \cdot A_{\Pi\Pi}, \quad B_{\Pi} = n_{\Pi} \cdot B_{\Pi\Pi},$$

$$C_{\Pi} = \frac{1}{n_{\Pi}} \cdot C_{\Pi\Pi}, \quad D_{\Pi} = \frac{1}{n_{\Pi}} \cdot D_{\Pi\Pi},$$

де $A_{\Pi\Pi}$, $B_{\Pi\Pi}$, $C_{\Pi\Pi}$, $D_{\Pi\Pi}$ – коефіцієнти чотириполюсника СЗ живлячого кінця; $n_{\Pi} = 15$ – коефіцієнт трансформації ДТ живлячого кінця (ДТп).

Знаючи коефіцієнти ДТп, знаходимо коефіцієнти (1).

Аналогічно запишемо матричні рівняння для визначення коефіцієнтів чотириполюсника релейного кінця:

$$\begin{bmatrix} A_p & B_p \\ C_p & D_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} n_p & 0 \\ 0 & \frac{1}{n_p} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} A_{\Pi p} & B_{\Pi p} \\ C_{\Pi p} & D_{\Pi p} \end{bmatrix}, \quad (2)$$

де $A_{\Pi p}$, $B_{\Pi p}$, $C_{\Pi p}$, $D_{\Pi p}$ – коефіцієнти чотириполюсника СЗ релейного кінця; $n_p = 23$ – коефіцієнт трансформації ДТ релейного кінця (ДТр).

Із СЗ (рис. 1 б) знаходимо значення коефіцієнтів ДТ-0,6-1000:

$$A_{\Pi\Pi} = \frac{A_{\Pi}}{n_{\Pi}} = \frac{15,5 \cdot e^{-j3^{\circ}10'}}{15} = 1,033 \cdot e^{-j3^{\circ}10'},$$

$$\begin{aligned} B_{\Pi\Pi} &= \frac{B_{\Pi}}{n_{\Pi}} = \frac{1,815 \cdot e^{-j73^{\circ}}}{15} = \\ &= 0,1134 \cdot e^{-j73^{\circ}}, \end{aligned} \quad (3)$$

$$C_{\text{ТП}} = C_{\text{П}} \cdot n_{\text{П}} = 0,135 \cdot e^{-j80^\circ} \cdot 15 = \\ = 2,025 \cdot e^{-j80^\circ},$$

$$D_{\text{ТП}} = D_{\text{П}} \cdot n_{\text{П}} = 0,08 \cdot e^{j1,5^\circ} \cdot 15 = 1,2 \cdot e^{j1,5^\circ}.$$

Аналогічно коефіцієнти ДТ-0,2-1000 знаходяться наступним чином:

$$A_{\text{ТР}} = A_{\text{Р}} \cdot n_{\text{Р}} = 0,152 \cdot e^{-j3^\circ} \cdot 23 = 0,529 \cdot e^{-j3^\circ},$$

$$B_{\text{ТР}} = \frac{B_{\text{Р}}}{n_{\text{Р}}} = \frac{0,842 \cdot e^{j61^\circ}}{23} = 0,0366 \cdot e^{j61^\circ}, \quad (4)$$

$$C_{\text{ТР}} = C_{\text{Р}} \cdot n_{\text{Р}} = 0,244 \cdot e^{-j82^\circ} \cdot 23 = 5,612 \cdot e^{-j82^\circ},$$

$$D_{\text{ТР}} = \frac{D_{\text{Р}}}{n_{\text{Р}}} = \frac{23 \cdot e^{-j1^\circ}}{23} = 1 \cdot e^{-j1^\circ}.$$

У [8] приведені коефіцієнти схеми заміщення основної обмотки, на основі яких можна знайти значення опорів Т-подібної СЗ, приведеної до основної обмотки ДТ. Коефіцієнти чотириполієвника Т-подібної СЗ (рис. 1 б) знаходяться за виразами:

$$A_{\text{ТП}} = 1 + \frac{z_1}{z_3}; \quad B_{\text{ТП}} = 2z_1 + \frac{z_3 \cdot z_2}{z_1}; \quad (5)$$

$$C_{\text{ТП}} = \frac{1}{z_3}; \quad C_{\text{ТП}} = 1 + \frac{z_2}{z_3}.$$

Підставляючи сюди значення коефіцієнтів СЗ, знайдемо значення складових СЗ основної обмотки ДТ.

Дослідження роботи рейкового кола в умовах підмагнічення магнітопроводів ДТ

Перейдемо до розрахунку кодового РК частотою 50 Гц [8, 9]. Для розрахунку використовуються наступні вихідні дані:

– коефіцієнти чотириполієвника РЛ при $f_{\text{С}} = 50$ Гц;

– довжина рейкового кола $l_{\text{РК}} = 2600$ м;

– опір ізоляції РЛ з урахуванням опор контактної мережі для літнього періоду року $r_{\text{із літо}} = 0,9$ Ом·км;

– коефіцієнти чотириполієвника РЛ влітку:

$$A = D = 3,9 \cdot e^{j75^\circ}; \quad B = 3,4 \cdot e^{j108^\circ};$$

$$C = 4,722 \cdot e^{j43,5^\circ}.$$

– опір ізоляції РЛ для зимового періоду року $r_{\text{із зима}} = 50$ Ом·км;

– коефіцієнти чотириполієвника РЛ взимку:

$$A = D = 1,024 \cdot e^{j3^\circ}; \quad B = 2,1 \cdot e^{j66^\circ};$$

$$B = 0,052 \cdot e^{j1^\circ}.$$

– опір опор контактної мережі $r_{0 \text{ min}} = 2$ Ом·км;

– для колійного приймача реле ИМВШ-110 з коефіцієнтом запасу $k_3 = 1,2$ напруга спрацювання $U_{\text{Р}} = 3,84$ В;

– робочий струм реле $I_{\text{Р}} = 0,0233$ А;

– опір рейок $z_{\text{Р}} = 0,8 \cdot e^{j65^\circ}$ Ом;

– коефіцієнт повернення $k_{\text{ВН}} = 0,75$;

– коефіцієнт надійного повернення $k'_{\text{ВН}} = 0,625$;

– ємність обмежуючого конденсатору $C_{\text{П}} = 24$ мкФ;

Коефіцієнти чотириполієвника ДТп (без підмагнічування):

$$A_{\text{П}} = 15,5 \cdot e^{-j3^\circ 10'}; \quad B_{\text{П}} = 1,815 \cdot e^{j73^\circ};$$

$$C_{\text{П}} = 0,135 \cdot e^{-j80^\circ}; \quad D_{\text{П}} = 0,08 \cdot e^{j1,5^\circ}.$$

Коефіцієнти чотириполієвника ДТр (без підмагнічування):

$$A_{\text{Р}} = 0,052 \cdot e^{-j3^\circ}; \quad B_{\text{Р}} = 0,842 \cdot e^{j61^\circ};$$

$$C_{\text{Р}} = 0,244 \cdot e^{-j86^\circ}; \quad D_{\text{Р}} = 23.$$

Використовуючи розрахункові параметри, розрахуємо нормальний режим роботи (без підмагнічування). Коефіцієнти загальної схеми заміщення живлячого та релейного кінців РК знайдені з добутку матриць коефіцієнтів чотириполієвників:

$$A_{\text{Н}} = 16,424 e^{j1^\circ}; \quad B_{\text{Н}} = 4,81 e^{j81^\circ}$$

$$C_{\text{Н}} = 0,031 e^{j31^\circ}; \quad D_{\text{Н}} = 0,067 e^{j5^\circ}$$

$$A_{\text{К}} = 0,051 e^{-j3^\circ}; \quad B_{\text{К}} = 6,65 e^{j3,5^\circ}$$

$$C_{\text{К}} = 0,243 e^{-j82^\circ}; \quad D_{\text{К}} = 40 e^{j47,5^\circ}$$

Результати розрахунку:

– напруги та струми в кінці та на початку РЛ

$$U_K = 0,354 \text{ В}; I_K = 1,78e^{-j85^\circ} \text{ А};$$

$$U_H = 7,25e^{j49^\circ} \text{ В}; I_H = 8,363e^{j16^\circ} \text{ А};$$

– напруга та струм живлячого трансформатора

$$U_{ПТ} = 149 \cdot e^{j62^\circ} \text{ В};$$

$$I_{ПТ} = 0,793 \cdot e^{j21^\circ} \text{ А}, \text{ перемножуючи на}$$

$$k_{НС} = 1,1, \text{ отримаємо } U_{ПТ} = 164,9 \cdot e^{j62^\circ} \text{ В};$$

$$I_{ПТ} = 0,872 \cdot e^{j21^\circ} \text{ А};$$

– опір передачі для зимового періоду:

$$z_{П \min} = k'_{ТН} k'_{ТК} (z_{ВХК} + z_l + z_{ВХН}) = 3220 \cdot e^{j3^\circ}.$$

– опір передачі для літнього періоду:

$$z_{П \max} = k'_{ТН} k'_{ТК} (A \cdot z_{ВХК} + B + (C \cdot z_{ВХН} + D) \cdot z'_{ВХН}) = 6416,6e^{j62^\circ};$$

$$k = \frac{z_{П \min}}{z_{П \max}} = 2;$$

– максимальне значення напруги на колійному приймачі згідно регулювальних таблиць дорівнює: $U_{ПП} = 2 \cdot 3,84 = 7,65 \text{ В}$.

Ці розрахункові значення є базовими для оцінки результатів підмагнічування ДТ.

Зімітуємо «підмагнічування» магнітопроводів ДТ-0,6-1000 та ДТ-0,2-1000. Умовно вважаємо, що вони насичуються одночасно. Для ДТ-0,6-1000 прийемо $z_3 = 0,35 \cdot e^{j81^\circ}$, інші опори z_1, z_2 залишимо такими ж.

Використовуючи (3), знайдемо коефіцієнти трансформатора ДТ-0,6-1000:

$$A_{ПТ} = 1 + \frac{0,045e^{j9^\circ}}{0,35e^{j81^\circ}} = 1,09e^{j1^\circ};$$

$$B_{ПТ} = 2z_1 + \frac{z_3 \cdot z_2}{z_1} = 0,096e^{j84^\circ} \text{ Ом};$$

$$C_{ПТ} = 2,86e^{-j81^\circ} \frac{1}{\text{См}};$$

$$D_{ПТ} = 1,12e^{-j1^\circ}.$$

Далі використовуємо вище знайдені коефіцієнти ДТ-0,6-1000 для

$$z_{3 \text{ ДТ-0,6}} = 0,35 \cdot e^{j81^\circ} \text{ Ом};$$

$$A_{ПТ} = 16,8e^{j10^\circ}; B_{ПТ} = 1,44e^{j85^\circ} \text{ Ом}$$

$$C_{ПТ} = 0,191e^{-j81^\circ} \frac{1}{\text{См}}; D_{ПТ} = 0,075e^{-j10^\circ}.$$

Аналогічним чином отримаємо коефіцієнти чотириполюсника СЗ ДТ-0,2-1000 для $z_{3 \text{ ДТ-0,2}} = 0,12e^{j81^\circ} \text{ Ом}$:

$$A_{ПТ} = 0,0488e^{j1^\circ}; B_{ПТ} = 0,759e^{-j17^\circ} \text{ Ом}$$

$$C_{ПТ} = 0,362e^{-j81^\circ} \frac{1}{\text{См}}; D_{ПТ} = 25,83e^{-j10^\circ}.$$

Були отримані параметри РЛ при нормальному режимі роботи:

– напруга і струм в кінці РЛ:

$$U_K = 0,332 \text{ В}; I_K = 2,52e^{-j67^\circ} \text{ А};$$

– напруга і струм на початку РЛ:

$$U_H = 9,92e^{j44,5^\circ} \text{ В}; I_H = 11,1e^{j13^\circ} \text{ А}.$$

– напруга та струм у додатковій обмотці ДТ-0,2-1000:

$$U_{\text{дДТ-0,2}} = 167e^{j16,5^\circ} \text{ В}; I_{\text{дДТ-0,2}} = 2,37 \text{ А}.$$

– напруга та струм на живлячому трансформаторі:

$$U_{ПТ} = 217e^{j28^\circ} \text{ В}; I_{ПТ} = 1,37e^{-j24^\circ} \text{ А}.$$

В результаті розрахунків отримана залежність напруги на колійному приймачі $U_{КП}$ від величини струму асиметрії (рис. 2) при опорах ізоляції [10, 11] у зимовий (верхня крива) та літній період (нижня крива).

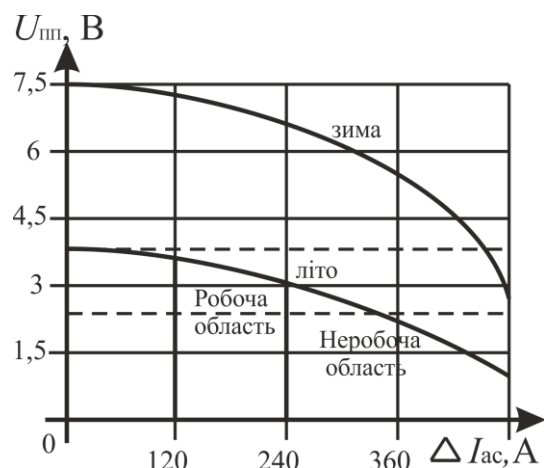


Рис. 2. Залежність напруги на колійному приймачі від струму асиметрії для опорів ізоляції у зимовий та літній період

Висновки

З отриманих залежностей (рис. 2) можна зробити висновки, що взимку вірогідність відмови РК значно зменшується, адже не дивлячись на те, що напруга на колійному приймачі має тенденцію до зниження (верхня крива), присутній деякий запас по напрузі. Найбільш вірогідні відмови влітку, адже, як видно з отриманого графіку, $U_{\text{пп}}$ знижується нижче порогу спрацювання, що є небажаним негативним явищем.

Кодове РК 50 Гц працює у вкрай важких умовах, що було встановлено в результаті проведеного дослідження з застосуванням запропонованого спрощеного методу розрахунку коефіцієнтів чотириполюсника ДТ і РК і розрахунку нормального режиму роботи. У цьому випадку потрібно проводити профілактичні роботи зі зниження коефіцієнту асиметрії та застосовувати відповідні технічні рішення.

Запропонований непрямий метод може використовуватися для корегування розрахунків режимів роботи рейкових кіл з урахуванням насичення колійних ДТ.

Бібліографічний список

1. Защита рельсовых цепей в зоне стыкования систем электротяги / А. П. Разгонов, В. А. Дьяков, А. Ю. Журавлев, С. А. Разгонов // Автоматика, связь информатика. – Москва, 2009. – № 9. – С.19–22.
2. Пат. 84968 Україна, МПК В61L 1/00. Пристрій захисту рейкових кіл ділянки тяги змінного струму від впливу зворотного постійного струму / А. П. Разгонов, А. Ю. Журавльов, А. Ю. Лебедев; заявник та патентовласник Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – № U 2013 04391; заявл. 08.04.2013; опубл. 11.11.2013, Бюл. № 21. – 6 с.
3. Разгонов А. П. Дослідження роботи рейкових кіл та системи автоблокування на перевальних ділянках з крутим профілем / А. П. Разгонов, К. І. Ящук // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2011. – № 37. – С. 186 – 190.

4. Разгонов А. П. Математическая модель перемещения ферромагнетиков в рельсовых цепях / А. П. Разгонов, А. Ю. Журавлев, С. А. Разгонов // Транспорт Урала. – 2008. – № 1 (16). – С. 35–39.
5. Журавльов А. Ю. Про метод розрахунку рейкових кіл з нелінійними ферромагнетиками в умовах впливу завад тягового струму / А. Ю. Журавльов // Наука та прогрес транспорту. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2016. – Вип. 1(61). – С. 19–29.
6. Разгонов А. П. О математическом описании петли гистерезиса ферромагнитных сердечников / А. П. Разгонов, А. Ю. Журавлев, Е. И. Ящук // Материалы IV Международной научно-практ. конф. «Электромагнитная совместимость и безопасность на железнодорожном транспорте» / ДИИТ. – Днепропетровск, 2011. – С. 66.
7. Бабаєв М. М. Аналіз впливу зовнішніх факторів на роботу рейкового кола / М. М. Бабаєв, А. А. Прилипко // Зб. наук. пр. УкрДАЗТ. – 2007. – Вип. 80. – С. 102–113.
8. Аркатов В. С. Рельсовые цепи. Анализ работы и техническое обслуживание / В. С. Аркатов, Ю. А. Кравцов, Б. М. Степенский. – Москва: Транспорт, 1991. – 296 с.
9. Бадер М. П. Электромагнитная совместимость: учеб. для вузов ж.-д. трансп. / М. П. Бадер. – Москва: УМК МПС, 2002. – 638 с.
10. Разгонов А. П. Вплив тягового струму асиметрії на роботу рейкових кіл / А. П. Разгонов, К. І. Ящук, А. Ю. Журавльов // Матеріали III міжнародної науково-практичної конференції «Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті EMCS-R 2011». – Д.:ДНУЗТ, 2011. – С.68.
11. Марквардт К. Г. Электроснабжение электрифицированных железных дорог / К. Г.

Марквардт. – Москва: Транспорт, 1982. – 528 с.

Ключові слова: рейкові кола, насичення дросель-трансформаторів, струм асиметрії, опір ізоляції, нормальний режим, гірська ділянка.

Ключевые слова: рельсовые цепи, насыщение дроссель-трансформаторов, ток асимметрии, сопротивление изоляции, нормальный режим, горный участок.

Keywords: track circuits, saturation of the impedance bonds, current asymmetry, insulation resistance, normal mode, mountain site.

Рецензенти:
проф., д.т.н., А. П. Разгонов,
проф., д.т.н., А. М. Муха.

Надійшла до редколегії 03.04.2017.
Прийнята до друку 10.04.2017.

БЕЗПЕКА НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ

БЕЗОПАСНОСТЬ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

SAFETY ON RAILWAY TRANSPORT

UDC 629.4.012

V. I. HAVRYLIUK – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Prof., Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, vl.havryliuk@gmail.com, ORCID 0000-0001-9954-4478

THE METHOD FOR DETECTING DEFECTS IN MOVABLE ARMATURE OF THE SIGNALLING RELAY

Introduction

Despite significant progress in the development of microelectronic rail automatic systems observed in recent decades, relay-contact devices are still widely used in railway signalling systems, that are fundamental to the safe operation of railways and must perform predictably and reliably [1-6]. Thus, signalling relays used for safety-critical or safety-related applications in railway signalling systems should be properly maintained and tested to ensure their performing safely and reliably throughout their expected service life. Signalling relays should be derived from systems and inspected periodically for any signs of damage, distortion, corrosion, condensation or ingress of moisture, dirt, insects, etc. During relay test sets there should be measured the operating voltage, contact and coil resistances, switching time, etc., and checked the proper operation of the relay armature and contacts, that demands to removing relay cover. Mostly tests are performed manually. Prompt diagnostics of relay fault is critical not only for the safe operation of signalization systems, but also for the reduction of maintenance cost. To automation of the measurements of relay electrical and time parameters the some methods were proposed [1, 4, 6]. The method for relay armature condition monitoring, based on analyzing of transition current flowing in relay coil during its energizing, proposed in [6], showed low sensitivity of transition current characteristic to the armature fault. In order to improve fault feature extraction, the mathematical model of electromechanical processes in the relay during its energizing, was proposed in [4], but simulation results obtained by

this model were not accurate enough due to lack of correct analytical expressions for air gap reluctance, magnetic flux leakage, eddy currents in relay core and armature, etc. The artificial neural networks (ANN) used for fault recognition by analysis relay transient currents showed promising results, but a huge amount of experimental data was necessary for ANN learning [1]. Preliminary processing of the transient current for extraction of the relay faults features can accelerate ANN learning process. Last decades the wavelet transform was widely and successfully used for the fault feature extraction.

The purpose of the work is to develop a method for revealing of the movable armature defects of a signalling relay based on the measurement of the transient current when the relay is turned on and off with subsequent currents' processing using wavelet transform.

In this connection, the paper is composed as follows: a brief review of electromechanical processes in the railway signalling relay and wavelet transform theory, measurement technique, results and discussion.

A review of electromechanical processes in the signalling relay

The railway neutral relay consists of a coil with iron core, an iron yoke, a movable iron armature mechanically linked to sets of moving contacts, and contact springs [7, 8]. The contacts of signalling relay has so-called change-over or double-throw structure which include normally open (NO) or front contacts and normally closed (NC) or back contacts, and also a common contacts. Signalling relays differ from most other types of electromagnet-

ic relays by lack of springs, and when relay de-energized the armature returns in initial place by the force of the earth's gravity.

Typical time dependences of the transient current flowed through relay coil during voltage switching is shown in fig. 1.

The transient current plot can be divided into six segments. First three segments (from $t = 0$ to $t = t_3$) correspond to relay energizing, and second three (from $t = t_3$ to $t > t_5$) correspond to its de-energizing. At first segment from moment $t = 0$ to $t = t_1$ the relay's armature doesn't move yet, and relationship for the relay energy balance can be written in a form [7, 8].

$$W_E(t) = W_{EL}(t) + W_{FL}(t) + W_{FS}(t), \quad (t \in t \dots t_1) \quad (1)$$

where $W_E = \int_0^t U i(t) dt$ is a total energy supplied by the electric source; $W_{EL} = \int_0^t i(t)^2 R dt$ – the energy that dissipated in the form of heat owing to active coil resistance;

$$W_{FS} = \int_0^{\Psi(t)} U d\Psi(t) = \int_0^t U \frac{d\Psi(t)}{dt} dt$$

is the energy stored in the magnetic and electric fields; W_{FL} is the energy loss due to hysteresis, eddy currents, and dielectric losses, etc.; U is voltage applied to relay coil; R is active resistance of relay coil; $i(t)$ is instantaneous current value; $\Psi(t)$ is instantaneous interlinkage flux in relay core.

The transient current $i(t)$ at first segment is increased with time approximately as exponential function. Second segment from t_1 to t_2 corresponds to armature movement, and during this time the part of the total energy, supplied by the electric source W_E and the energy stored in the magnetic and electric fields W_{FS} are transferred into mechanical work W_M of the armature movement. At time t_2 the relay

armature is completely attracted to the core and transient current $i(t)$ is increased with time approximately as exponential function again.

The movement of the armature during relay switching can be written in according to Newton's law in the form

$$m_r(x) \ddot{x} + r(x) \dot{x} + f_r(x) x = \pm (F_m(x) - F_c(x)), \quad (2)$$

where m_r is the equivalent reduced mass of all movable relay components; x – instantaneous coordinate of the mass centre; $r(x)$ – equivalent friction force, that reduced to mass center; $f_r(x)$ – equivalent elastic force of the contact springs; $F_m(x)$ – equivalent force of the magnetic attraction of the relay armature to the core; $F_c(x)$ – the mechanical force returning armature to initial place; the sign "+" or "-" is used respectively for the anchor movement toward the core, or in the opposite direction.

During the armature movement, contacts and springs mechanically connected to it are bent and the elastic forces in (2) are changing its values. As a result the some tiny features appear at the second segment of the relay transient current. These features can't be extracted properly by the traditional spectral methods such as fast Fourier transform, short time Fourier transform, etc., because of non-periodic transient current. For analysis such non-periodic non stationary signals the wavelet transform is widely and successfully used last two decades.

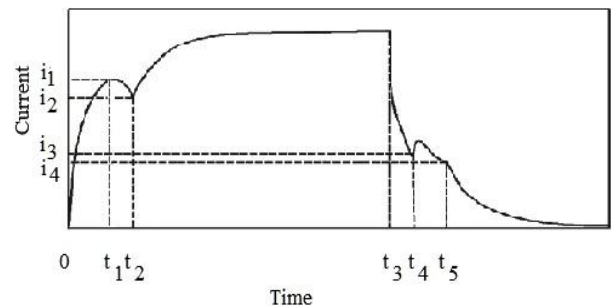


Fig. 1. Typical time dependence of the current in relay coil during relay energizing – de-energizing cycle

Review of wavelet transform theory

The wavelet theory was first put forward by Morlet in 1984 [9]. Wavelets are mathematical functions that cut up data into different frequency components but different from short time Fourier transform (STFT) in that each component is studied with a resolution matched to its scale. They are suitable for analyzing physical situations where the signal contains discontinuities and sharp spikes. The commonly used wavelet algorithms are continuous wavelet transform (CWT) [9-13], discrete wavelet transform (DWT) [14], and discrete wavelet packet transform (DWPT) [15].

Generally, the Continuous Wavelet Transform of a finite energy signal $f(t)$, defined in $L^2(R)$ space, can be written as

$$\begin{aligned} \text{CWT}_\Psi f(a, b) &= \langle f(t), \Psi_{a,b}(t) \rangle = \\ &= |a|^{-\frac{1}{2}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \end{aligned}$$

where b and a are the so-called translation (or time location) factor and the scaling (or dilation) factor, respectively, $|a|^{-1/2}$ is for energy normalization across the different scales, $\Psi_{ab}(t)$ is a function obtained by dilations and translations of a so-called "mother wavelet" $\Psi(t)$. The CWT is characterized as redundant transform over representation of a signal in a form of a two-dimensional array.

In DWT the mother wavelet dilate and translate discretely by selecting $a = a_0^m$, and $b = nb_0 a_0^m$, where a_0 and b_0 are fixed values with $a_0 > 1$, $b_0 > 0$, $m, n \in \mathbb{Z}$, and \mathbb{Z} is the set of positive integers. Then the corresponding discrete wavelet transform is given by

$$\begin{aligned} \text{DWT}_\Psi f(m, n) &= \langle f(t), \Psi_{m,n}(t) \rangle = \\ &= a_0^{-\frac{m}{2}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \Psi\left(\frac{t - nb_0 a_0^m}{a_0^m}\right) dt. \end{aligned}$$

DWT provides a decomposition of a signal into sub bands with a bandwidth that increases linearly with frequency. In the case of dyadic transform ($a_0 = 2$ and $b_0 = 1$), each spectral band is approximately one octave wide. In this form, DWT can be viewed as a special kind of spectral analyzer. The algorithm of multi-resolution signal decomposition introduced by Mallat [14] consists of a series decompositions of the signal (with length $2n$) into two components: detail coefficients D_j , which capture the high frequency low-scale information in the original signal and approximation coefficients A_j , which capture the low frequency high-scale information in the original signal, both components with a reduced size of $2n - j$, where j is the decomposition level. Then the detail coefficients D_j remain unchanged while the approximation coefficients A_j are decomposed into new detail and approximation coefficients. This process repeats until the decomposition level reaches.

The wavelet packet transform (WPT) can be viewed as a generalization of the classical wavelet transform, which provides a multi-resolution and time-frequency analysis for non-stationary signal. A low and high pass filter is repeatedly applied to the function, followed by decimation by 2, to produce complete sub band tree decomposition to some desired depth. Because WPT not only decomposes the approximations of the signal but also details, it holds the important information located in higher frequency components than WT in certain applications.

Thus, with the use of WPT, a better frequency resolution can be obtained for the decomposed signal. DWPT recursive decomposition can be expressed as [14]:

$$\begin{cases} d_{0,0}(t) = f(t), \\ d_{i,2j-1}(t) = \sqrt{2} \sum_k h(k) d_{i-1,j}(2t-k), \\ d_{i,2j}(t) = \sqrt{2} \sum_k g(k) d_{i-1,j}(2t-k), \end{cases}$$

where $h(k)$ and $g(k)$ are high-pass and low-pass filter respectively, and $d_{i,j}$ is the reconstruction coefficients of wavelet packet decomposition (WPD) at the i -th level for the j -th node.

Measurement technique

For investigations were taken ten different signalling neutral relays, each of them was in operable condition. After full cycle measurements with them, there were artificially created certain mechanical defects in a form of curved contact springs, or by fixed additional weights on the relay armature, etc. All measurements were repeated for various voltages. In this work there are presented results only for one type of signalling relay. The results for other relays had similar character and were omitted in the work for brevity. The type of investigated relay was NMSH 4-600, with eight double-throw contact sets, nominal coil resistance 600 Ohms, nominal switching voltage 12 V. There were artificially created four types of mechanical defects in the relays: completely dismantled and removed contact sets (type A), with curved all contact springs (type B), with curved common contact spring toward to back contact (C), with curved common contact spring toward to front contact (D).

Relay energized by connecting its coil to stabilized voltage source, and de-energized by disconnecting of the coil from voltage source and short-circuiting coil terminals. Transient currents through coil and relay contacts were digitized by a multi-channel ten-bit ADC with a sampling frequency 20 kHz and recorded by PC. To measure current through contacts the front and the back contacts of each group were connected to each other, so the resulting current through the contacts was interrupted only when common contact switched between NC and NO contacts. Obtained results were processed with MatLab.

Results and discussion

The time dependences of the transient currents in the relay coils and contacts during relay energizing – de-energizing are shown in fig. 2. Generally, measured current-time curves have typical form as in fig. 1. For relays of (B), (C), (D) types with curved contact springs some additional features appeared at the second segment of transient current plots. For relays with curved contacts the switching time was different compared to the time for relay without defects.

To compare the transient current behavior for the relays with different faults of contacts their characteristics were shown in the same axes in fig. 3. As can be seen from fig. 3, the transient current for the first and third segments that corresponded to unmovable anchor, increased with time approximately as exponential function. The time constants τ calculated by fitting of the transient current at first segment by exponential function ($\exp(-t/\tau)$) were practically independent on contact springs faults (table 1), but strongly depended on condition of relay coil and magnetic circuit. Also the time constant values were approximately equal to the values calculated as $\tau_c = L/R$, where L is coil inductance. Such behavior allows us to conclude that time constants τ for first segment can be used for monitoring of relay electromagnetic system condition.

Table 1

Time constant values

Relay	(A)	(B)	(C)	(D)
Time constant	0.127	0.134	0.131	0.126

The faults caused by defects of armature and contact springs led to the appearance of additional features on the second segment of the transient current which corresponded to the movement of the armature (fig. 3).

In the case of incipient faults, the features caused by defects of armature and contact springs had small values and for their identification the wavelet transform was used, that allowed to clearly extract diagnostic faults features. The CWT was computed using the "Mexican hat" wavelet, DWT and DPWT by using the "db2" wavelet. The wavelet types were chosen to achieve the high resolution of wavelet transform.

CWTs were carried out at scales 1 to 64, DWTs and DPWTs were performed up to the fourth level of decomposition. CWT of a D1 signal is a matrix containing the wavelet coefficients for the different scale and translation parameters. For better extraction of the faults features, the matrix of the wavelet coefficients energies were calculated as

$$E_{\Psi,a,b} = \|CWT_{\Psi}f(a,b)\|^2$$

$$E_{\Psi,m,n} = \|DWT_{\Psi}f(m,n)\|^2$$

$$E_{j,k} = \|d_{i,j,k}\|^2$$

The time dependences of transient current for the relays of (A), (B) types and respective to them energies of the CWT coefficients at scale parameter $a = 64$ are shown in fig. 4.

For the relay with completely dismantled and removed contact sets (type A) the transient current curve was smooth with one singularity at $t \approx 0.19$ sec., which was corresponded to the moment when armature was completely attracted to the core. The CWT energy plot shows the sharp spike at this time. For relay with curved contact springs (type B) some additional features appeared on the transient current plot and their positions are clearly distinguishable by using CWT (fig. 4).

The time dependences of transient currents for the relays of (B), (C), (D) types with different contact springs faults, and respective to them DWT energies of detailed coefficients $E_{\Psi,m,n}$ at fourth level (D4) and DWPT energies $E_{j,k}$ of the coefficients for 2-nd node at 4-th level (4,2) are shown in fig. 5.

The spikes which corresponded to contact springs faults were clearly distinguishable on

the DWT and DWPT energy plots. The relative differences in values of spikes for DWT and DWPT energy plots were caused by different scale parameters used in these transforms.

Conclusion

With the purpose of developing a method for detecting defects in movable armature of the signalling relay, the time dependences of transient currents during relays switching have been investigated for relay in various technical conditions: in operable condition, as well as with artificially created defects (bends) of contact springs. The measured data have been analyzed in the time and frequency domain using the wavelet transform modifications (CWT, DWT, DWPT).

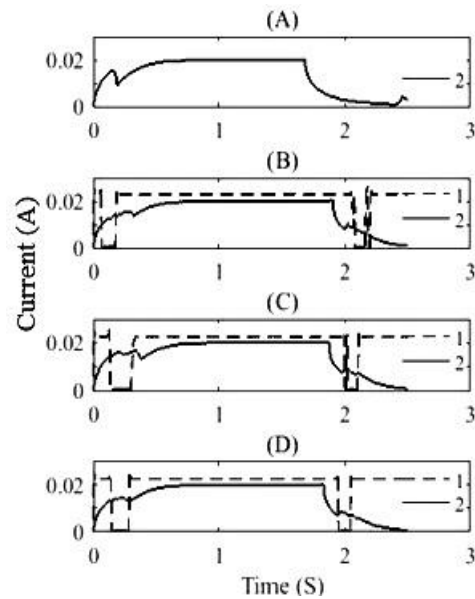


Fig. 2. The time dependences of the transient currents in the contacts (1) and relay coils (2) during relay energizing – de-energizing. The titles above plots denote relay types

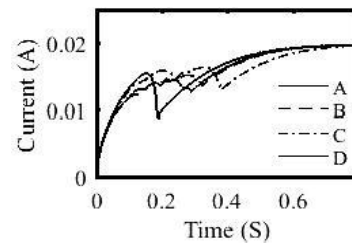


Fig. 3. The time dependences of the transient currents during relay energizing

The analysis of the transient currents was carried out using segmentation of the current characteristics of the relay. The relay transient current at first and third segments which corresponded to unmovable anchor state, increase with time during relay switch-on approximately as the exponential function.

The time constants of the relay current were calculated by approximating the measured current-time dependences at the first segment of the current curve by exponential function.

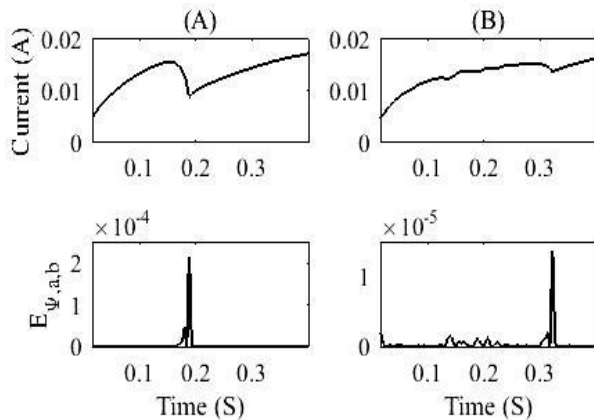


Fig. 4. The time dependences of transient currents for the relays of (A), (B) types and respective to them the energies of the CWT coefficients

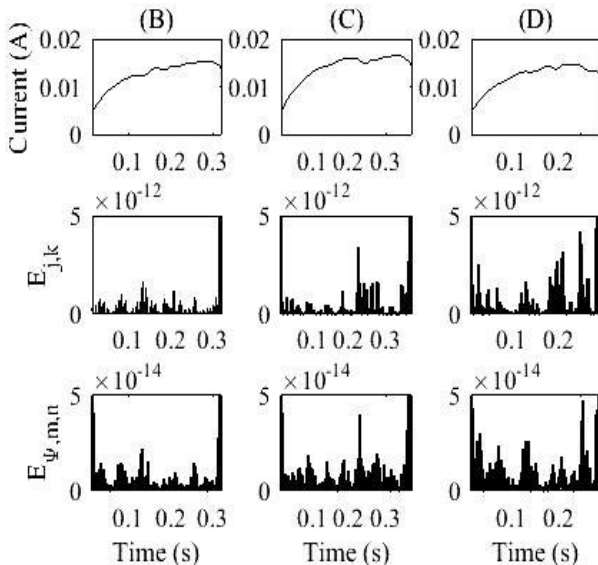


Fig. 5. The time dependences of transient currents for the relays of (B), (C), (D) types and respective DWT energies of detailed coefficients at fourth level (D4) and DWPT energies of coefficients for 4-th level, 2-nd node (4,2)

The presence of defects in the movable armature of the relay had practically no effect on the values of calculated time constants.

However, these values strongly depended on the technical condition of the relay magnetic circuit and the relay coil, as well as on the voltage applied to the coil terminals. This behavior of the relay time constant on the first segment of the relay current characteristic makes it possible to use this parameter to monitor the technical state of the electromagnetic relay system.

Defects of the armature and contact springs led to the appearance of additional features at the second segment of the relay transient current, which corresponded to the movement of the armature. The magnitude of these features on the current curve depended on the value of bending of the relay's contact spring. The width and appearance time of the features at the second segment of the current-switching curve correspond to the non-simultaneous switching of the relay contacts. To determine the amplitude (energy) of these features (peaks) on transient current curve, their duration and the times of appearance, the wavelet transform was used. The results of investigations confirmed the possibility of determining the defects of the relay movable armature by using wavelet analysis of the second segment of the relay transient current characteristic.

References

1. Dub, V. Development of neural network program for automated testing of railway contact blocks / V. Dub, V. Gavriluk // Archives of Transport System Telematics. – 2009. – Vol. 2. – Iss. 2. – P. 16–18.
2. Laboreo, E. R. A new model of electromechanical relays for predicting the motion and electromagnetic dynamics / E. R. Laboreo, C. Sagues, S. Llorente // IEEE Transactions on Industry Applications. – 2016, Jan. – P. 1–9.
3. Wattiaux, D. Modelling of the dynamic behavior of electromechanical relays for the analysis of sensitivity to shocks and vibrations / D. Wattiaux, O. Verlinden // Experimental Mechanics. – 2011/ – Vol. 51. – Iss. 9. – P. 1459–1472.

4. Gavriluk, V. Diagnostics of relay-contact devices of railway automatics / V. Gavriluk, V. Dub // Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan. – 2006. – Vol. 12. P. 7–11.
 5. Mikulski, J. Evaluation of railway stations reliability // Activities of Transport Telematics. 13th International Conference on Transport Systems Telematics. Katowice-Ustron, Poland. Proceedings. Springer. – 2013. – Vol. 395. – P. 105-114.
 6. Korsunskij, G. M Using of oscillographic analysis of the dynamic characteristics of electromagnetic relay for its technical diagnostics / G. M. Korsunskij, A. F. Mironenko, P. S. Fedorets // Engineering Communications. Series Wired Communication Equipment. – 1979. Vol. 38. – Iss. 5. – P. 41-50.
 7. Vitenberg M. V. Calculation of Electromagnetic Relays. Moscow: Energija, 1975 (In russian).
 8. Slivinskaja, A. G. Electromagnets and Permanent Magnets. Moscow: Energija, 1972. (In russian).
 9. Grossmann A. Decomposition of hardy functions into square integrable wavelets of constant shape / A. Grossmann, J. Morlet // SIAM Journal on Mathematical Analysis. – 1984. – Vol. 15. – No. 4. – P. 723-736.
 10. Rioul, O. Wavelets and signal processing / O. Rioul, M. Vetterli // IEEE Signal Processing Magazine. – 1991. – Vol. 8. – No 4. – P. 14-38.
 11. Chui J. T. An introduction to wavelets. Pennsylvania: Academic Press, 1992.
 12. Daubechies I. Ten lectures on wavelets. CBMS-NSF Regional Conference Series, SIAM. Philadelphia, PA, 1992.
 13. Mallat, S. G.. A wavelet tour of signal processing representation. San Diego. Academic Press, Elsevier, 1999.– 629 p.
 14. Mallat, S. G. A theory for multiresolution signal decomposition: the wavelet representation // IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 1989. – Vol. 11. – Iss. 7. – P. 674–693.
- Ключові слова:** реле, струмові характеристики, метод визначення дефектів, вейвлет аналіз.
- Ключевые слова:** реле, токовые характеристики, метод определения дефектов, вейвлет анализ.
- Keywords:** relay, current characteristics, method for detecting defects, wavelet analysis.
- Reviewers:**
D. Sc. (Tech.), Prof. A. B. Boinik,
D. Sc. (Tech.), Prof. A. M. Mukha.
- Received 13.03.2017.
Accepted 20.03.2017.

UDC 656.259.12

V. I. HAVRYLIUK – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Prof., Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, vl.havryliuk@gmail.com, ORCID 0000-0001-9954-4478

THE COMPARATIVE ANALYSIS OF CALCULATING METHODS FOR AC IMPEDANCE OF R65 TYPE RAILS AND TRACK 1520 MM GAUGE IN THE AUDIO FREQUENCY RANGE

Introduction

Knowledge of the exact AC rail impedance in a wide frequency range is necessary for designing and modeling audiofrequency track circuits [1, 2], determining of the return traction current distribution in rails of high-speed railways [3, 4], testing new types of vehicles on electromagnetic compatibility with track circuits [5, 6], assuring of induction coupling between jointless track circuits and track-circuit-reader antenna [7], etc. Results of the rail impedance investigations were published in papers of Carpenter and Hill [8, 9], Mariscotti and Pozzobon [10, 11]. A theoretical analysis of frequency dependence of rail impedance is based mainly on the so-called Carson/Pollaczek model or simply Carson's method that was proposed almost simultaneously by Carson [12] and Pollaczek [13] for determining the AC transmission line impedance considering earth return current. They obtained equations for impedance under such specific assumptions:

- conductors are parallel and infinite length;
- ground under wires is homogeneous and of constant resistivity;
- dielectric and magnetic permittivity of the ground are considered to be equal to unity;
- the displacement currents in the air and the ground are neglected.

Solutions of the equations for AC rail impedance in [12, 13] were obtained for quasi static transverse electromagnetic modes (TEM) of an electromagnetic field (i.e. in assumption that electromagnetic field include only longitudinal modes).

Based on Carson's work, Wise [14, 15] proposed more general expression considered the displacement currents in the air and the ground. Sunde [16] summarized these works and proposed generalized formula. Later some approximate expressions were proposed by Gary [17], Deri et al [18], Rachidi [19] and others.

It has been shown in [19] that the validity of the Carson's approximation extends to frequencies of about a few MHz for typical overhead power lines and for earth conductivity of about 0.01 Sm/m. Theoretical consideration of the frequency dependence of running rails impedance is more complicated task due to:

- complex structure of the railway track consisting of two rails, sleepers, ballast;
- skin-effect in rails;
- strong current dependence of magnetic permeability of rail steel;
- influence of the nearly lied ground due to displacement current being inducted in the ground and leakage current due to small resistance between rail and a ground;
- complex shape of rail cross-cut.

Available data of rail impedance investigations [8–11] are related mainly to the UIC 60 rail type with 1435 mm track. Data for electric impedance of rails of R65 type and 1520 mm track are given in table 1 [20].

The frequency dependences of real and imaginary part of rail impedance plotted according to [20] look like broken line, probably due to a measurement error.

If to plot frequency dependence of rail impedance calculated according to Carson's method at the same axes as data [20], one can

see differences between these plots especially for frequencies greater than 1 kHz.

Despite the practical need to have a frequency dependence of the impedance of P65 type rails and track 1520 mm gauge in audiofrequency range ($10^2 \dots 10^4$ Hz), few studies on this issue are known.

The aim of the work is to perform a comparative analysis of the methods for calculating of the AC impedance of the R65 type rails of a track 1520 mm gauge in the audiofrequency range.

Table 1

Traction rail impedance [20]

f, Hz	$Z, \text{Ohm/km}$	f, Hz	$Z, \text{Ohm/km}$
25	$0.308+0.394i$	580	$1.077+6.106i$
50	$0.338+0.725i$	720	$1.221+7.299i$
75	$0.401+0.992i$	780	$1.236+7.803i$
175	$0.618+1.902i$	4545	$1.529+43.773i$
420	$0.935+4.810i$	5000	$1.700+48.670i$
480	$0.938+5.318i$	5555	$1.871+53.567i$

Mathematical formulation

A traction system of electrified railways is a system of wires (lines) with spatially distributed parameters which voltage-current relations mathematically described on the base of the multiconductor transmission line theory as matrix differential equations

$$\frac{\partial \dot{V}(\omega, x)}{\partial x} = -\underline{Z}(\omega) \dot{I}(\omega); \quad (1)$$

$$\frac{\partial \dot{I}(\omega, x)}{\partial x} = -\underline{Y}(\omega) \dot{V}(\omega); \quad (2)$$

where \underline{Z} is a matrix of series impedances per unit length (p.u.l.), and \underline{Y} is a matrix of shunt admittances (p.u.l.), x is a coordinate along the line, $\omega = 2\pi f$ is a cyclic frequency. The matrices \underline{Z} and \underline{Y} are always symmetric.

Series Impedance

At low and medium frequencies ($\leq 10^4$ Hz) the rail series impedance is given by

$$\underline{Z}(\omega) = \underline{Z}_C(\omega) + \underline{Z}_E(\omega) + \underline{Z}_G(\omega), \quad (3)$$

where $\underline{Z}_C(\omega)$ is the internal rail impedance that depends on frequency due to skin-effect; $\underline{Z}_E(\omega)$ is the external impedance and $\underline{Z}_G(\omega)$ is the ground-return impedance of the conductor.

For one track railway that consists of two rails above lossy ground the diagonal elements of a series impedance matrix \underline{Z}_{ii} ($i=1,2$) are the values of a rail self-impedance (p.u.l.) defined as the ratio of the voltage drop (p.u.l.) to the current flowed in the rail and returned through the earth.

Off-diagonal elements of a series impedance matrix \underline{Z}_{ij} ($i, j=1,2; i \neq j$) are mutual impedances between i -th and j -th conductors defined as the ratio of the induced voltage (p.u.l.) in i -th conductor to the current in j -th conductor. Both the self and mutual impedances are affected by the earth return current.

Self impedance

Self impedance of the conductor is a sum of two components

$$\underline{Z}_{ii} = \underline{Z}_{Cii} + \underline{Z}_{Eii}, \quad (4)$$

where \underline{Z}_{Cii} is the internal impedance of the conductor and \underline{Z}_{Eii} is the external impedance of the conductor that is given by

$$\underline{Z}_{Eii} = \underline{Z}_{Egii} + \underline{Z}_{gii}, \quad (5)$$

where \underline{Z}_{Egii} is the geometric term due to reactance involved in the magnetic field in the air and \underline{Z}_{gii} is the ground-return impedance of the conductor.

The external self-impedance of the conductor is equal $\underline{Z}_{Egii} = j\omega L_{ii}$, where L_{ii} is an external inductance of the conductor that is given by

$$L_{ii} = \frac{\mu_0}{2\pi} \ln \frac{2h_i}{r_i}, \quad (6)$$

where $\mu_0 = 4\pi 10^{-7}$ H/m is the magnetic permeability constant, h_i is the height of the conductor above the ground and r_i is the radius of the conductor.

The ground-return impedance of the conductor can be written as

$$\underline{Z}_{gii} = R_{gii} + X_{gii}. \quad (7)$$

The mutual impedance

The mutual impedance \underline{Z}_{ij} of two conductors i and j can be written as

$$\underline{Z}_{ij} = \underline{Z}_{mij} + \underline{Z}_{gij}, \quad (8)$$

where $\underline{Z}_{mij} = j\omega L_{ij}$ is the impedance due to mutual inductance L_{ij} between two conductors and \underline{Z}_{gij} is the impedance of the earth return path. The mutual inductance L_{ij} is defined by geometric parameters of the line conductor system (fig. 1) and can be written as

$$L_{ij} = \frac{\mu_0}{2\pi} \ln \frac{D_{ij}'}{D_{ij}} = \frac{\mu_0}{2\pi} \ln \sqrt{\frac{d_{ij}^2 + (h_i + h_j)^2}{d_{ij}^2 + (h_i - h_j)^2}}, \quad (9)$$

where D_{ij} is the distance between conductors i and j , and D_{ij}' is the distance between conductor i and the image of conductor j . The meanings of the other geometric parameters from (9) are illustrated in fig. 1.

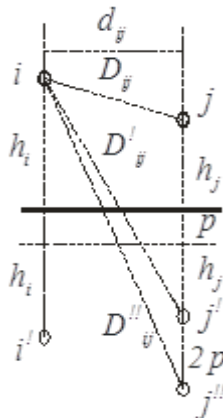


Fig. 1. Geometry of conductors and their images

The ground-return impedance (due to the earth influence) can be written as

$$Z_{Gij} = R_{Gij} + jX_{Gij}. \quad (10)$$

The internal impedance of a conductor in (4) is given by

$$Z_{Cii} = R_{Cii} + jX_{Cii}, \quad (11)$$

where R_{Cii} is the internal resistance and $X_{Cij} = \omega L_{Cii}$ is the internal reactance.

Under the assumption that current density is uniformly distributed at cross-section of conductor the internal self-resistance and inductance are given by well-known simple formulae

$$R_{Cii} = (\sigma S)^{-1}, \quad (12)$$

$$L_{Cii} = \frac{\mu\mu_0 r_i}{8\pi}, \quad (13)$$

where σ is the conductivity of a conductor, S is the area of the conductor cross-section, μ is relative magnetic permeability.

The radius of an equivalent circular cross-section (geometric mean radius) of a rail may be evaluated with two expressions [11, 21]. For low frequencies, when the current is distributed almost uniformly across the rail cross-section, equivalent radius may be computed as

$$r_i = \sqrt{S/\pi}. \quad (14)$$

For high frequencies, when the current is distributed almost along the conductor perimeter, equivalent radius may be computed as

$$r_i = P_r / 2\pi, \quad (15)$$

where P_r is a perimeter of rail cross-section.

Expressions (12)–(14) doesn't provide accurate estimation of rail internal self-resistance and inductance due to a complex shape of rail cross-section, the skin effect at AC and varying magnetic permeability with current value variation. For more precision estimation of a rail internal self-impedance a finite-element method (FEM) have been proposed [8].

In present work for calculation of rail internal impedance an approximation method with representation of the rail as equivalent cylindrical conductor with taking into account of skin effect has been used [21].

According to this method the internal impedance of a cylindrical conductor is given by

$$\underline{Z}_{Cii} = \frac{\rho m}{2\pi r} \frac{\alpha J_0(\alpha m r)}{J_1(\alpha m r)} = \frac{\rho m}{2\pi r} \frac{\text{ber}(\sqrt{2} r/\delta) + j\text{bei}(\sqrt{2} r/\delta)}{\text{ber}'(\sqrt{2} r/\delta) + j\text{bei}'(\sqrt{2} r/\delta)}; \quad (16)$$

$$m = \sqrt{\frac{j\omega\mu_0}{\rho}}; \quad (17)$$

$$\alpha = \exp(j3\pi/4), \quad (18)$$

$$\delta = (\sqrt{\pi f \mu \sigma})^{-1} \quad (19)$$

where δ is a depth of penetration (of skin-effect), ρ is a resistivity of the conductor, J_v is the Bessel function of first kind and order v , ber , bei , ker and kei are Kelvin's functions which belong to the Bessel function family, and ber' , bei' , ker' and kei' are their derivatives. Kelvin's functions are often defined as

$$\text{ber}(x) = 1 - \frac{x^4}{2^4(2!)^2} + \frac{x^8}{2^8(4!)^2} - \dots; \quad (19)$$

$$\text{bei}(x) = \frac{x^2}{2^2} - \frac{x^6}{2^6(3!)^2} + \frac{x^{10}}{2^{10}(5!)^2} - \dots; \quad (20)$$

and

$$\text{ber}(q) + j\text{bei}(q) = J_0(j^{-1/2}). \quad (21)$$

Active and reactive resistances of a cylindrical conductor are given by

$$R_{Cii} = \frac{R_s}{\sqrt{2\pi r_i}} \times \frac{\text{ber}(q)\text{bei}'(q) - \text{bei}(q)\text{ber}'(q)}{(\text{ber}'(q))^2 + (\text{bei}'(q))^2}; \quad (22)$$

$$X_{Cii} = \frac{R_s}{\sqrt{2\pi r_i}} \times \frac{\text{ber}(q)\text{ber}'(q) - \text{bei}(q)\text{bei}'(q)}{(\text{ber}'(q))^2 + (\text{bei}'(q))^2}, \quad (23)$$

$$q = \sqrt{2r_i/\delta}, \quad (24)$$

where $R_s = (\sigma\delta)^{-1}$ is a surface resistance.

Earth Contributions

The correction terms for the self-impedance of i -th conductor and mutual impedance of two conductors i and j due to earth path impedance are obtained by Carson method [12]:

$$\underline{Z}_{Gii} = \frac{j\omega\mu}{\pi} \int_0^\infty \frac{\exp(-2h_i\xi)}{\xi + \sqrt{\xi^2 + j\omega\mu\sigma}} d\xi, \quad (25)$$

$$\underline{Z}_{Gij} = \frac{j\omega\mu}{\pi} \int_0^\infty \frac{\exp[-(h_i + h_j)\xi]}{\xi + \sqrt{\xi^2 + j\omega\mu\sigma}} d\xi. \quad (26)$$

More general expression for mutual ground impedance between two conductors i and j applicable to higher frequency band derived by Sunde [16] is given by

$$\underline{Z}_{Gij} = \frac{j\omega\mu}{\pi} \times \int_0^\infty \frac{\exp[-(h_i + h_j)\xi]}{\xi + \sqrt{\xi^2 + \gamma_g^2}} \cos(d_{ij}\xi) d\xi, \quad (27)$$

where γ_g is a wave propagation constant defined as

$$\gamma_g = \sqrt{j\omega\mu_0(\sigma_g + j\omega\epsilon_0\epsilon_g)}. \quad (28)$$

These expressions contain infinite integrals with complex arguments. For their evaluation Carson has proposed infinite series

$$R_{Gii} = 4\omega 10^{-7} \left\{ \frac{\pi}{8} - b_1 k + b_2 (C_2 - \ln k) k^2 + b_3 k^3 - d_4 k^4 - \dots \right\}; \quad (29)$$

$$X_{Gii} = 4\omega 10^{-7} \left\{ \frac{1}{2} (0.6159315 - \ln k) + b_1 k + d_2 k^2 + b_3 k^3 - b_4 (C_4 - \ln k) k^4 + \dots \right\}; \quad (30)$$

$$R_{Gij} = 4\omega 10^{-7} \left\{ \frac{\pi}{8} - b_1 k_m \cos \theta + b_2 [(C_2 - \ln k_m) k_m^2 \cos 2\theta + \theta k_m^2 \sin 2\theta] + b_3 k_m^3 \cos 3\theta - d_4 k_m^4 \cos 4\theta - \dots \right\}; \quad (31)$$

$$X_{Gij} = 4\omega 10^{-7} \left\{ \frac{1}{2} (0.6159315 - \ln k_m) + b_1 k_m \times \cos \theta - d^2 k_m^2 \cos 2\theta + b^3 k_m^3 \cos 3\theta - b_4 [(C_4 - \ln k_m) k_m^4 \cos 4\theta + \theta k_m^4 \sin 4\theta] \dots \right\}; \quad (32)$$

where

$$b_1 = \sqrt{2}/6;$$

$$b_2 = 1/16;$$

$$b_i = b_{i-2} \frac{\text{sign}}{i(i+2)};$$

$$C_1 = 1.3659315;$$

$$C_i = C_{i-2} + \frac{1}{i} + \frac{1}{i+2};$$

$$d_i = \frac{\pi}{4} b_i$$

$$\theta = \arcsin \left(\frac{d_{ij}}{D_{ij}} \right);$$

$$k = 4\pi\sqrt{5} \cdot 10^{-4} 2h_i \sqrt{f\sigma_g};$$

$$k_m = 4\pi\sqrt{5} \cdot 10^{-4} D_{ij}' \sqrt{f\sigma_g}.$$

These approximations are valid for a limited range of frequencies, and medium frequencies are not covered [21].

The complex image method

The complex image method (complex depth of earth return method) [17, 18] assumes that the current in conductor i returns through an imagined earth path located directly under the original conductor at a depth of $(h_i + 2p)$

as shown in fig. 1, where p is the skin depth of the ground. Thus, the self and the mutual impedances can be written as

$$\underline{Z}_{Eii} = j\omega \frac{\mu_0}{2\pi} \ln \frac{2(h_i + p)}{r_i}; \quad (33)$$

$$Z_{ij} = j\omega \frac{\mu_0}{2\pi} \ln \frac{D_{ij}'}{D_{ij}} = j\omega \frac{\mu_0}{2\pi} \ln \sqrt{\frac{d_{ij}^2 + (h_i + h_j + 2p)^2}{d_{ij}^2 + (h_i - h_j)^2}}; \quad (34)$$

$$\text{where } p = \sqrt{\rho / j\omega\mu_0}.$$

Results

The impedance of running rails of R65 type and track 1520 mm gauge have been calculated using formulas (3)-(35). The correction terms for the self- and mutual impedance of the rails due to earth path were determined by using two above considered methods - Carson's method with representation of integrals as infinite series (16)-(25) and the complex image method (34), (35). Calculations have been performed for next parameters of tracks: perimeter of rail cross-section is $P_r = 0.7$ m, distance between axes of one track rails is $d_{ij} = 1.6$ m, height rails above a ground is $h_i = 0.5$ m, conductivity of the ground is $\sigma_g = 0.1$ Sm/m, steel resistivity is $\sigma_s = 0.21$ Ohm mm²/m, steel relative permeability is $\mu = 100$.

The rail loop electrical parameters (p.u.l.) are obtained as

$$R = (R_1 + R_2) = 2R_1; \quad (35)$$

$$L = 2(L_1 - L_{12}); \quad (36)$$

where $R_1 = R_2$ and $L_1 = L_2$ are, respectively, self-resistance and self-inductance of rails, L_{12} is mutual inductance of rails.

Frequency dependences of the calculated active resistance R and inductance L of rail loop (p.u.l.) with rails of R65 type and track of 1520 mm gauge are shown in fig. 2.

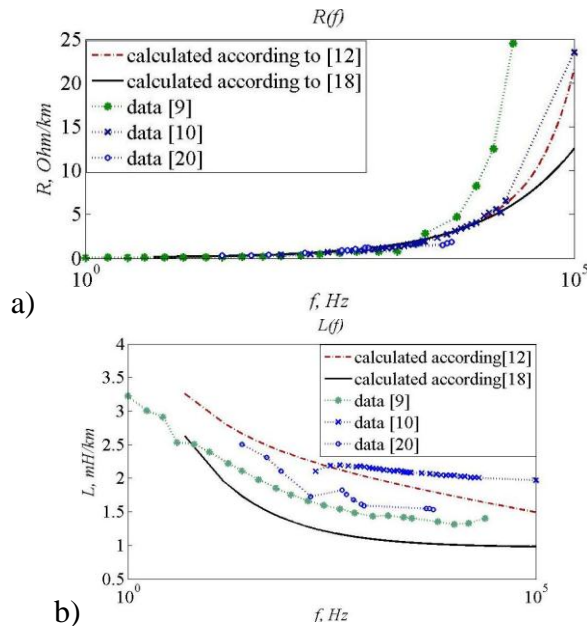


Fig. 2. Frequency dependences of the resistance R (a) and inductance L (b) (p.u.l.) of rail loop for R65 type rails and track of 1520 mm gauge

In fig. 2 the frequency dependences of the rail loop resistance and inductance (p.u.l.) of R65 type rails and track of 1520 mm gauge according to [20] are also plotted (as zigzag-form lines).

Values of rail loop resistance R calculated by Carson's method [12] and the complex image method [18] are in good agreement with the data [20], while the values of inductance L calculated by these two methods ([12] and [18]) are differ in values from each other and from data [20].

The resistance and inductance of the running rails of track 1435 mm gauge [8-11] are also represented in fig. 2 for comparison. Data [8] were measured for railway section of 36 m length with concrete and wooden sleepers in 1 Hz...25 kHz frequency range.

Serial rail loop resistance and inductance were measured in [10] for loop circuit with rails of UNI 60 type, and area of cross-section – 7679 mm² with full length – 5.8 m and length between voltage terminals – 5.2 m.

The data of [10] were recalculated on 1 km rail length and also shown in fig. 2.

Since data [8–11] have been obtained for the other types of track, rails, sleepers, etc., these data were presented for qualitative comparison with data for R65 type rails and track of 1520 mm gauge (fig. 2).

Therefore, it may be concluded that the AC running rail impedance obtained by Carson's method [12] and the complex image method [18] are in good qualitative agreement with the data of [8–11] for rails of UIC 60 type in frequency range 10⁰...10⁵ Hz.

The results of calculation for rails of R65 type and track of 1520 mm gauge according to Carson's method and complex image method differ from data in [20], and these differences increase with increasing of frequency. Such behavior may be due to error of calculation methods caused by small height of rails above lossy ground ($h_i \leq 1$ m) and high electrical conductivity between rails and ground.

Observed miscalculation of the AC impedance of R65 type rails for frequencies $> 10^3$ Hz can be eliminated by using correction factors in calculation expressions.

Conclusion

In this work the comparative analysis of the calculating methods for AC impedance of R65 type rails of a track 1520 mm gauge in the audiofrequency range have been performed.

Results of AC rail impedance measurements and theoretical description of frequency dependence of impedance for wires above lossy ground are briefly reviewed. Mathematical formulation of Carson's method and the complex image method proposed by Deri with co-workers for impedance of transmission lines were represented. The impedance of running rails of R65 type and track of 1520 mm gauge have been calculated by using Carson's method and the complex image method. Due to the insufficient amount of literature data concerning AC impedance measurements for rails of type R65 of 1520 mm gauge, the results of calculations for these rails were compared with

the measured values for both rails of type R65, 1520 mm gauge, as well as for rails of type UIC 60 with 1435 mm gauge. Calculated frequency dependencies of the AC impedance of R65 type rails are in good qualitative agreement with literature data for rails UIC 60 in frequency range $10^0 \dots 10^5$ Hz.

The results for rails of R65 type and 1520 mm gauge calculated according to Carson's method and complex image method differ from reference data presented in literature, and these differences increase with increasing of frequency. Such behavior may be due to error of calculation methods caused by small height of rails above lossy ground and high electrical conductivity between rails and a ground.

References

1. Mariscotti, A. Modeling of audiofrequency track circuits for validation, tuning, and conducted interference prediction / A. Mariscotti, M. Ruscetti, M. Vanti // IEEE transactions on intelligent transportation systems. – 2010. – Vol. 11. – No. 1. – P. 52–60.
2. Havryliuk, V. I. Modelling of traction current influence on tonal frequency rail circuits. Electromagnetic compatibility and safety on railway transport. – 2011. – No 2. – P. 6–10.
3. Wen Huang. Study on Distribution Coefficient of Traction Return Current in High-Speed Railway / Wen Huang, Zhengyou He, Haitao Hu, Qi Wang // Energy and Power Engineerings. – 2013. – No 5. – P. 1253–1258
4. Гаврилюк, В. І. Аналіз електромагнітного впливу системи тягового електропостачання на рельсові цепі / В. І. Гаврилюк // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту. – 2003. – No 1. – P. 6–10.
5. Гаврилюк, В. І., Щека В. І., Мелешко В. В. Испытания новых типов подвижного состава на электромагнитную совместимость с устройствами сигнализации и связи / В. І. Гаврилюк, В. І. Щека, В. В. Мелешко // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту – 2015. – № 5(59). – С. 7–15.
6. Гаврилюк, В. И. // Нормы и методы испытания подвижного состава на электромагнитную совместимость с системами сигнализации и связи / В. И. Гаврилюк // ЭМС 2016.
7. Lin–Hai Zhao. Induction coupling between jointless track circuits and track–circuit–reader antenna / Lin–Hai Zhao, Wei–Shi Shi. // Progress in electromagnetics research. – 2013. – Vol. – 138. – P. 173–196.
8. Carpenter, D.C. Railroad track electrical impedance and adjacent track crosstalk modeling using the finite–element method of electromagnetic systems analysis / D.C. Carpenter, R. J. Hill // IEEE transactions on vehicular technology. – 1993. – Vol. 42. – No. 4. – P. 555–560.
9. Hill, R. J. Rail Track Distributed Transmission Line Impedance and Admittance: Theoretical Modeling and Experimental Results / R. J. Hill, D.C. Carpenter / IEEE transactions on vehicular technology. – 1993. – Vol. 42. – No. 2. – P. 225–230.
10. Mariscotti, A. Measurement of the Internal Impedance of Traction Rails at 50 Hz / A. Mariscotti, P. Pozzobon // IEEE transactions on instrumentation and measurement. – 2000. – Vol. 49. – No. 2. – P. 294–299.
11. Mariscotti, A. Determination of the Electrical Parameters of Railway Traction Lines: Calculation, Measurement, and Reference Data / A. Mariscotti, P. Pozzobon // IEEE transactions on power delivery. – 2004. – Vol. 19. – No. 4. – P. 1538–1546.
12. Carson, J. R. Wave propagation in overhead wires with ground return / J. R. Carson // Bell Syst. Tech. J. – 1926. – Nr. 5. – P. 539–554.
13. Pollaczek, F. On the field produced by an infinitely long wire carrying alternating current / F. Pollaczek // Elekztrische Nachrichten Technik. – 1926. – Vol. III. – No. 9. – P. 339–359.
14. Wise, W. H. Propagation of High Frequency Currents in Ground Return Circuits / W. H. Wise // Proc. Inst. Radio Engrs. – 1934. – Nr. 22. – P. 522–527,
15. Wise, W. H. Effect of Ground Permeability on Ground Return Circuits / W. H. Wise // Bell Syst. Tech. J. – 1931. – Nr. 10. – P. 472–484.
16. Sunde, E. D. Earth conduction effects in transmission systems, 2nd ed. Dover Publications, 1968. – P. 99–139.

17. Gary, C. Approche complete de la propagation multifilaire en haute fre'quence par l'utilisation des matrices complexe / C. Gary // EDF Bull. de la direction des e'tudes et recherches Se'rie B. – 1976. – No. ¾. – P. 5-20.
18. Deri, A. The complex ground return plane. A simplified model for homogenous and multi-layer earth return / A. Deri, G. Tevan, A. Semlyen, A. Castanheira // IEEE trans. on power systems. – 1981. – Vol. 100. – Nr. 8. – P. 3686-3693.
19. Rachidi, F. Transient analysis of multiconductor lines above a lossy ground / F. Rachidi, C. A. Nucci, M. Ianoz // IEEE trans. power delivery. – 1999. – Vol 14. – Nr. 1. – P. 294-302.
20. Аркатов, В. С. Рельсовые цепи магистральных железных дорог: Справочник. – 3-е изд. / В. С. Аркатов, Ю. В. Аркатов, С. В. Казеев, Ю. В. Ободовский Изд-во «Миссия-М», 2006. – 496 с.
21. Yaw-Juen Wang. A Review of Methods for Calculation of Frequency-dependent Impedance of Overhead Power Transmission Lines // Yaw-Juen Wang, Shi-Jie Liu // Proc. Natl.

Sci. Counc. ROC(A).– 2001. – Vol. 25. – No. 6. – P. 329-338.

Ключові слова: імпеданс рейки , тональні рейкові кола, метод Карсона, метод комплексного зображення, тональна частота.

Ключевые слова: импеданс рельса, тональные рельсовые цепи, метод Карсона, метод комплексного изображения, тональная частота.

Keywords: impedance of rails, audiofrequency track circuits, Carson's method, complex image method, audiofrequency.

Reviewers:

D. Sc. (Tech.), Prof. A. B. Boinik,
D. Sc. (Tech.), Prof. A. M. Mukha.

Received 20.02.2017.

Accepted 02.03.2017.

УДК 656.25

В. В. ЛАГУТА – к. т. н., доцент, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, vvlaguta@mail.ru
Т. М. СЕРДЮК – к. т. н., доцент, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, serducheck-t@rambler.ru
А. А. ПАРХОМЕНКО – магістр, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, керівник дільниці дефектоскопії Одеської дистанції колії – 1 (ПЧ-1), Одеська залізниця, ПАТ «Укрзалізниця»

АНАЛІЗ ВІДМОВ ЕЛЕМЕНТІВ ЗАЛІЗНИЧНОЇ АВТОМАТИКИ

Постановка проблеми

Залізнична статистика являє собою область практичної діяльності зі збору, обробки та аналізу статистичної інформації про роботу залізниць. Це розділ науки, в якому досліджуються масові явища на залізничному транспорті. Вона вбирає в себе сукупні статистичні дані, що характеризують діяльність транспорту та окремі його сторони.

Залізнична статистика, як необхідний елемент управління залізничним транспортом, в різних країнах має різну ступінь розвитку і в частині систем показників, що використовуються для характеристики, і в частині організаційних форм. У цьому відбивається рівень усупільнення залізничного транспорту, планування і нормування його роботи та інші особливості економічного і соціального ладу [1].

Внаслідок схемно-конструктивних і виробничих недоліків, а також недоліків у системі обслуговування, в пристроях системи залізничної автоматики (СЗА) можуть виникати відмови, які по-різному впливають на працездатність системи. В одних випадках відмова схеми, блоку або елемента може призвести до небезпечної ситуації – втрати працездатності, в інших – система в силу своєї надмірності в структурі, а також у зв'язку з правилами організації руху поїздів, може виконувати свої функції, але при цьому ефективність функціонування буде знижена.

Актуальність. Відмінною особливістю СЗА є надзвичайно відповідальна роль у

виконанні перевізного процесу та забезпечення безпеки руху поїздів.

Рішення багатьох задач управління системою утримання, заснованих на кількісній оцінці ефективності стиснення [2], пов'язано з необхідністю визначення показників, які дозволяють оцінити поточний стан елемента автоматики, а також спрогнозувати їх ресурс надійності. Основою будь-яких статистичних досліджень є наявність актуальних спостережень про об'єкт. Для прийняття обґрунтованих рішень в управлінні системи утримання пристроїв залізничної автоматики важливе значення має наявність достовірних даних про відмови.

Математичне моделювання процесу відмов пристроїв залізничної автоматики розглядається як один з інструментів дослідження, який передбачає розбиття складної системи утримання на підсистеми для більш ефективного планування технічного обслуговування елементів СЗА.

Забезпечення високої ефективності функціонування системи залізничної автоматики є важливою науково-технічною задачею, вирішення якої дозволить організувати технологічний процес перевезень з максимальною ефективністю й безпекою руху поїздів. Наукова робота відповідає пріоритетним напрямкам розвитку транспорту, що визначена у «Стратегії розвитку транспорту на період до 2020 року» (постанова КМУ від 16.12.2009 № 1555-р).

Метою дослідження є первинна обробка спостережень про відмови елементів СЗА на Одеській залізниці за період 2011–

2015 рр. і їх порівняння; визначення якісних причинно-наслідкових зв'язків у відмовах елементів СЗА та їх структури для обраної дистанції, що сприятиме поліпшенню її системи утримання.

Огляд публікацій

Вперше оцінки значень показників безпеки пристроїв СЦБ були визначені в роботах А. А. Ейлера і С. І. Залгаллер. В них були висунуті основні вимоги про збір та статистичну обробку спостережень про відмови елементів системи автоматики. Фундаментальні роботи, що присвячені дослідженням надійності й безпеки систем залізничної автоматики на основі спостережень про їх поточний стан, з'явилися одночасно з роботами опублікованими Ю. К. Беляєвим, А. І. Бергом, Б. В. Гнеденко, Г. В. Дружиніна, Д. Нейманом, А. Пірсом, К. Барлоу, С. Прошан, Б. Діллон та іншими фахівцями, в яких розглядалися математичні питання теорії надійності і відповідні прикладні задачі [3–6].

Інженерні вимоги до якості статистичних даних про стан елементів СЗА в режимі експлуатації і загальні принципи вибору показників надійності викладені в [7–12].

Порівняння відмов і причинно-наслідкові зв'язки між ними

Задачею дослідження є підготовка даних для проведення математичного моделювання функціонування СЗА з метою оцінювання поточного стану елементів системи і прогнозування їх ресурсу надійності.

Надійність будь-якої технічної системи залежить від складу і кількості елементів (вузлів), які її утворюють, від способу їх об'єднання в систему і від характеристик кожного окремого елемента. Серед пристроїв залізничної автоматики можна виділити такі:

– електричні (рейкові кола, кабельні та повітряні лінії, сигнали, пульти, табло, апарати керування, пристрої електроживлення,

елементи захисту, трансформатори, дросель-трансформатори т. п.);

– електромеханічні (електроприводи стрілок, автошлагбауми переїздів, рухомі деталі реле, маятникові трансмітери, комутаційні пристрої і т.п.).

Якість роботи залізничного транспорту суттєво залежить від надійності всіх приладів автоматики.

Слід зазначити, що на надійність пристроїв залізничної автоматики впливає людський фактор, а саме, кваліфікація і дисциплінованість обслуговуючого персоналу (електромеханіки, електромонтери, старші електромеханіки, начальники дільниць). Для підвищення якості обслуговування пристроїв залізничної автоматики було розроблено графіки технологічного обслуговування, до кожного виду роботи складено технологічні карти, на основі яких електротехнічний персонал виконує свої обов'язки. Технологічні карти містять відомості про норми та допуски, тривалість і послідовність виконання робіт, перелік інструментів.

Джерела інформації про відмови пристроїв залізничної автоматики можуть іноді містити викривлені статистичні дані внаслідок похибок при проведенні спостережень. В деяких випадках характер пошкоджень кваліфікується не об'єктивно, самі відмови не фіксуються, що прямо залежить від кваліфікації та дисциплінованості обслуговуючого персоналу. Якщо, серед статистичних даних частка таких помилкових даних незначна, то це не змінить загальної картини дослідження динаміки відмов елементів залізничної автоматики.

У статті представлені спостереження за відмовами систем залізничної автоматики Одеської залізниці за період з 01.01.2011 по 31.12.2015 рр. та проведено їх аналіз. В табл. 1 наведено кількості відмов поквартально для наступних елементів:

x_1 – відмова у роботі рейкових кіл;

x_2 – відмова роботи апаратури;

x_3 – відмова у стрілочних переводах;

x_4 – несправність кабельних ліній;
 x_5 – відмова чи помилкова передача сигналів;
 x_6 – відмова пультів, табло, апаратури керування;
 x_7 – порушення електроживлення;
 x_8 – відмова елементів захисту;
 x_9 – несправність у стативах;
 x_{10} – несправність елементів релейних шаф;

x_{11} – несправність елементів колійних коробок.

Для кожного з перелічених факторів x_1 , x_2 , ..., x_{11} виконано вибірки з двадцяти спостережень. Динамічний ряд спостережень відмов надано на рис. 1.

Аналізуючи дані (див. рис. 1) можна зробити висновок, що основна частина відмов апаратури залізничної автоматики Одеської залізниці приходить на ізолюючі стики (їм властивий «пробій»).

Таблиця 1

**Статистика відмов пристроїв залізничної автоматики за період
01.01.2011 – 31.12.2015 рр. Одеської залізниці ПАТ «Укрзалізниця»**

Період	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}
1 кв. 2011 р.	19	35	3	5	1	2	2	1	2	0	1
2 кв. 2011 р.	31	27	2	4	3	1	1	3	6	1	1
3 кв. 2011 р.	23	19	9	8	2	3	2	2	3	3	0
4 кв. 2011 р.	22	19	4	12	4	1	1	6	5	0	0
1 кв. 2012 р.	34	14	5	3	7	1	0	2	4	1	0
2 кв. 2012 р.	39	24	6	5	4	0	2	0	6	2	0
3 кв. 2012 р.	49	38	3	6	9	2	1	4	8	3	0
4 кв. 2012 р.	44	18	7	9	1	0	2	3	5	1	0
1 кв. 2013 р.	52	22	8	5	9	1	1	1	5	4	0
2 кв. 2013 р.	35	26	4	9	8	1	5	11	3	6	0
3 кв. 2013 р.	53	21	3	6	4	2	2	2	7	3	0
4 кв. 2013 р.	49	43	6	10	9	2	3	7	2	4	0
1 кв. 2014 р.	30	31	7	11	14	0	2	6	3	3	0
2 кв. 2014 р.	41	14	4	4	5	1	0	2	4	5	1
3 кв. 2014 р.	24	35	8	7	7	0	4	1	6	8	0
4 кв. 2014 р.	36	20	2	9	8	0	1	1	2	4	1
1 кв. 2015 р.	36	16	4	9	10	0	2	4	4	3	0
2 кв. 2015 р.	76	26	9	11	7	3	3	3	7	5	2
3 кв. 2015 р.	61	42	7	6	9	1	3	2	8	4	1
4 кв. 2015 р.	54	21	3	4	12	1	1	2	6	1	0

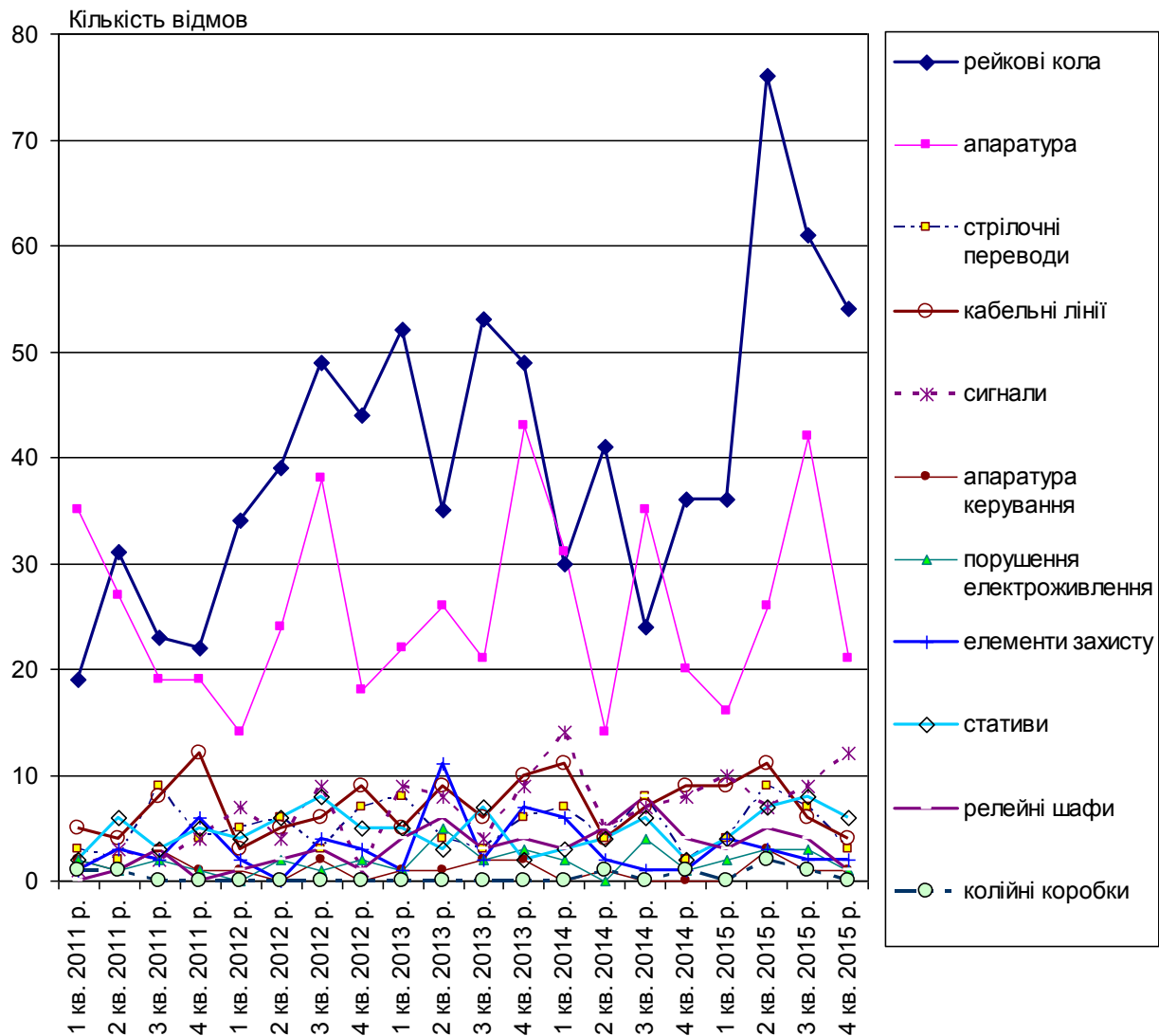


Рис. 1. Динаміка спостережень відмов пристроїв залізничної автоматики

Відмови в рейкових колах з початку 2013 до кінця 2014 року суттєво зменшилися з 43 % до 29 % від їх загальної кількості завдяки масовій установці полімерних ізолюючих стиків на головних коліях станцій та у перевідних кривих стрілочних переводів, які за своїми характеристиками суттєво відрізняються від тих, що використовувалися раніше. З іншого боку, зараз на залізницях України застосовуються нові системи автоблокування без ізолюючих стиків, такі як ЦАБ, АБТЦ і т. ін., що також суттєво зменшує кількість відмов рейкових кіл.

В спостереженнях за 2012–2015 рр. бачимо періодичне збільшення кількості від-

мов іншої апаратури, кабельних ліній, сигналів, а з 2013 р. – і кількості відмов в елементів апаратури захисту. Пульти, табло, апаратура керування та пристрої електроживлення суттєво не змінили свої показники. У стрілочних електроприводах з середини 2012 по 2015 рік також зростає число відмов, при чому спостерігається вплив сезонності, в весняно-зимовий період число відмов зростає з чотирьох до восьми – дев'яти за квартал.

В табл. 2 наведено суми по кожному показнику x_1, x_2, \dots, x_{11} за двадцять кварталів, їх середні значення та відсотки у відношенні до загальної суми відмов.

Таблиця 2

**Відмови пристроїв залізничної
автоматики Одеської залізниці**

Назва показника	Сумар- не зна- чення	Середнє значен- ня	Відсо- ток, %
Рейкові кола	808	40,40	40,81
Апаратура	511	25,55	25,81
Стрілочні елек- троприводи і переводи	104	5,20	5,25
Кабельні лінії	143	7,15	7,22
Сигнали	133	6,65	6,72
Пульти, табло, апаратура керу- вання (реле)	22	1,10	1,11
Пристрої елект- роживлення	38	1,90	1,92
Елементи захи- сту	63	3,15	3,18
Стативи	96	4,80	4,85
Релейні шафи	57	2,85	2,88
Колійні коробки	5	0,25	0,25

За даними (див. табл. 2) побудовано діаграму відмов пристроїв залізничної автоматики Одеської залізниці за період 2011–2015 рр. (рис. 2). В результаті можна зробити висновок, що найбільше число відмов приходить на рейкові кола, що пояснюється умовами їх експлуатації. Вони знаходяться в умовах постійного динамічного навантаження і різкого коливання температури й вологості навколишнього середовища. Основними причинами відмов рейкових кіл є порушення ізоляції в стику, обрив стикового з'єднувача, зниження опору баласту.

У стрілочних електроприводах найбільш характерними відмовами є порушення контакту автоперемикача, неповне притиснення щіток, забруднення колектора, обрив і замикання секцій обмоток якоря і статора, несправності механічної передачі.

Причинами відмов у світлофорів в основному є перегорання нитки ламп, порушення контакту в лампотримачі, несправності монтажу, бій лінз.



Рис. 2. Лінійчатая діаграма відмов пристроїв залізничної автоматики

Найбільш ненадійними серед всіх реле систем керування й контролю пристроями залізничної автоматики є імпульсні та нейтральні. Причинами відмов в імпульсних реле як найчастіше є ерозія контактів, пробій випрямляча, розрегулювання електричних характеристик, в нейтральних порушення контакту в штепсельному роз'ємні, підгоряння і ерозія контактів і ін.

Останнім часом зростають випадки вандалізму у відношенні до пристроїв залізничної автоматики. Матеріальні збитки при цьому складають близько 15...20 %. Найчастіше піддаються розкраданню та псуванню такі елементи, як дросель-трансформатори, кабельні муфти, кабелі, трансформатори, світлофорні лінзи та лампи, які також відіграють важливу роль у статистичних даних.

Граф кореляційної залежності між відмовами та структура математичної моделі

Проведення аналізу рівня надійності пристроїв і систем залізничної автоматики на етапі експлуатації – складне завдання. Для його вирішення необхідно:

- отримати оцінку досягнутих показників надійності пристроїв СЗА в фактичних умовах експлуатації;
- провести аналіз показників надійності.

Під оцінкою досягнутих показників надійності пристроїв СЗА розуміється розрахунок кількісних значень показників, на основі статистичних даних про функціонування системи на етапі експлуатації. Аналіз показників надійності полягає в зіставленні в різних поєднаннях x_1, x_2, \dots, x_{11} , розрахованих на етапі експлуатації, з показниками, введеними на етапі проектування, а також – з допустимими показниками, встановленими для даної ділянки.

За даними спостережень (див. табл. 1, 2) було здійснено кореляційний аналіз. Матриця вибірових коефіцієнтів кореляції між відмовами елементів СЗА описується формулою $R = [X_{ij}]$ і наведена в табл. 3.

Для з'ясування питання чи знаходяться фактори процесу відмов елементів СЗА в кореляційній залежності перевіримо значущість вибірового коефіцієнта кореляції $r_{i,j}$.

Таблиця 3

Матриця кореляції відмов елементів СЗА

Показник	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}
x_1	1										
x_2	0,147	1									
x_3	0,213	0,132	1								
x_4	-0,016	0,106	0,297	1							
x_5	0,327	0,236	0,041	0,157	1						
x_6	0,293	0,193	0,156	0,014	-0,248	1					
x_7	0,075	0,502	0,371	0,437	0,086	0,052	1				
x_8	-0,068	0,18	-0,092	0,561	0,293	0,056	0,454	1			
x_9	0,559	0,161	0,092	-0,254	0,035	0,096	-0,009	-0,274	1		
x_{10}	0,226	0,251	0,384	0,177	0,331	-0,029	0,572	0,144	0,055	1	
x_{11}	0,353	0,111	-0,016	-0,002	-0,164	0,306	-0,021	-0,241	0,111	0,115	1

Для спостережень, що маються, ступінь свободи $k = 18$, рівень значущості приймемо $\alpha = 0,1$, тоді критерій Ст'юдента дорівнюватиме $t_{0,1;18} = 1,73$. Критичне значення коефіцієнта кореляції для відповідних α і t складає $r_{кр} = 0,378$.

Якщо проаналізувати значення вибірових коефіцієнтів кореляції в матриці R , то більшість з них менше критичного значення. Для таких факторів сила лінійного зв'язку слабка і неістотна. Істотним є лінійний зв'язок між парами факторів (x_1, x_9) , (x_2, x_7) , (x_3, x_{10}) , (x_4, x_7) , (x_4, x_8) , (x_7, x_8) , (x_7, x_{10}) .

Показники x_5 (відмова чи помилкова передача сигналів) та x_6 (відмова пультів, табло, апаратури керування) не корелюються ні між собою, ні з іншими факторами.

Для побудови графу кореляційної залежності між відмовами пристроїв була складена матриця суміжності $Q = (q_{i,j})$, при $i, j = \overline{1,11}$. Нехай $q_{i,j} = 0$. Дана умова виконується при $|r_{i,j}| \leq r_{кр}$ і $q_{i,j} = 1$. Отримаємо

$$Q = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ & & & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ & & & & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & & & & & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & & & & & & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ & & & & & & & 1 & 0 & 0 & 0 \\ & & & & & & & & 1 & 0 & 0 \\ & & & & & & & & & 1 & 0 \\ & & & & & & & & & & 1 \end{bmatrix}$$

Відповідний граф кореляційної залежності відмов елементів СЗА до побудованої матриці суміжності Q зображено на рис. 3.

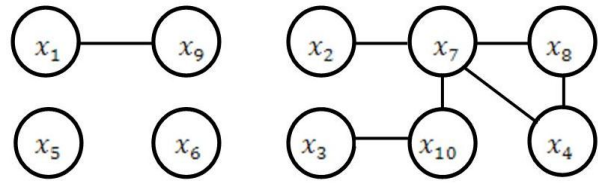


Рис. 3. Граф кореляційної залежності відмов елементів СЗА ($\alpha = 0,1$)

Побудований граф має дві компоненти зв'язності: перша компонента це пара факторів x_1, x_9 (відмови у роботі рейкових кіл, несправність стативів), другу компоненту зв'язності утворюють фактори $x_2, x_3, x_4, x_7, x_8, x_{10}$ (відмови в роботі апаратури; електродвигунах, стрілочних переводах; несправність кабельних ліній; порушення енергоживлення; відмови елементів захисту; несправність релейної шафи).

Для побудови структури математичної моделі процесу відмов елементів СЗА використовуємо апарат запропонований в [8]. Для графа (див. рис. 3), варіантом структури моделі визначено систему

$$\begin{cases} y_9 = x_9 = f_9(x_1), \\ y_3 = x_3 = f_3(x_2, x_4, x_8, x_{10}), \\ y_7 = x_7 = f_7(x_2, x_4, x_8, x_{10}); \end{cases} \quad (1)$$

Функції f_3, f_7, f_9 можуть бути як лінійними, так і нелінійними рівняннями регресії. Система (1) не утворює нестійку форму, яка буде показувати процес відмов СЗА в майбутньому протягом усього часу. Модель можна використовувати тільки для короточасного прогнозування. Фактичні дані про відмови, в подальшому, необхідно враховувати під час експлуатації СЗА і періодично перевизначати структуру моделі, знаходити її параметри наново.

На підставі поданого графа (див. рис. 3) і побудованої структури моделі можна зробити висновок, що для спрощення керування системою утримання СЗА можна розділити на такі підсистеми:

- утримання стативів;
- утримання сигналів;

- утримання пультів, табло, апаратури керування;
- утримання електродвигунів, стрілок і гарнітури;
- утримання електроживлення.

Підвищити функціональну надійність роботи рейкових кіл можливо за допомогою додаткових ремонтних заходів з технічного обслуговування апаратури стативів. Підвищити функціональну надійність електроприводів і гарнітури стрілочних переводів, а також електроживлення можна за рахунок впровадження додаткових профілактично-ремонтних дій при обслуговуванні апаратури, кабельних ліній, приладів релейних шаф й елементів захисту.

Висновки

Було з'ясовано, що для Одеської залізниці за період спостереження 2011–2015 рр. найбільший відсоток відмов в елементах залізничної автоматики приходить на рейкові кола (40,81 %). Наступними елементами, на утримання яких треба звернути особливу увагу, є пульти, табло, апаратура керування (25,81 %). Данні елементи вимагають виконання регулярних ремонтних робіт та впровадження сучасних додаткових діагностично-профілактичних дій з обслуговування пристроїв залізничної автоматики для створення можливості переходу від планово-попереджувальної технології до обслуговування за їх станом.

Слід відмітити, що в наданій вибірці, спостереження за відмовами колійних корбоков відсутні через нерепрезентативність відповідних даних.

Визначення фактичних показників надійності і безпеки можуть бути виконані на основі представлених спостережень про різні відмови СЗА, отримані в процесі експлуатації.

Аналіз фактичних показників надійності СЗА не вичерпується тільки знанням їх кількісного значення. Важливо знати:

- чи є у СЗА запас за надійністю і якщо такий є, то яка його величина;

- чи наявна у СЗА тенденція до зміни необхідного рівня надійності і наскільки вона небезпечна.

Наукова новизна полягає в створенні математичної моделі процесів відмов елементів залізничної автоматики як складної системи, побудованої на основі пасивних спостережень.

Отже, покращення експлуатаційних показників роботи елементів залізничної автоматики може бути досягнуто за допомогою впровадження додаткових ремонтно-профілактичних робіт з обслуговування рейкових кіл, апаратури, кабельних ліній, елементів захисту й апаратури релейних шаф.

Бібліографічний список

1. Большая энциклопедия транспорта: в т. Т. 4. Железнодорожный транспорт / Под ред. Н. С. Конарева. – М.: Большая Российская энциклопедия, 2003. — 1039 с.
2. Сапожников В.В., Сапожников Вл. В., Шаманов В. И. Надёжность систем железнодорожной автоматики, телемеханики и связи. – М.: Маршрут, 2003. – 263 с.
3. Барлоу Р., Прошан Ф. Статистическая теория надежности и испытания на безотказность. – М.: Наука, 1984.-328 с.
4. Диллон Б., Сингх Ч. Инженерные методы обеспечения надежности систем. – М.: Мир, 1984.-318 с.
5. Ивахненко, А. Г. Самоорганизация прогнозирующих моделей [Текст]/ А. Г. Ивахненко, Й. А. Мюллер – К.: Техніка, 1985. -224 с.
6. Дубровский, С. А. Прикладной многомерный статистический анализ. [Текст]/ С. А. Дубровский -М.: Финансы и статистика, 1982. -216 с.
7. Основные принципы определения необходимой надежности устройств СЦБ / Утверждено совещанием Комиссии ОСЖД по инфраструктуре и подвижному составу 22 октября 2010 г., Комитет ОСЖД, Республика Польша, г. Варшава. Дата вступления в силу: 22 октября 2010 г.
8. Лагута В. В. Алгоритмы структурной идентификации статических процессов с экспертом в регрессионном анализе [Текст] /

- В. В. Лагута // Электромагнитная совместимость и безопасность на железнодорожном транспорте. – 2016. – Ном. 13. – Д.: Изд-во ДНУЖТ, 2012. – С. .
9. Volodarsky V.A. Modelling of failure of power supply system elements // Electrical Technology. – 1993. – No 3. – pp. 33-40.
10. Хан Г., Шапиро С. Статистические методы в инженерных задачах. – М.: Мир, 1969. – 395 с.
11. Connor Piers. A review of train protection systems [Electronic resources]/ Piers Connor, Felix Schmid, Charles Watson // Railway technical web pages. Railway systems, technologies and operations across the world. – 2016. – URL: <http://www.railway-technical.com/atpsurvey.shtml>
12. Train Control and Signaling - Transportation Research Board [Electronic resources] / TCRP Report 13: Rail Transit Capacity.– URL:

http://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/tcrp/tcrp_rpt_13-b.pdf

Ключові слова: відмова, система утримання, структурна ідентифікація, кореляційний зв'язок, граф.

Ключевые слова: отказ, система содержания, структурная идентификация, корреляционная связь, граф.

Keywords: failure, system maintenance, structural identification, correlation, graph.

Рецензенти:
проф., д.т.н., А. Б. Бойнік,
проф., д.т.н., А. М. Муха.

Надійшла до редколегії 06.02.2017.
Прийнята до друку 23.02.2017.

УДК 621.391:681.518

А. Б. Бойнік – д. т. н., проф., Український державний університет залізничного транспорту, at@kart.edu.ua

О. Ю. Каменєв – к. т. н., доц., Український державний університет залізничного транспорту, alexstein@meta.ua

С. О. Змій – к. т. н., доц., Український державний університет залізничного транспорту, onilsergey@yandex.ua

О. В. Щебликіна – аспірант, Український державний університет залізничного транспорту, elenka_12_90@mail.ru

В. В. ГАЄВСЬКИЙ – здобувач, Український державний університет залізничного транспорту, gaevskiy-v@mail.ru

ДЕФЕКТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО, ТЕХНОЛОГІЧНОГО ТА ОРГАНІЗАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОНТРОЛЬНОГО ПУНКТУ АЛСН МОТОРВАГОННОГО ДЕПО

Вступ

Ефективна та безпечна робота залізничного транспорту неможлива без широкого використання систем інтервального регулювання руху поїздів (ІРП). Невід’ємною та важливою частиною цих систем є пристрої автоматичної локомотивної сигналізації (АЛС), серед яких найбільше поширення отримала АЛС числового коду неперервної дії (АЛСН). Ця система може експлуатуватися як допоміжний, так і основний засіб інтервального регулювання, тому вимоги до надійності таких систем мають бути одними з найвищих [1, 2].

Забезпечення високої надійності функціонування пристроїв АЛСН можливе лише внаслідок якісного виконання їх технічного обслуговування (ТО) та ремонту, важливу ланку в цьому процесі займають контрольні пункти автоматичної локомотивної сигналізації (КП АЛСН). Саме на них виконується значний обсяг регулювальних та інших робіт, що дозволяють надійно та безпечно експлуатувати пристрої АЛСН під час руху [3].

Особливої уваги заслуговують принципи обладнання контрольних пунктів АЛСН моторвагонних депо (РПЧ), особливо електропоїздів, де технологічний процес не дозволяє в багатьох випадках вико-

нувати одночасне та якісне ТО пристроїв АЛСН на двох головних секціях. Крім того, моральне та фізичне зношення багатьох засобів ТО пристроїв АЛСН на контрольних пунктах вимагає термінового їх вдосконалення [3–5].

Постановка проблеми

Моторвагонне депо електропоїздів РПЧ-1 регіональної філії «Південна залізниця» ПАТ «Укрзалізниця» є ключовою ланкою забезпечення приміських пасажирських перевезень у регіоні [6]. Проте надійність роботи пристроїв АЛСН на моторвагонному рухомому складі (МВРС), що приписаний до РПЧ-1, за останні роки має тенденцію до суттєвого зниження, що виявляється, зокрема – в збільшенні збоїв кодів АЛСН за результатами розшифрування швидкостемірних стрічок електропоїздів цього депо [7]. Гіпотетично, така тенденція може пояснюватися недосконалістю процесів ТО та поточного ремонту (ПР) пристроїв АЛСН на МВРС. Підтвердження або спростування зазначеної гіпотези вимагає проведення дефектування всіх видів забезпечення функціонування КП АЛСН на базі РПЧ-1 з подальшим обробленням цих результатів та виробленням висновків на їх основі.

Аналіз досліджень та публікацій

Основними матеріалами, які стосуються проблеми виконання ТО та ПР на КП АЛСН РПЧ-1, є відомчі технічні вимоги [8], технологічні інструкції [9, 10] на обладнання та функціонування КП АЛСН, внутрішня технічна документація КП АЛСН [11, 12], протоколи, облікові журнали та інші організаційні документи КП АЛСН [7, 12–14]. На підставі дослідження зазначених документів виконується дефектування КП АЛСН.

Визначення мети та задачі дослідження

Метою дослідження є виявлення та аналіз проблем технічного, технічного і організаційного характеру, які знижують якість ТО та ПР пристроїв АЛСН моторвагонного депо, на підставі чого формуються рекомендації по корегуванню всіх видів забезпечення КП АЛСН.

Виклад основного матеріалу. Характеристика випробувальної ділянки КП АЛСН

Дефектування видів забезпечення КП АЛСН виконується як етап передпроектного дослідження об'єкту з метою його подальшої модернізації. На даний час підприємство РПЧ-1 здійснює виконання приміських пасажирських перевезень в межах залізничної ділянки, що охоплює три адміністративні області країни. Приписний парк депо

складає 69 одиниць електропоїздів, характеристики яких визначаються табл. 1 [15].

Всі з наведених електропоїздів комплектуються за своїми технічними характеристиками кількістю головних, причепних та моторних вагонів у загальній кількості від 4-х до 12-ти. Цей параметр визначає довжину технологічних каналів, на яких відбувається ТО та ПР електропоїздів. При цьому в РПЧ-1 максимально прийнята комплекція всіх електропоїздів у 10 вагонів, що і визначає загальну довжину технологічних каналів цього депо. Виходячи із даних, наведених у табл. 1, має також відбуватися обладнання випробувальної ділянки КП АЛСН (з урахуванням довжини головних секцій) та визначення штатного розкладу спеціалізованого цеху АЛСН ШЧ на базі РПЧ-1. При цьому має бути на увазі встановлення на кожній моторвагонній головній секції одного комплекту АЛСН (дешифратор ДКСВ-1 або ДКСВ-1М + підсилювач УК25/50 М), а також однієї поїзної радіостанції (РТМ-4 або РВ-4 «Оріон»), сумарна кількість яких визначає технічну оснащеність цеху, відповідно до якої формується її штат [9, 16, 17].

Виконання робіт із ТО та ПР здійснюється на технологічних каналах №№ 1–3 РПЧ-1. При цьому випробувальна ділянка КП АЛСН розташована на каналах №№ 1 та 2, на яких виконуються роботи з ТО-3 та ПР-1 і ПР-2 МВРС (в рамках даних ТО і ПР передбачена перевірка дії пристроїв АЛСН інструкцією ЦТ-ЦШ-0072) [9].

Таблиця 1

Загальна характеристика приписного парку МВРС РПЧ-1

Серія	Кількість одиниць	Рід тяги (тяговий струм)	Частота кодування, Гц	Довжина вагону (секції), м		
				Головної	Моторної	Причіпної
ЭР2	52	Постійний	50	19,6	19,6	19,6
ЭР2Р	9	Постійний	50	19,6	19,6	19,6
ЭР2Т	6	Постійний	50	19,6	19,6	19,6
ЭТ2	2	Постійний	50	19,6	19,6	19,6

Дефектування технічного забезпечення

При виконанні дефектування КП АЛСН виконується дослідження наступних фактичних даних про його обладнання та процедуру використання:

- відповідність технологічного обладнання КП АЛСН встановленим технічним вимогам (випробувального шлейфу, шаф подачі кодів, ізольованої випробувальної ділянки);
- раціональність технологічного процесу регулювання та перевірки пристроїв АЛСН на КП АЛСН у процесі ТО і ПР;
- можливість вдосконалення технічних засобів та технології перевірки пристроїв АЛСН на КП, а також виправлення виявлених недоліків.

Для виконання зазначених дій здійснюється деталізований аналіз як нормативно-технічної документації на випробувальну

ділянку КП АЛСН (паспортів, актів перевірки, рапортів керівника спеціалізованого цеху, графіків ТО тощо), так і реального технічного стану обладнання із використанням фото- і відеофіксації.

У результаті дослідження реального стану випробувальної ділянки встановлено, що фактичний її стан з точки зору прокладання випробувальних шлейфів відповідає схемі, зображених на рис. 1 [11].

Як видно із рис. 1, схема прокладання шлейфів повздовж технологічних каналів №№ 1 і 2 жодним чином не відповідає технічним вимогам (так, як це показано на рис. 2 для депо електропоїздів) [3, 8].

Тут $L_{\text{лок}}$ – найбільша головних секцій МВРС, що експлуатуються в даному депо. При прокладанні шлейфу на КП АЛСН депо електропоїздів необхідно зробити схрещування шлейфа (рис. 2).

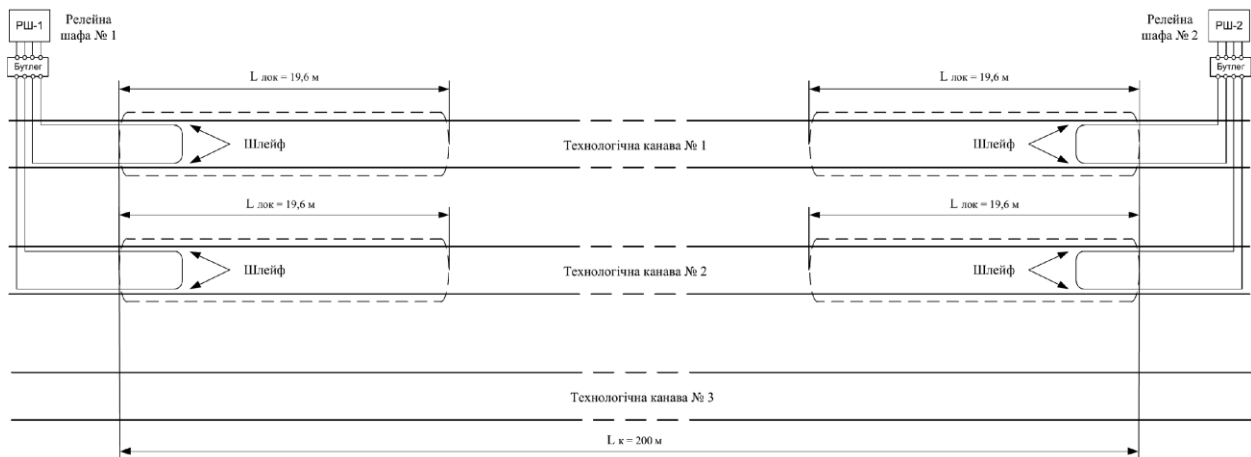


Рис. 1. Діючий стан випробувальної ділянки КП АЛСН моторвагонного депо РПЧ-1

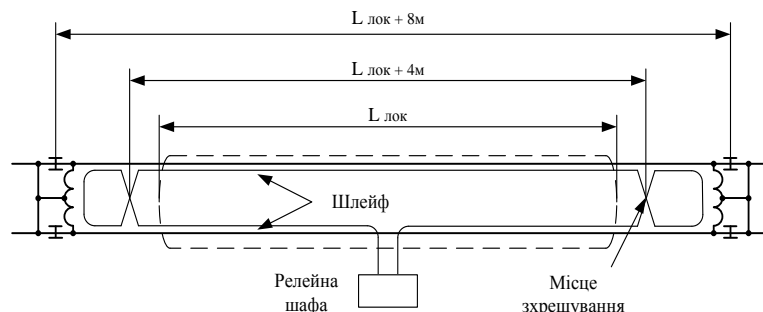


Рис. 2. Типова схема прокладання випробувального шлейфу АЛСН в депо електропоїздів з боку головних електросекцій

Невідповідність полягає в наступних порушеннях обладнання випробувальної ділянки [9, 11]:

- прокладка шлейфа з точки зору технічних вимог взагалі відсутня – шлейф прокладено від релейних шаф лише на відстань 2...3 м вперед розташування приймальних котушок головної моторвагонної секції;

- відсутнє необхідне заводозахисне схрещення навіть в умовах прокладання такого «скороченого» шлейфу;

- відсутня організація ізолюваних ділянок в межах прокладання шлейфу (немає ізолюючих стиків та дросель-трансформаторів ДТ-06-500, що забезпечують обхід тягового струму навколо ізолюючих стиків).

При цьому на рейки всіх технологічних каналів виконано заземлення багаточисельного електрообладнання депо, в тому числі високопотужного – домкратів, зварювальних апаратів, технологічних пресів тощо. В результаті відповідно до виконаного дослідження, зокрема відгуків технічного персоналу КП АЛСН та ділянки точних приладів РПЧ-1, через регулярну роботу електрообладнання та потрапляння формованих нею завод до рейок коректна перевірка дії пристрої АЛСН на бортах доволі часто неможлива. Це пов'язано з тим, що заводи, сформовані електрообладнанням, фактично нищать коди АЛСН, які подаються у випробувальний шлейф. Це проявляється в тому, що при подачі кодів до шлейфу ці коди апаратурою АЛСН на бортах електропоїздів не сприймаються – на локомотивних світлофорах горить при цьому червоне або біле світло (залежно від передісторії його виникнення на ньому).

Таким чином, в рамках модернізації обладнання КП АЛСН РПЧ-1 необхідним є, як мінімум, приведення способу прокладання шлейфу АЛСН у відповідність до технічних норм, регламентованих ЦШ і ЦТ ще МПС Радянського Союзу [11].

Додатково встановлено, що наближена подібність шлейфу, що прокладена в депо, виконана проводом, що не відповідає тех-

нічним вимогам – площа поперечного перерізу сумарна жил кабелю менша за 6 кв. мм., а спосіб кріплення до рейок не відповідає нормативному (рис. 3) [11].

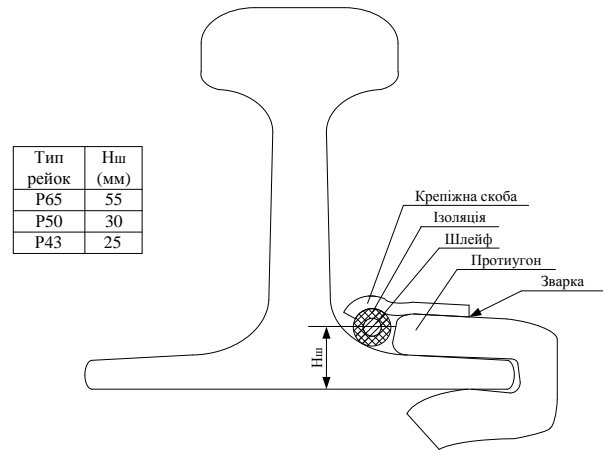


Рис. 3. Нормативне кріплення випробувального шлейфа ШИ-74 до тильного боку рейки із застосуванням протиугонів

Тобто навіть сам дріт не є придатним до експлуатації на КП АЛСН і потребує заміни. Це підтвердило також вимірювання опору ізоляції дроту в місцях його виходу із релейної шафи № 1 мегомметром – фактичний опір ізоляції становить 7 МОм при припустимому значенні не менше 50 МОм.

Обслідування ж апаратури шаф подачі кодів, їхньої нормативно-технічної документації показує, що їх обладнання відповідає встановленим вимогам [9, 11], а графік процесу їх технічного обслуговування повністю виконується [17].

При цьому слід зазначити, що відповідно до інструкції ЦТ-ЦШ-0072 [9] відповідальність за утримання, обладнання та обслуговування шаф подачі кодів покладена на працівників дистанції сигналізації та зв'язку (ШЧ), в той час як за прокладку і утримання шлейфу повністю відповідальне РПЧ. Однак працівники КП АЛСН ШЧ наділяються повноваженням здійснювати інспекційний контроль за дотриманням працівниками РПЧ шлейфів у належному стані – відповідно до цього щороку формується акт комісійної перевірки стану випробувального шлейфу за підписами ста-

ршого електромеханіка СЦБ КП АЛСН та майстра дільниці депо, відповідальної за утримання закріплених за нею пристроїв АЛСН. Аналіз робочої документації цеху АЛСН показав, що керівництво цеху докладає значних зусиль для того, щоб примусити РПЧ-1 виконати свої зобов'язання для приведення шлейфу в заданий технічний стан, а саме [9, 12]:

- встановлено, що акти комісійних оглядів шлейфу старший електромеханік СЦБ (ШНС) цеху АЛСН-ПРЗ не підписує, а замість них пише із збереженням зареєстрованої копії рапорти до керівництва диспетчерської, депо та дорожньої лабораторії;

- встановлено, що ШНС СЦБ періодично вносить раціоналізаторські пропозиції щодо переобладнання випробувального шлейфу, та надає рапорти щодо його незадовільного технічного стану.

Проте через організаційні складнощі та брак фінансування випробувальна ділянка подальше залишається в незадовільному стані. Таким чином, можна відмітити цілеспрямовану роботу цеху АЛСН задля забезпечення належної роботи КП АЛСН, але через ряд проблем і перепон, передусім – фінансових, більшість раціоналізаторських ідей не реалізовано.

Дефектування технологічного забезпечення

Технологічний процес перевірки пристроїв АЛСН на головних секціях електропоїздів вимагає проведення відповідних процедур на кожній окремій головній секції МВРС. При цьому в РПЧ-1 технологічні канави за своєю довжиною повністю вміщують десятивагонний електропоїзд із серій, зазначених у табл. 1. Лише в цьому випадку обидві головні електросекції поїздів дотягуються приймальними котушками АЛСН до випробувального шлейфа. Але фактично десятивагонні електропоїзди в депо експлуатуються лише в «дачний сезон» – коли масово відбуваються дрібні сільськогосподарські роботи в індивідуаль-

них господарствах, тобто в літній час. А в інший час експлуатуються переважно восьми- та шестивагонні електропоїзди.

В таких умовах стаціонарно випробувального шлейфу досягає лише одна кабіна головної секції електропоїзду, інша знаходиться на певній відстані від шлейфу на технологічній канаві. Відповідно до технологічних карт та інструкції ЦТ-ЦШ-0072 [9] в таких випадках необхідно по чергові перевіряти пристрої АЛСН на кожній електросекції, після кожної перевірки переміщати електропоїзд іншою головною секцією до випробувального шлейфу. Тобто алгоритм перевірки у вербальній формі може виглядати приблизно так:

- заведення восьми- або шестивагонного електропоїзда на технологічну канаву таким чином, щоб головна секція, що іде позаду відповідно до руху заходу поїзда, зупинилася в зоні випробувального шлейфу релейної шафи РШ-1;

- виконання процедур перевірки дії пристроїв АЛСН та інших робіт із ТО з використанням випробувального шлейфу на вищезгаданій кабіні секції;

- протягання електропоїзда впритул до іншого кінця технологічної канави – таким чином, щоб перша за рухом поїзда кабіна електросекції знаходилася в зоні випробувального шлейфу релейної шафи РШ 2;

- виконання робіт із перевірки та ТО (ПР) пристроїв АЛСН для другої електросекції моторвагонного електропоїзда.

Схематично така процедура зображена на рис. 4. Всі етапи переміщення та стаціонарного стану МВРС можна розділити на чотири фази:

- фаза 1, для якої характерно початкове переміщення (заїзд) рухомого складу на технологічну канаву;

- фаза 2, що характеризується зупинкою електропоїзда головною секцією 01 в зоні дії випробувального шлейфу, підключеного до релейної шафи РШ-1;

– фаза 3, при якій вже після виконання всіх технологічних робіт із секцією 01 відбувається переміщення МВРС впритул до іншого кінця канами – щоб секція 09 була в зоні дії шлейфу, підключеного до РШ-2;

– фаза 4 – зупинка МВРС головною секцією 09 в зоні дії випробувального шлейфу, підключеного до РШ2 з послідуною перевіркою дії пристроїв АЛСН на цій секції.

Але весь описаний технологічний процес є ідеалізованим, який, згідно виконаного дослідження практично не реалізується. Це пов'язано, передусім, особливостями технологічного процесу роботи моторвагонного депо, який вимагатиме значних часових ресурсів для реалізації даної технології. Точне визначення зазначених надмірних часових затрат вимагає окремого розрахунку.

Фактично, забезпечення виконання описаних вище чотирьох технологічних фаз залежить від оперативного персоналу РПЧ-1 – саме вони мають організовувати відповідне переміщення із зупинками МВРС до різних шлейфів, узгоджуючи ці процеси із відповідальним електромеханіком КП АЛСН.

Згідно інструкцій з охорони праці при технічному обслуговування електрорухомого МВРС всі роботи з ТО і ПР усього рухомого складу на технологічних канавах мають відбуватися [18, 19]:

а) при відключенні високій напрузі 3000 В від контактних проводів над технологічними канавами та опущених пантографів МВРС на канаві – для запобігання ураження працівників депо, суміжних і підрядних організацій електричним струмом;

б) при розрядженні гальмівній магістралі МВРС – задля запобігання випадковому затисненню пальців рук працівників гальмівними колодками при спрацюванні гальм на канаві;

в) при проходженні певного часу (не менше 15 хвилин) після зупинки поїзда на технологічній канаві.

Ще при цьому перед подачею високої напруги на контактний провід має бути

тричі подане сповіщення по гучномовному зв'язку із відповідним попередженням не менше ніж за 15 хвилин до подачі напруги, і ще стільки ж – до початку руху електропоїзда. Після оголошення відповідних повідомлень по подачу високої напруги та/або рух електропоїзда забороняється виконувати будь-які роботи на технологічних канавах, а продовження виконання робіт дозволяється тільки після гучномовного дозволу чергового по депо (РПЧД-1).

Таким чином, при виконанні вищевказаної процедури фазованого переміщення рухомого складу для перевірки дії пристроїв АЛСН (рис. 4) час простою у виконанні робіт із ТО і ПР для кожного електропоїзда, що заводиться на технологічні канами, складатиме:

$$T_{\text{пр.}} = t_{\text{оч_рш-1}} + t_{\text{пер_рш1-2}} + t_{\text{оч_рш-2}}, \quad (1)$$

де $T_{\text{пр.}}$ – сумарний час технологічного простою; $t_{\text{оч_рш-1}}$ – час очікування після закінчення робіт з ТО АЛСН на випробувальному шлейфі біля РШ-1 (закінчення другої фази); $t_{\text{оч_рш-2}}$ – час очікування дозволу на початок робіт після прибуття поїзда секцією 09 на випробувальний шлейф РШ-2 (кінець третьої – початок четвертої фази); $t_{\text{пер_рш1-2}}$ – час переміщення МВРС між шлейфами РШ-1 і РШ-2 (третьа фаза).

При цьому в формулі (1) не врахований незапобіжний час простою після заходу поїзда на канами перед дозволом на роботи (кінець першої – початок другої фази). Даний простій є невід'ємним етапом технологічного процесу роботи РПЧ-1 незалежно від характеру технології обслуговування та ремонту пристроїв АЛСН на моторвагонних секціях цього депо.

В свою чергу, проміжний параметр $t_{\text{пер_рш1-2}}$ тривіально дорівнює часові руху електропоїзда від початкової точки, що відповідає розміщенню секції 01 над шлейфом РШ-1, до кінцевої точки, що відповідає положенню секції 09 над шлейфом РШ-2, і визначається таким чином:

$$t_{\text{пер_рпш1-2}} = \frac{L_k - L_{\text{п}}}{v_{\text{п}}} = \frac{\Delta L_{\text{кп}}}{v_{\text{п}}} \quad (2)$$

де $v_{\text{п}}$ – швидкість руху електропоїзда при переміщенні від РПШ-1 до РПШ-2, м/с; L_k – довжина технологічної канави, м; $L_{\text{п}}$ – довжина електропоїзда, м; $\Delta L_{\text{кп}}$ – довжина шляху переміщення електропоїзда від РПШ-1 до РПШ-2.

Максимальна швидкість електропоїзда відповідно до інструкції з охорони праці РПЧ-1 при переміщенні повздовж канави, при якій забезпечуватиметься виробнича безпека працівників РПЧ-1, суміжних та підрядних організацій, становить 5 км/год, тобто, із урахуванням того, що в одному кілометрі міститься 1000 м, а в одній годині – 3600 с або 60 хв, то:

$$v_{\text{п}} = 5000 \text{ м} / 3600 \text{ с} = 1,3888 \approx 1,4 \text{ м/с} = 84 \text{ м/хв.}$$

Довжина технологічної канави, що розрахована на вміщення десяти вагонного електропоїзда, становить 200 м: $L_k = 200 \text{ м}$.

Довжина поїзда визначається кількістю зчеплених у ньому головних, моторних та причіпних вагонів:

$$L_{\text{п}} = 2L_{\text{лок}} + n_{\text{ваг}}L_{\text{ваг}}, \quad (3)$$

де $L_{\text{лок}}$ – довжина головної секції електропоїзда, м; $L_{\text{ваг}}$ – довжина моторного або причіпного вагону електропоїзда, м; $n_{\text{ваг}}$ – кількість моторних та причіпних вагонів у електропоїзді.

Довжини головних, моторних та причіпних вагонів, відповідно до табл. 1 на електропоїздах приписки РПЧ-1 однакові і становлять 19,6 м: $L_{\text{лок}} = L_{\text{ваг}} = 19,6 \text{ м}$.

Кількість причіпних вагонів у моторвагонному електропоїзді поза дачним сезоном визначається його повною кількістю вагонів у чотири, шість або вісім штук, включаючи головні:

$$n_{\text{ваг}} = m_{\text{п}} - 2, \quad (4)$$

де $m_{\text{п}}$ – загальна кількість головних, моторних та причіпних вагонів у електропоїзді поза дачним сезоном: $m_{\text{п}} = 8, 6$ або 4 .

Параметр $t_{\text{оч_рпш-1}}$ залежить від способу переміщення моторвагонного рухомого складу повздовж канави після першої зупинки секції 01 над випробувальним шлейфом шафи РПШ-1. Таких способів є два:

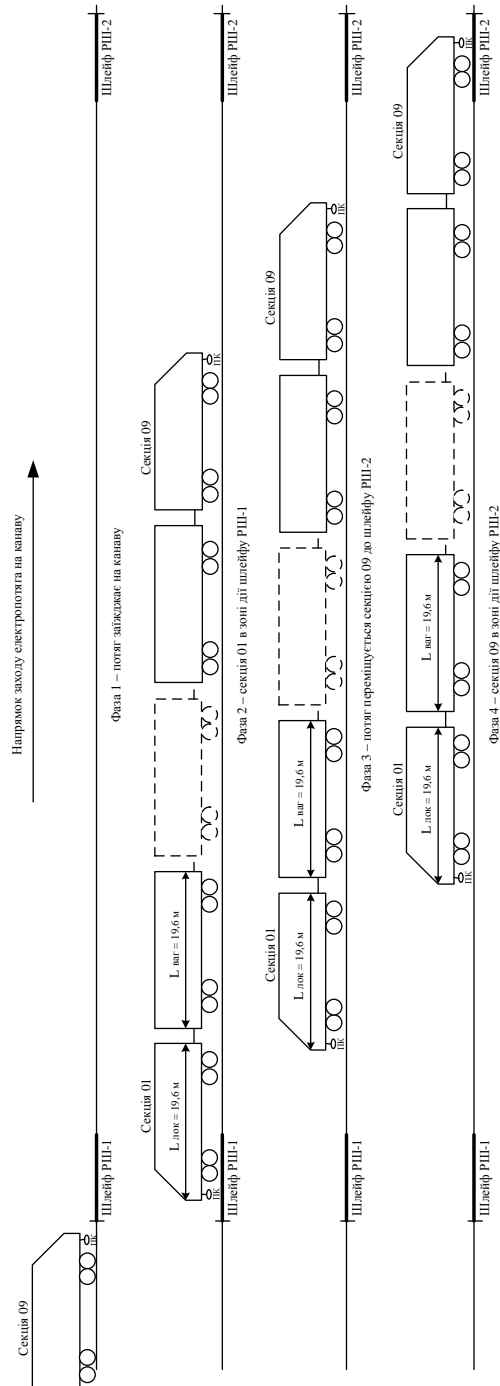


Рис. 4. Технологічні фази переміщення рухомого складу при перевірці пристроїв АЛСН на двох секціях

– електропоїзда переміщуватиметься повздовж канами за рахунок сили власних електродвигунів від енергії, наданої контактним проводом (своїм ходом);

– електропоїзд переміщуватиметься повздовж канами за рахунок тяги або товкання його окремим маневровим локомотивом ЧМЕ-3, що задіяний для виконання маневрової роботи на території РПЧ-1.

При цьому слід враховувати, що перший спосіб передбачає підключення високої напруги до контактного проводу після виконання першого етапу робіт на секції 01 (фаза 2) із необхідною витримкою часу після сповіщення персоналу по гучномовному зв'язку, а також організації витримки часу перед рухом поїзда вже після підключення високої напруги до контактного проводу. В той же час другий спосіб визначає необхідність тільки витримки часу перед початком руху поїзда, оскільки напруга до контактного проводу при ньому не підключається. Відповідно параметр $t_{\text{оч_рш-1}}$ у загальному випадку визначається так:

$$t_{\text{оч_рш-1}} = \begin{cases} t_{3_кп} + t_{3_п}, \text{ рух "своїм ходом"}, \\ t_{3_п}, \text{ задіяння локомотиву}, \end{cases} \quad (5)$$

де $t_{3_кп}$ – час затримки на виконання робіт після підключення високої напруги до контактного проводу над технологічною канавою; $t_{3_п}$ – час затримки на початок руху поїзда після попередження.

Як було вище зазначено, тривалість обох затримок (на підключення напруги та на початок руху) згідно місцевої інструкції з охорони праці однакова і становить 15 хвилин: $t_{3_кп} = t_{3_п} = 15 \text{ хв} = 900 \text{ с}$.

Час очікування виконання робіт вже після наближення секції 09 до шлейфу РШ-2 $t_{\text{оч_рш-2}}$ не залежить від способу переміщення і становить 15 хв: $t_{\text{оч_рш-2}} = 15 \text{ хв} = 900 \text{ с}$. Це пояснюється тим, що відлік часу починається вже після прибуття поїзда до точки РШ-2, коли контактний провід, навіть якщо переміщення відбувалося за його допомогою, вже не задіяний.

Отже, поєднуючи формули (1)–(5), визначається сумарний час вимушеного простою в виконанні робіт на технологічній канаві для кожного заїхавшого туди електропоїзда:

$$T_{\text{пр.}} = v_{\text{п}} \times \{ L_{\text{к}} - 2L_{\text{лок}} + (m_{\text{п}} - 2)L_{\text{ваг}} \} + t_{\text{оч_рш-2}} + \begin{cases} t_{3_кп} + t_{3_п} \\ t_{3_п} \end{cases}. \quad (6)$$

На підставі здійснених за формулою (6) розрахунків, виконаних з урахуванням визначених вище проміжних значень її складових для різних випадків, формується табл. 2 значень вимушеного простою в виконанні робіт із ТО та ПР електропоїздів на технологічних канавах при різній кількості вагонів та різних способах переміщення повздовж канами.

Як видно із виконаних розрахунків, тривалість простою в виконанні робіт на кожній технологічній канаві для кожного електропоїзда, що проходить ТО або ПР, через забезпечення штатного функціонування КП АЛСН залежно від кількості вагонів у МВРС та способу його переміщення складає від 30,5 до 46,5 хвилин. При цьому в середньому за робочу зміну процедури ТО-3 та ПР-1 в середньому на двох технологічних канавах проходять 3–5 електропоїздів. Слід враховувати, що виходячи з наявного штатного розкладу цеху АЛСН (про що піде мова нижче) розпаралелювання робіт із ТО або ПР пристроїв АЛСН навіть на двох канавах різних працівників цеху в більшості випадків неможливе. Тому сумарний час простою слід враховувати як додавання часу простою в виконанні робіт для кожного окремо взятого електропоїзда, що проходить процедури ТО і ПР протягом робочої зміни. Таким чином, загальний сумарний час простою для випадків, коли ТО і ПР в депо проходять за зміну від трьох до п'яти електропоїздів, визначається табл. 3.

Як видно із табл. 3, сумарний час затримки в роботі виробничих ланок РПЧ-1 через забезпечення нормального функціонування КП АЛСН для різних наборів електропоїздів та способів їх переміщення по-

вздовж канав складає від 136,5 до 232,5 хвилин (від приблизно 2,3 до 4 годин). Середній час простою для всіх наборів електропоїздів і всіх способів їх переміщення складає 154 хвилини, тобто більше двох з половиною годин (приблизно 2,6 годин, тобто 2 години 40 хвилин). Підрахунок такого середнього значення для двох способів переміщення є коректним, оскільки технологічний цикл роботи депо не може забезпечити постійно однаковий спосіб переміщення – або своїм ходом, або за допомогою маневрового локомотива (ці способи перемежуються залежно від виниклої конкретної технологічної ситуації). Узагальнено ці процеси демонструються ескізною часовою діаграмою на рис. 5.

Середній простій у роботі ланок РПЧ-1 при знаходженні секції 01 в зоні дії шлей-

фу РШ-1, секції 09 в зоні шлейфу РШ-2 та в процесі переміщення при двох способах його реалізації визначався згідно даних, обрахованих у табл. 3.

Логічно передбачити що так буде, і так відбувається насправді – ні керівництво, ні оперативний, ні технічний персонал РПЧ-1 не сприймають середній час у 2 години 40 хвилин й максимальний час простою в роботі свої ланок у 4 години як прийнятний. Це обумовлюється як об'єктивними, так і суб'єктивними причинами. До перших належить принципова складність виконати якісне ТО або ПР електропоїзда в умовах вимушений перерв у такий час (до чотирьох годин за зміну), до других – небажання виконувати додаткову роботу працівниками РПЧ-1.

Таблиця 2

Розрахунок часу простою в виконанні робіт з ТО та ПР на технологічних канавах через забезпечення функціонування КП АЛСН

Довжина поїзда $L_{\text{п}}$, м	$\Delta L_{\text{кп}}$, м	К-ть вагонів		Швидкість руху $v_{\text{п}}$, м/хв	Спосіб руху	Тривалість простою, хв.			
		$n_{\text{ваг}}$	$m_{\text{п}}$			$t_{\text{пер_рш1-2}}$	$t_{\text{оч_рш-1}}$	$t_{\text{оч_рш-2}}$	$T_{\text{пр.}}$
156,8	43,2	8	6	84	1	$\approx 0,5$	30	15	45,5
					2	$\approx 0,5$	15	15	30,5
117,6	82,4	6	4	84	1	$\approx 1,0$	30	15	46,0
					2	$\approx 1,0$	15	15	31,0
78,4	121,6	4	2	84	1	$\approx 1,5$	30	15	46,5
					2	$\approx 1,5$	15	15	31,5

Таблиця 3

Розрахунок сумарного та середнього сумарного часу простою в роботі виробничих ділянок РПЧ-1 через забезпечення функціонування КП АЛСН

Кількість вагонів, $n_{\text{ваг}}$	Спосіб руху	Тривалість простою для одного поїзда, хв	Сумарна тривалість простою для кількості поїздів, що проходять ТО і ПР протягом зміни, хв			Середнє значення, хв
			3	4	5	
8	1	45,5	136,5	182	227,5	182
	2	30,5	91,5	122	152,5	122
6	1	46,0	138	184	230	184
	2	31,0	93	124	155	124
4	1	46,5	139,5	186	232,5	186
	2	31,5	94,5	126	157,5	126
Середнє значення простою для всіх електропоїздів для двох способів переміщення, хв						154

Подолання зазначених двох перепон для керівника цеху АЛСН є принципово складним. З одного боку, наполягання на реалізації вищенаведеної технології роботи є неодмінною умовою виконання якісного ТО і ПР пристроїв АЛСН на приписних електрпоїздах. З іншого – це наполягання неодмінно призводить до конфліктних ситуацій між працівниками двох служб (Ш та НРП) на території моторвагонного депо, що однозначно не може якісно позначитися на технологічному процесові. Таким чином, єдиним виходом із критичної ситуації, яка склалася, як корекція технології ТО і ПР пристроїв АЛСН на КП АЛСН, яку можна реалізувати лише в реорганізації способу прокладання випробувальних шлейфів та інформатизації кодового обладнання КП.

Таким чином, надмірні витрати часу на виконання технологічних переміщень МВРС позовж технологічних канал роблять діючу технологію ТО та ПР пристроїв АЛСН у РПЧ-1 неефективною та потребують її вдосконалення.

Дефектування організаційного забезпечення

Організаційне забезпечення КП АЛСН визначається, перш за все, кадровим складом (штатним розкладом) спеціалізованого цеху, що здійснює ТО і ПР пристроїв АЛСН на МВРС. Виконання функцій ТО і ремонту пристроїв АЛСН з боку ШЧ здійснюються спеціалізовані цехи АЛСН та пої-

зного радіозв'язку (ПРЗ), що підпорядковуються ШЧ, але розташовані на території закріплених локомотивних або моторвагонних депо і в процесі виконання робіт з ТО та ремонту взаємодіють із відповідними підрозділами депо [9, 19, 20].

Крім того, як впливає із назви цеху (АЛСН-ПРЗ), його працівники здійснюють ТО та ремонт не тільки пристроїв АЛСН, але й ПРЗ на закріплених локомотивах або головних моторвагонних секціях.

Структурна схема спеціалізованого цеху АЛСН-ПРС ШЧ на базі локомотивного (моторвагонного) депо у складі всіх підрозділів наведена на рис. 6.

Очолює роботу всього цеху його керівник, що за штатним розкладом є старшим електромеханіком (ШНС) сигналізації, централізації та блокування (СЦБ) І або ІІ групи – залежного від категорії депо, обсягу закріплених пристроїв та значущості приписного до депо тягового або моторвагонного рухомого складу (ТРС або МВРС). Відповідна група присвоюється працівникам цеху начальником дистанції сигналізації та зв'язку. Не дивлячись на спеціалізацію в галузі саме СЦБ, керівник спеціалізованого цеху є відповідальним також за надійну роботу пристроїв ПРЗ на закріпленому ТРС або МВРС, а також за забезпечення безпечних умов праці підлеглих, матеріально-технічне забезпечення цеху тощо.

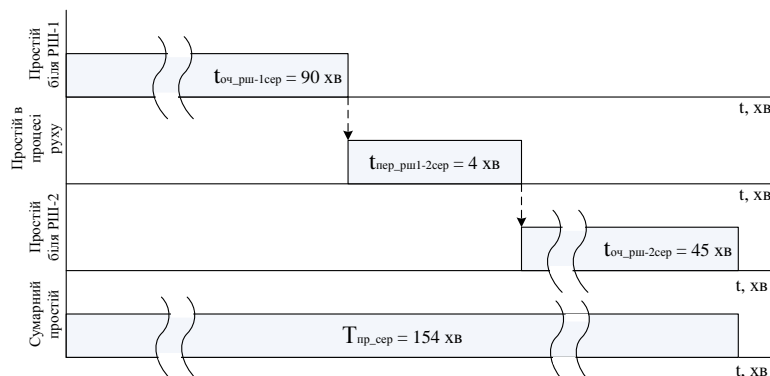


Рис. 5. Часова діаграма середнього простою виробничих ланок РПЧ-1 через забезпечення роботи КП АЛСН

Усі роботи з обслуговування пристроїв АЛС і контролю пильності машиніста мають виконуватися з дотриманням відповідних правил та Інструкцій з охорони праці. Саме за цим має слідити керівник (ШНС) спеціалізованого цеху, що йому ставиться у задачу нормативними документами [10].

Основним структурним підрозділом спеціалізованого цеху є контрольні пункти (КП АЛСН-ПРЗ), які забезпечують перевірку дії пристроїв АЛС і контролю пильності машиніста, а також всі види їх ТО (ТО-1, ТО-2, ТО-3) і поточного ремонту (ПР, а саме ПР-1 і ПР-2) без розбирання приладів АЛСН (дешифраторів, підсилювачів фільтрів).

До складу КП АЛСН входить бригада змінних електромеханіків (ШН) СЦБ I або II групи, що здійснюють роботи із ТО-1 – ТО-3 як пристроїв АЛСН, так і пристроїв ПРЗ на бортах локомотивів або секціях МВРС. При великих обсягах приписного парку, а також при закріпленні за цехом спеціального самохідного рухомого складу (ССРС) на допомогу електромеханікам можуть додаватися електромонтери (ШЦМ) СЦБ 4-х – 6-х розрядів. Режим роботи таких працівників – позмінне чергування в графіку «день–ніч–48», що враховує цілодобовий технологічний цикл роботи депо.

Крім бригади змінних робітників до складу КП АЛСН входить бригада робоче-тижневого (щоденного) режиму роботи, що складається, як правило, з одного-двох ШН

СЦБ I-II групи і, у разі доцільності, одного ШЦМ СЦБ. Така бригада здійснює більш детальні роботи з ПР пристроїв АЛСН-ПРЗ на бортах ТРС, МВРС або ССРС на окремих технологічних ділянках. Працівники цієї бригади можуть залучатися для виконання робіт з підміни представників бригади змінних працівників у разі їх відсутності (по причині відпустки, лікарняного, залучення до цільових робіт дистанції тощо).

Окремою важливою ланкою в складі спеціалізованого цеху АЛСН-ПРЗ слугує контрольно-ремонтний пункт (КРП) АЛСН, що є аналогом контрольно-випробувального пункту (КВП) СЦБ. У складі КРП АЛСН працюють електромеханіки СЦБ III групи та, за необхідності, електромонтери СЦБ, які здійснюють періодичне або епізодичне регулювання дешифраторів, фільтрів та підсилювачів АЛСН, їх ремонт (із зривом пломб та розбиранням), а також ремонт загальних ящиків (монтажних шасі) АЛСН. Не дивлячись на значно більш кваліфікований характер роботи, працівники КРП мають посадовий оклад на 10...20 % нижчий, ніж у електромеханіків КП, і це не є справедливим порядком речей. Такий порядок речей потребує неодмінної зміни в процесі реформування залізничного транспорту України. Треба сподіватися, що новий Голова Правління ПАТ «Українська залізниця», який обраний на цю посаду за конкурсом, справедливо віднесеться до умов і оплати праці підлеглих працівників.

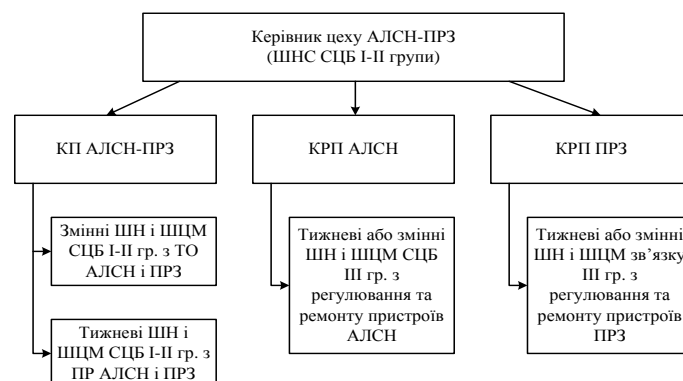


Рис. 6. Структурна схема спеціалізованого цеху з ТО та ремонту пристроїв АЛСН та ПРЗ на базі депо

І останньою ланкою у складі спеціалізованого цеху є КРП ПРЗ, працівники якого (електромеханіки зв'язку III групи та електромонтери) здійснюють регулювання та ремонт пристроїв ПРЗ (радіостанцій та їх елементів), знятих з бортів та секцій ТРС, МВРС чи ССРС.

Спеціалізований цех АЛСН-ПРЗ має бути оснащений всіма необхідними технічними засобами: випробувальними шлейфами, шафами подачі кодів, випробувальними стендами для регулювання та ремонту апаратури АЛСН та ПРСЗ. Штатний розпис цеху формується згідно нормативів чисельності працівників підрозділів служб сигналізації та зв'язку наказом начальника дистанції за поданням інженера з нормування і організації праці ШЧІпр.

Кадрове забезпечення спеціалізованого цеху АЛСН-ПРЗ на базі РПЧ-1 формується відповідно до структурної схеми, зображеної на рис. 5, та відповідних нормативів чисельності штату, визначених на підставі технічних одиниць, забезпечених комплектами АЛСН та радіостанцій ПРЗ [19].

Згідно технічної оснащеності депо РПЧ-1 пристроями АЛСН і ПРЗ штатних

розпис цеху АЛСН-ПРЗ характеризується табл. 4. Як видно з неї, фактичний штат спеціалізованого цеху АЛСН-ПРЗ складає лише 8 чоловік, при нормі в 11, тобто $8/11 \times 100\% = 72,7 \approx 73\%$ від необхідної норми.

При цьому слід враховувати, що табл. 4 визначає лише списочний контингент цеху, в той час як явочний контингент, з урахуванням специфіки виробництва і наявного біологічного ресурсу, значно нижчий.

Фактично, за результатами передпроектного дослідження об'єкту, встановлені наступні особливості формування явочного контингенту цеху:

- вісім місяців на рік хоча б один із працівників цеху знаходиться в тарифній відпустці (тривалість відпустки для різних працівників цеху, залежно від вислуги років та часу прийняття на роботу, складає від 24 до 31 календарних днів);
- двоє працівників цеху відзначаються слабким здоров'ям, відповідно до чого практично цілий рік хоча б один працівник цеху знаходиться в стані тимчасової непрацездатності (на лікарняному);

Таблиця 4

Штатний розпис спеціалізованого цеху АЛСН-ПРЗ при РПЧ-1

Посада	Група/розряд	Підрозділ цеху	Основні обов'язки	Кількість, чол	
				за нормами	фактично
ШНС СЦБ	I	КП-КРП АЛСН-ПРЗ	Керівництво цехом, організація його роботи	1	1
ШН СЦБ	II	КП АЛСН	ТО-3 пристроїв АЛСН і ПРЗ	4	4
ШН СЦБ	II	КП АЛСН	ПР-1,2 пристроїв АЛСН і ПРЗ	2	1
ШН СЦБ	III	КРП АЛСН	Регулювання та ремонт пристроїв АЛСН	1	1
ШН зв'язку	III	КРП ПРЗ	Регулювання та ремонт пристроїв ПРЗ	1	1
ШЦМ СЦБ	5-6	КП-КРП АЛСН	Допоміжна робота в ТО і ремонті пристроїв АЛСН	1	–
ШЦМ зв'язку	5-6	КП-КРП ПРЗ	Допоміжна робота в ТО і ремонті пристроїв ПРЗ	1	–
Всього, чол:				11	8

– один працівник цеху навчається в університеті за заочною формою, тому періодично бере навчальну відпустку під час екзаменаційно-залікових сесій;

– на посади працівниць КРП АЛСН беруться молоді випускниці університету залізничного транспорту, які не пропрацювавши і року виходять у відпустку за доглядом за дитиною до досягнення нею трирічного віку.

Останній фактор формує ситуацію, коли попередня працівниця КРП АЛСН вийшла в декретну відпустку, а наступна ще не призначена їй на заміну. Тривати це може до декількох місяців. Крім того, після надходження працівниці, що заміняє ту, що перебуває в декретній відпустці, зазвичай пов'язане з необхідністю направлення нової працівниці на навчання і стажування до іншого цеху АЛСН-ПРЗ, так як цією новою працівницею є зазвичай також молода випускниця університету залізничного транспорту.

Таким чином, фактично явочний контингент цеху АЛСН-ПРЗ становить не 8 чоловік, а 5–6 чоловік, причому хронічно недокомплектованою залишається бригада змінних працівників («день–ніч–48»), що виконує роботи з ТО-3. В результаті до роботи в змінному режимі залучаються не тільки електромеханік СЦБ з виконання ПР, але й старший електромеханік цеху і електромеханіки КРП АЛСН і ПРЗ. В той же час електромеханіки змінної бригади вимушені крім основної своєї роботи виконувати й роботи з ПР-1,2 пристроїв АЛСН на бортах, а також і засвоювати основні принципи регулювання апаратури на КРП (за принципом електромеханік КП АЛСН регулює, а електромеханік КРП АЛСН за ним дорегулює, робить записи в журналах регулювання, розписується на бірці та накладає пломбу на відрегульований прилад).

Однак навіть у більш кращій економічній ситуації розширити фактичний штат цеху АЛСН-ПРЗ не вдавалося. Годі й це робити в нинішньому скрутному станови-

щі, у якому перебуває країна. Крім того, як вже зазначалося, морально застарілими є не тільки обладнання, але й сам технологічний процес технічного обслуговування пристроїв АЛСН (як і іншої техніки СЦБ та зв'язку). Тому виходом із ситуації є оптимізація і раціоналізація технології ТО та ремонту пристроїв АЛСН на бортах МВРС, при якій наявного штату технічних працівників буде більш ніж достатньо. В той же час змінення технології ТО та ПР пристроїв АЛСН неодмінно тягне за собою впровадження відповідної елементної бази, яка цю технологію забезпечувати.

Таким чином, модернізація обладнання КП АЛСН РПЧ-1 охоплює поняття не тільки реконструкції апаратно-технічного забезпечення, але й реорганізації технологічного і кадрового забезпечення цеху.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку

Виконано передпроектне дослідження (дефектування) об'єкта модернізації, яким є контрольний пункт АЛСН моторвагонного депо (РПЧ-1). Дослідження включало в себе дефектування апаратно-технічного забезпечення контрольного пункту, аналіз технології роботи та кадрового забезпечення спеціалізованого цеху АЛСН-ПРЗ відповідного депо. В процесі дослідження встановлено наступне:

– апаратно-технічне забезпечення КП АЛСН в частині прокладання та елементної бази випробувальних шлейфів не відповідає встановленим технічним нормам, працівники РПЧ-1 не вживають заходів для нормалізації ситуації;

– навіть за умови приведення шлейфів до технічних норм фактична технологія технічного обслуговування пристроїв АЛСН із урахуванням всього технологічного процесу роботи РПЧ-1 не дозволяє організувати повноцінну перевірку дії пристроїв АЛСН для восьми-, шести- і чотирьохвагонних електропоїздів, так як її повноцінна

реалізація вимагатиме середнього простою в роботі основних технологічних ланок депо в 2 години 40 хвилин за зміну;

– явочний контингент цеху АЛСН-ПРЗ не дозволяє повноцінно організувати якісний процес ТО та ремонту пристроїв АЛСН без понаднормованої роботи своїх працівників, що вимагає невідкладних рішень.

Таким чином, негайною є необхідність комплексної модернізації обладнання, технологічного та організаційного забезпечення КП АЛСН цеху.

Бібліографічний список

1. Системы интервального регулирования движения поездов на перегонах [Текст] / А. Б. Бойник, С. В. Кошевой, С. В. Панченко, В. А. Сотник. – Харьков: УкрГАЗТ, 2005. – 256 с.
2. Сотник, В.О. Удосконалення методів та засобів дешифрування інформаційних сигналів систем автоматичної локомотивної сигналізації [Текст]: дис. канд. техн. наук: 05.22.20 «Експлуатація та ремонт засобів транспорту» / В. О. Сотник; Українська державна академія залізничного транспорту. – Харків: УкрДАЗТ, 2015. – 186 с. – Бібліогр.: С. 157 – 172.
3. Леонов, А.А. Техническое обслуживание автоматической локомотивной сигнализации [Текст] / А. А. Леонов. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1982. – 255 с.
4. Автоматическая локомотивная сигнализация и авторегулировка [Текст] // Брылев А. М., Поупе О., Дмитриев В.С. [и др.]. – М.: Транспорт, 1981. – 319 с.
5. Emery, D. Enhanced ETCS L2/L3 control system [Text] / D. Emery // Advanced train control systems. – Southampton: WIT Press, 2010. – P. 113-122.
6. ПАТ «Укрзалізниця». Загальна інформація. Департамент приміських пасажирських перевезень [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.uz.gov.ua/about/general_information/main_departments/department_of_suburban_passenger_transportation/ – Загол. з екрана. – (Дата звернення: 12.03.2017).
7. Журнал обліку збоїв кодів АЛСН моторвагонного депо РПЧ-1 на основі розшифровки швидкостемірних стрічок // ВП «Моторвагонне депо «Харків» РПЧ-1 регіональної філії «Південна залізниця» ПАТ «Укрзалізниця». Цех експлуатації. – Розпочато 01.10.2016 р. – Пронумеровано, прошнуровано та скріплено печаткою 100 с.
8. Технические требования на оборудование контрольных пунктов АЛСН испытательными шлейфами ТИ-196. / Утверждены 18.06.1974 г. Главным управлением локомотивного хозяйства и Главным управлением сигнализации и связи МПС СССР. – М.: МПС, 1994. – 8 с.
9. Інструкція з технічного обслуговування локомотивних пристроїв автоматичної локомотивної сигналізації безперервного типу (АЛС) і пристроїв контролю пильності машиніста на залізницях України. ЦТ-ЦШ-0072. [Текст] // Затв. Держ. адміністр. залізничного транспорту України №279-Ц від 01.12.2003 р. – К., 2004. – 92 с.
10. Инструкция о порядке пользования автоматической локомотивной сигнализацией непрерывного типа (АЛС) и устройствами контроля бдительности машиниста на железных дорогах Украины ЦТ-ЦШЭОТ-0027 [Текст] // Утв. приказом Министерства транспорта Украины от 27.01.2000 г. № 32 – К., 2000. – 30 с.
11. Испытательный шлейф КП АЛСН ИШ-74. Технический паспорт [Текст] / Группа технической документации ШЧ-5 ЮЖД. – 4 с.
12. Журнал обліку пристроїв СЦБ ШУ-2 // ВП «Основа́нська дистанції сигналізації та зв'язку» ШЧ-5 регіональної філії «Південна залізниця» ПАТ «Укрзалізниця». Цех № 38 АЛСН-ПРЗ. – Розпочато 14.09.2016 р. – Пронумеровано, прошнуровано та скріплено печаткою 100 с.
13. Протоколи сумісних засідань фахівців та керівництва ШЧ-5 та РПЧ-1 Південної залізниці №№ 1 – 12 за 2016 р. / Х.: ШЧ-5, РПЧ-1, 2016 р. – 32 с.
14. Рапорт старшого електромеханіка СЦБ цеху № 38 АЛСН-ПРЗ ШЧ-5 від 02.09.2010 р. Зареєстровано канцелярією ШЧ-5 03.09.2010 р. – 2 с.
15. Журнал обліку заміни приладів АЛСН // ВП «Основа́нська дистанції сигналізації та зв'язку» ШЧ-5 регіональної філії «Південна

- залізниця» ПАТ «Укрзалізниця». Цех № 38 АЛСН-ПРЗ. – Розпочато 02.03.2015 р. – Пронумеровано, прошнуровано та скріплено печаткою 100 с.
16. Журнал обліку заміни приладів ПРЗ // ВП «Основ'янська дистанції сигналізації та зв'язку» ШЧ-5 регіональної філії «Південна залізниця» ПАТ «Укрзалізниця». Цех № 38 АЛСН-ПРЗ. – Розпочато 01.04.2014 р. – Пронумеровано, прошнуровано та скріплено печаткою 100 с.
17. Типові норми часу на технічне обслуговування пристроїв СЦБ [Текст] // Затв. Держ. адміністр. залізничного транспорту України № 162-ЦЗ від 02.11.2010 р. – К., 2011. – 151 с.
18. Правила безпечної експлуатації пристроїв автоматики, телемеханіки та зв'язку на залізницях України. ЦШ-0030. [Текст] // Затв. Держ. адміністр. залізничного транспорту України №288-Ц від 17.11.2003 р. – К., 2004. – 155 с.
19. Эксплуатационные основы железнодорожной автоматики и телемеханики [Текст]: учебник / Вл. В. Сапожников, И. М. Кокурин, В. А. Коновалов [и др.]; под

общ. ред. Вл. В. Сапожникова. – М.: Маршрут, 2006. – 248 с.

Ключові слова: процес, моторвагонне депо, обслуговування, обладнання, ланки, дефектування, автоматична локомотивна сигналізація, шлейф, електропоїзд, технологічна канава.

Ключевые слова: процесс, моторвагонное депо, обслуживание, оборудование, звенья, дефектовка, автоматическая локомотивная сигнализация, шлейф, электропоезд, технологическая канава.

Keywords: process railcar depot, services, equipment, parts, troubleshooting, automatic locomotive signaling, train, electric train, technological gutter.

Рецензенти:

д.т.н., проф. М. М. Бабаєв,
д.ф.-м.н., проф. В. І. Гаврилюк.

Надійшла до редколегії 10.02.2017.
Прийнята до друку 28.02.2017.

УДК 656.259.12 : 656.256.3

В. В. МЕЛЕШКО – заступник начальника Департаменту автоматики, телемеханіки та зв'язку, ПАТ Укрзалізниця, soyuz@mail.ru

ТЕХНІЧНИЙ КОНТРОЛЬ СИСТЕМ ЧИСЛОВОГО КОДОВОГО АВТОБЛОКУВАННЯ

Вступ

У сучасних умовах роботи залізничного транспорту України, для яких характерна його конкуренція з іншими видами транспорту, очевидною є необхідність підвищення конкурентоспроможності та ефективності роботи залізниць, розвитку їх транзитного та експортного потенціалу, пропускнуєї спроможності, збільшення швидкості руху, покращення якості обслуговування тощо. Ефективність перевізного процесу напряму пов'язана з надійністю пристроїв керування рухом поїздів та організацією їх технічного обслуговування. Основним напрямком підвищення ефективності обслуговування систем сигналізації та блокування є розробка автоматичних і автоматизованих систем контролю та керування [1, 7]. Значна кількість відмов систем сигналізації, централізації та блокування (СЦБ) припадає на рейкові кола та систему числового кодового автоблокування, якою обладнано більше половини магістральних колій в Україні. Складність розробки пристроїв контролю та діагностування системи числового кодового автоблокування (ЧК АБ) пов'язана з їх автономністю та розміщенням апаратури на значних відстанях вздовж перегону.

Мета

Метою роботи є визначення основних напрямків розробки сучасної автоматизованої системи діагностування пристроїв ЧК АБ на основі аналітичного огляду існуючих та перспективних засобів технічного контролю систем, а також ефективності впровадження неперервного діагностування технічного стану пристроїв на перегоні.

Огляд систем диспетчерського контролю

Система частотного диспетчерського контролю (ЧДК) використовується на залізницях України з 1966 року та набула великого поширення.

Система дозволила поїзному диспетчеру візуально контролювати показання станційних світлофорів і рух поїздів на ділянці, а черговим по станції – рух поїздів на перегонах. Одночасно з її допомогою забезпечується дистанційне диспетчерське керування другорядними транспортними об'єктами, такими як прилади зв'язку та освітлення посадкових платформ, роз'єднувачі високовольтних ліній і т.д., а також автоматичний контроль стану найбільш відповідальних елементів перегінних пристроїв АБ і переїзної сигналізації [2].

У системі ЧДК передбачена трирівнева система контролю. Інформація від сигнальних і переїзних установок автоблокування й автоматичної переїзної сигналізації (нижній рівень) безперервно надходить на проміжні станції (середній рівень). Після обробки вона передається на центральний пост поїзному диспетчеру й диспетчеру ШЧ (верхній рівень).

Як датчик зайнятості блок-діляниць і станційних колій у системі ЧДК використовуються контакти колійних реле. При числовому кодовому автоблокуванні колійне реле працює в імпульсному режимі, тому в систему диспетчерського контролю включаються контакти сигнального реле Ж, яке залежить від колійного реле і перебуває під струмом, якщо блокділяниця вільна й у знеструмленому – якщо зайнята. Коли

блок-дільниця вільна, у лінію посиляється сигнал тональної частоти, який сприймається відповідним приймачем на станції. Спрацьовує реле на його виході, контакти якого включають індикацію на табло в чергового по проміжній станції. Інформація про стан поїздів передається з перегонів на прилеглі станції по лінії подвійного зниження напруги від камертонних генераторів (ГК), що розміщуються в шафах автоблокування, і вузькосмугових приймачів, встановлених на станціях.

Частотні сигнали на проміжних станціях після ввідного щитка посиляються широкосмуговим підсилювачем УПДК-2 і надходять на входи восьми приймачів – ПК5-1...ПК5-8. Кожен приймач має два вузькосмугових підсилювачі із швидкодіючими реєструвальними реле, контакти яких керують режимами увімкнення ламп табло чергового по станції (ДСП) і підключені до входів розподільника РДК-2. Кожен вузькосмуговий підсилювач має один двоконтурний камертонний фільтр типу ПФ1-1...ПФ1-16. Передача інформації на центральний пост здійснюється циклічно за допомогою 32-тактного розподільника типу РДК-2, лінійного генератора однієї з модифікацій (ГЛЗ-1...ГЛЗ-15), блока керування роботою розподільника типу БУР, блока передачі інформації типу БПІ [7].

Прилади ЧДК також забезпечують безперервний контроль справності апаратури перегінних і переїзних пристроїв СЦБ. У разі виникнення пошкодження генератор диспетчерського контролю посиляє в лінію кодований сигнал, що сприймається на одній з прилеглих станцій.

Відповідна лампа на табло в чергового починає блимати в такт з кодом, що передається, загоряючись в інтервалах і згасаючи в імпульсах.

Розшифровка повідомлень про характер пошкоджень виконується ДСП візуально за режимом горіння контрольних ламп табло.

Система ЧДК часто використовується на залізницях України, але в її роботі можна виділити низку суттєвих недоліків. До

них можна віднести застарілу елементну базу, що потребує ретельного контролю, точної настройки та періодичного ремонту. Обсяг діагностичних даних, який можна отримати за допомогою цієї системи, є недостатнім для повного аналізу стану пристроїв автоблокування. Також сприйняття інформації, що надається системою ЧДК, є досидить незручним процесом, що потребує додаткових знань від електромеханіка та не гарантує її однозначного розшифрування, а як наслідок можливі помилки під час аналізу діагностичної інформації, що призводить до зайвих втрат у часі в ході пошуку та усунення несправностей. Система здатна передавати лише дискретну інформацію про стан обмеженої кількості об'єктів діагностування, що звужує можливості аналізу стану пристроїв автоблокування та зменшує вірогідність прийняття правильного рішення про необхідність ремонту. До того ж спорадичний принцип передачі інформації не забезпечує достатньої швидкості роботи системи, що стає особливо важливим, враховуючи сучасну тенденцію до збільшення швидкості руху потягів.

У результаті виконаного аналізу можна зробити висновок, що система частотного диспетчерського контролю не є системою технічного діагностування в сучасному розумінні цього терміну та не здатна якісно виконувати свої функції в умовах подальшого розвитку швидкісного руху.

Тому вважаємо, що подальший розвиток цієї системи в завданні діагностування пристроїв автоблокування не є раціональним. Необхідно шукати нові підходи до процесу збору та передачі діагностичної інформації, знаходити засоби, що дозволяють аналізувати не лише дискретні, а й неперервні параметри сигнальної установки, вносити функції автоматичного аналізу та прийняття попереднього рішення.

Аналіз роботи системи автоматизованого диспетчерського контролю. Більш сучасною, з позиції обладнання, що використовується, та обсягу діагностичних функцій, порівняно із системою ЧДК є автома-

тизована система диспетчерського контролю (АСДК), яка є апаратно-програмним комплексом, що забезпечує диспетчерський контроль стану окремих вузлів та пристроїв автоматики, телемеханіки та зв'язку, поїзних пересувань, вільності та зайнятості приймально-відправних колій, рейкових кіл та блок-дільниць перегону, стану переїздів, вхідних і вихідних світлофорів на станції та інші функції [4]. Система АСДК виконує збір, обробку та передачу у власну мережу цифрової та аналогової інформації з пристроїв СЦБ на станціях та перегонах, виявлення їх передвідмовних станів та реєстрацію відмов у режимі реального часу.

Система технічного діагностування та моніторингу АСДК являю собою багаторівневу інформаційну мережу. Технічні та програмні засоби нижнього рівня призначені для збору, первинної обробки інформації про стан пристроїв на станціях та перегонах, а також її концентрації на лінійних пунктах системи, що розташовані на постах електричної централізації. Вони складаються з електричних датчиків стану контрольованих технічних засобів і контролерів диспетчерського контролю.

Апаратно-програмні засоби верхнього рівня являють собою автоматизовані робочі місця (АРМ), для оперативного та технічного персоналу, а також локальні обчислювальні мережі на станціях та центральних постах. На цьому рівні виконується приймання та маршрутизація потоків інформації від контролерів диспетчерського контролю, її обробка та виведення на відповідне АРМ мережі АСДК. Також на цьому рівні здійснюється її зв'язок із зовнішніми обчислювальними системами, зокрема автоматизованою системою оперативного керування (АСОУП), та автоматизованою системою служби СЦБ.

Як канал зв'язку використовуються фізичні волоконно-оптичні лінії зв'язку.

Керування системою та відображення діагностичної інформації виконується за допомогою автоматизованих робочих місць відповідних працівників. Кожне АРМ реа-

лізує певні загальносистемні функції, такі як: графічне відображення на екрані монітора у вигляді мнемосхеми інформації про реальний стан пристроїв СЦБ, ведення системних протоколів, протоколів роботи пристроїв СЦБ та дій персоналу, стан зв'язку між елементами системи, відображення інформації в разі виникнення позаштатних ситуацій, налаштування та коректування системних параметрів [9, 10].

АРМ кожного конкретного типу користувачів має певні особливості, що пов'язані з характером роботи користувача та доповнюються характерними програмними засобами та підсистемами.

Отже, можна зробити висновки, що система АСДК являє собою сучасну багатофункціональну систему діагностики та моніторингу, відповідає всім вимогам до систем такого класу та виконує різноманітні функції, пов'язані з автоматизацією керування рухом поїздів та збором, збереженням та відображенням діагностичної інформації, яка використовується під час прийняття рішень відповідними працівниками.

Однак водночас у системі АСДК можна виділити низку недоліків, до яких слід віднести недостатньо повний збір інформації про стан пристроїв автоблокування, малу кількість аналогової інформації, що не дозволяє визначити всі можливі варіанти відмов в системах автоблокування. Відсутність ґрунтового автоматичного аналізу діагностичної інформації не дає змоги визначати місце та тип відмов у роботі пристроїв СЦБ та перекладає завдання аналізу на інженерний та експлуатаційно-технічний персонал дистанції сигналізації та зв'язку.

Систему АСДК можна брати за основу під час розробки нових систем технічної діагностики пристроїв автоблокування, враховуючи виявлені її недоліки.

Огляд роботи апаратно-програмного комплексу диспетчерського контролю. Апаратнопрограмний комплекс диспетчерського контролю (АПК-ДК) призначений для централізованого контролю, діагностики технічного стану автоблокування, а та-

кож організації керування рухом поїздів у рамках диспетчерського кола [11].

На відміну від вищеназаних систем, у АПК-ДК широко використовуються засоби сучасної обчислювальної техніки, що дозволило значно розширити функціональні можливості системи в завданнях як реєстрації стану об'єктів діагностування, так і аналізу та прогнозування стану апаратури сигнальних установок. Це значний крок у переході від планово-профілактичного методу обслуговування пристроїв автоблокування, який загальноприйнятий на залізницях України, до обслуговування за фактичним станом об'єктів контролю.

Таким чином, система АПК-ДК виконує такі головні функції: оперативне знімання інформації про стан блок-дільниць перегону, рейкових кіл, світлофорів та інших засобів автоматики й передавання її на лінійні пункти системи, що розташовані на станціях; передача інформації для її використання поїзним диспетчером, диспетчером ШЧ та іншими відповідальними працівниками як на рівні відділення залізниці, так і на рівні управління відповідних служб.

Діагностичні функції системи виражені в можливостях логічного визначення хибної вільності блок-дільниці та попарного зближення потягів, аналізу роботи пристроїв, виявлення їх передвідмовного стану, оптимізації пошуку та усунення відмови, можливості архівації та відновлення подій, а також ведення обліку ресурсу пристроїв за їх фактичним напруцюванням [5, 8].

Структура системи АПК-ДК включає три підсистеми, що реалізовані з використанням програмованих контролерів, промислових комп'ютерів та спеціального програмного забезпечення, а також каналів зв'язку між ними, що дозволяє організувати обчислювальну мережу та автоматизовані робочі місця користувачів.

На нижньому рівні виконується збирання, перетворення та концентрація інформації про стан перегінних та станційних пристроїв СЦБ.

Вона відображається на АРМ чергового по станції та чергового електромеханіка, а також передається на другий рівень системи та на АРМ поїзного диспетчера та диспетчера ШЧ.

Інформацію про стан перегінних пристроїв отримують за допомогою автоматики контролю сигнальних точок (АКСТ), що виконана на базі спеціалізованих контролерів. Найбільше поширення має блок АКСТ-СЧМ, який являє собою генератор частоти, що формує циклічні восьмиімпульсні частотні посилення в лінію зв'язку відповідно до стану контрольованих об'єктів.

При восьми вихідних імпульсах завдяки маніпуляції за тривалістю імпульсів та інтервалів виникає можливість контролювати стан семи дискретних і двох порогових датчиків. Інформація про стан станційних пристроїв вводиться в систему за допомогою програмованих індустриальних контролерів ПИК-10 та ПИК-120.

Зібрана інформація далі надходить до підсистеми середнього рівня двома послідовними лініями типу потокова петля або конвертором RS-485 [6, 12].

Підсистема середнього рівня складається з концентраторів лінійного поста, які збирають інформацію від підсистеми нижнього рівня, та забезпечують її обробку, зберігання, архівацію та передачу іншим концентраторам центрального поста. Концентратори, що виконані на базі промислових комп'ютерів, об'єднуються в мережу передачі даних, яка забезпечує обмін інформацією з підсистемою верхнього рівня.

Верхній рівень системи складається з інформаційного та програмного забезпечення верхнього рівня, яке дозволяє реалізувати виконання спеціальних технологічних функцій та організувати різноманітні види АРМ відповідальних працівників: поїзного диспетчера, диспетчера ШЧ, диспетчера залізничного вузла, оператора обліку вагонів та інших, а також забезпечує обмін інформацією з іншими інформаційними системами та АРМ працівників рівня управління залізниці та відповідних служб.

З усього вищепереліченого можна зробити висновок, що система АПК-ДК є сучасним комплексом технічної діагностики та моніторингу роботи пристроїв СЦБ, що виконує широкий спектр завдань, які висуваються до сучасних систем діагностики. Завдяки модульній структурі системи весь комплекс програмного забезпечення є більш гнучким щодо можливості додавання нових завдань, без зміни всього комплексу. Використання АПК-ДК дозволяє модернізувати процес керування рухом поїздів, автоматизувати велику кількість рутинної роботи з обслуговування пристроїв автоблокування, пришвидшити процес пошуку несправностей та зменшити їх загальну кількість за рахунок виявлення передвідмовних ситуацій.

З урахуванням усіх названих переваг цієї системи в ній все ж таки можна виявити деякі недоліки, серед яких: недостатня кількість вимірювальних параметрів сигнальної установки автоблокування, що не дає можливості повністю автоматизувати роботу з перевірки параметрів системи, також відсутній вибір діагностичної інформації за її якістю, не повною мірою виконані функції прогнозування стану апаратури автоблокування.

Таким чином, систему АПК-ДК можна використати як основу для подальших розробок систем діагностування пристроїв автоблокування, враховуючи вказані недоліки.

Аналіз роботи системи технічної діагностики пристроїв автоблокування та автоматичної переїзної сигналізації. Система технічної діагностики пристроїв автоблокування та автоматичної переїзної сигналізації (СДТС-АПС) призначена для автоматизації функції контролю та діагностування стану сигнальних точок числового кодового автоблокування та автоматичної переїзної сигналізації [12].

Основні стратегічні завдання, що виконує система СДТС-АПС, це: збір і первинна обробка інформації для систем віддаленого моніторингу технічного стану сигнальної

точки автоблокування, підвищення надійності функціонування системи автоблокування за рахунок прогнозування технічного стану пристроїв залізничної автоматики та оперативного виявлення факту та причини відмови, впровадження технологій обслуговування з мінімальною кількістю персоналу, завдяки автоматичному виконанню графіка роботи з обслуговування сигнальної точки, заміна генераторів і станційного обладнання ЧДК.

Система СДТС-АПС побудована за ієрархічним принципом та включає лінійні пункти діагностування, що поділяються на станційний та перегінний рівні, і центральний пост діагностування і моніторингу. Перегінний рівень містить лінійне перегінне обладнання, а саме функціональні контролери типу КДСТ-ДС, за допомогою яких здійснюють збирання дискретної інформації про стан пристроїв сигнальної установки, вимірювання часових характеристик кодової апаратури. Напругу в контрольних точках вимірює контролер типу КДСТ-АС, за якістю електроживлення на основному та резервному фідерах стежить контролер КДСТ-ФД. Взаємозв'язана робота цих контролерів дозволяє виявляти передвідмовні стани апаратури й відхилення параметрів від встановлених норм, формує передачу діагностичної інформації на станційний рівень по лінії ДСН або виділеній фізичній лінії зі швидкістю 9 600 Бод.

Інформація від усіх сигнальних установок надходить на концентратор КДСТ СВ, який увімкнений у локальну мережу з інтерфейсом RS-485 з лінійним концентратором інформації ЛКИ, який керує лампами на пульт-табло чергового по станції та автоматизованого робочого місця електромеханіка.

Діагностична інформація зберігається та відображається на АРМ електромеханіка у вигляді мнемосхем, таблиць та графіків. Далі діагностична інформація про стан сигнальних установок та результати вимірювань передається на вищий рівень центрального поста діагностики та моніторингу.

Час доставки інформації від перегінного обладнання до АРМ електромеханіка становить не більше 5 с. Для аналізу відмов передбачене програмне забезпечення для протоколювання передвідмовних і відмовних станів відповідно до необхідних параметрів [7, 3].

Проаналізована система має великі функціональні можливості та можливості з діагностування стану пристроїв автоблокування та автоматичної переїзної сигналізації, використовує сучасну елементну базу та використовується як основний функціональний вузол для центрів діагностування та моніторингу.

Попри це процеси аналізу та відображення діагностичної інформації все-таки потребують удосконалення.

Результати

На основі аналізу існуючих та перспективних засобів технічного контролю систем числового кодового автоблокування визначено, що основним недоліком існуючих систем є недостатня кількість контрольованих параметрів, зокрема це стосується рейкових кіл. Обмеженість інформації, яка передається на станцію, суттєво зменшує ефективність контролю, що зводиться практично тільки до працездатності пристроїв.

Збільшення параметрів (дискретних та аналогових), що контролюються та передаються на станцію, суттєво ускладнює та збільшує вартість системи. Розв'язати цю суперечність можливо через розробку централізовано-розподіленої системи з розміщенням АРМ електромеханіка на станції і локальних контролерів на сигнальних точках [13, 14].

З урахуванням неповної інформації, що передається на центральний комп'ютер, великої кількості випадкових факторів, що діють на рейкові кола та на систему ЧК АБ в цілому, а також розмитості критеріїв працездатного стану окремих вузлів ЧК АБ система має включати інтелектуальну підт-

римку прийняття рішення в умовах неповної інформації та нечітких умов.

Наукова новизна та практична значимість

У результаті аналізу виявлено, що існуючі засоби технічного контролю автоблокування не можуть надати повну оцінку стану перегінних пристроїв сигналізації та блокування, запропоновано критерії до розробки нових систем технічного діагностування зі збільшеною кількістю діагностичної інформації та її автоматичним аналізом.

Результати аналізу можуть бути використані на практиці для вибору засобу технічного контролю пристроїв автоблокування, а також для подальшої розробки систем діагностування автоблокування, що дозволяє здійснити поступовий перехід від планово-профілактичної моделі обслуговування до обслуговування за фактичним станом контрольованих пристроїв.

Висновки

Існуючі засоби технічного контролю пристроїв автоблокування не можуть надати повної інформації про стан пристроїв ЧК АБ. У зв'язку з цим виникає необхідність розробки нових діагностичних комплексів з урахуванням розширення обсягу діагностичної інформації та впровадження функцій її автоматичного аналізу з метою автоматичного встановлення ситуаційного діагнозу стану пристроїв ЧК АБ та, в разі виникнення відмови, автоматичної локалізації її причини.

Бібліографічний список

1. Биргер, И. А. Техническая диагностика / И. А. Биргер. – М. : Машиностроение, 1978. – 240 с.
2. Бойник, А. Б. Диагностирование устройств автоматики и агрегатных единиц / под ред. А. Б. Бойника и др. – Х. : ЧП Изд-во «Новое слово», 2008. – 304 с.
3. Бондаренко, Б. М. Повышение безопасности движения поездов путем усовершенствования процесса диагностики приборов железнодорожной автоматики /

- Б. М. Бондаренко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2012. – Вип. 42. – С. 7-11.
4. Газов, О. К. Системы диспетчерской централизации / О. К. Газов, В. А. Кононов, А. Б. Никитин. – М. : Маршрут, 2002. – 407 с.
 5. Дмитренко, И. Е. Техническая диагностика и автоконтроль систем железнодорожной автоматики и телемеханики / И. Е. Дмитренко. – М. : Транспорт, 1986. – 144 с.
 6. Дунаев, Д. В. Анализ отказов и методы контроля рельсовых цепей / Д. В. Дунаев, И. О. Романцев, В. И. Гаврилюк // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2010. – Вип. 32. – С. 212-217.
 7. Протопов, О. В. Система диагностики технических средств автоблокировки и переездной сигнализации / О. В. Протопов, А. Б. Мозжевилов // Автоматика, связь и информатика. – 2008. – № 12. – С. 5-8.
 8. Сапожников, В. В. Основы технической диагностики / В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников. – М. : Маршрут, 2004. – 318 с.
 9. Сапожников, Вл. В. Системы диспетчерской централизации / под ред. Вл. В. Сапожникова. – М. : Маршрут, 2002. – 407 с.
 10. Сфарбаков, А. М. Основы технической диагностики / А. М. Сфарбаков, А. В. Лукьянов, С. В. Пахомов. – Иркутск : Изд-во ИрГУПС, 2006. – 216 с.
 11. Федорчук, А. Е. Новые информационные технологии: автоматизация технического диагностирования и мониторинга устройств ЖАТ / А. Е. Федорчук, А. А. Сепетий, В. Н. Иванченко. – Ростов : Изд-во РостГУПС, 2008. – 443 с.
 12. Шаблин, А. Н. Центр технической диагностики и мониторинга на Октябрьской дороге / А. Н. Шаблин, Г. Ф. Наносов, П. А. Капуста // Автоматика, связь и информатика. – 2007. – № 5. – С. 23-25.
 13. Mascardi, V. Monitoring and diagnosis railway signaling / V. Mascardi, D. Briola, M. Martelli // Intern. Workshop on Computational Intelligence in Security for Information Systems. – Genova : University of Genova, 2008. – P. 23-31.
 14. Zoetewij, P. Automated fault diagnosis in embedded systems / P. Zoetewij, J. Pietersma, R. Abreu // Proc. of the 2nd IEEE Intern. Conf. on Secure Systems Integration and Reliability Improvement. – Yokohama : IEEE, 2008. – P. 103-110.

Ключові слова: числове кодове автоблокування, системи технічного діагностування, централізовано-розподілений принцип обробки діагностичних даних.

Ключевые слова: числовая кодовая автоблокировка, системы технического диагностирования, централизованно-распределенный принцип обработки диагностических данных.

Keywords: digital code autoblock system, system of technical diagnostics, centralized-distributed principle of diagnostic data processing.

Рецензенти:
д.т.н., проф. А. Б. Бойнік,
д.т.н., проф. А. М. Муха.

Надійшла до редколегії 13.02.2017.
Прийнята до друку 28.02.2017.

УДК 629.488:629.4.6

В. Ю. Шапошник – м.н.с. галузевої науково-дослідної лабораторії «Вагони»,
Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка
В. Лазаряна, v.sh91@mail.ru, ORCID 0000-0003-4701-6491

НОВІ СТРАТЕГІЇ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ І РЕМОНТУ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ

Вступ

Система технічного обслуговування і ремонту (далі – СТОіР) - це комплекс організаційних і технологічних заходів по обслуговуванню і ремонту рухомого складу. СТОіР включає планування, підготовку, реалізацію технічного обслуговування і ремонту з заданою послідовністю, періодичністю та в залежності від обраної стратегії технічного обслуговування і ремонту. Для цих цілей розробляються конкретні нормативи тривалості міжремонтних періодів, ремонтних циклів та ін.

Система ТОіР вантажних вагонів покликана забезпечувати:

- 1) підтримку вагона в працездатному стані і запобігати несподіваному виходу його з ладу;
- 2) правильну організацію технічного обслуговування і ремонту;
- 3) збільшення часу корисного використання вагона за рахунок підвищення якості технічного обслуговування і ремонту, зменшення простою в ремонті;
- 4) своєчасну підготовку необхідних запасних частин і матеріалів.

Періодичність надходження вантажного вагона до ремонту визначається із умови забезпечення безпеки руху, екологічних та економічних ризиків. При проходженні вагоном встановленого виду ремонту: депоовського (ДР), капітального (КР), капітального з продовженням терміну служби (КРП) його відновлений ресурс повинен забезпечити задані показники

надійності на наступний міжремонтний період.

Аналіз попередніх досліджень

При впровадженні вагонів нового покоління, а також експлуатації існуючого парку вантажних вагонів постають питання оптимізації пробігів вагонів між плановими видами ремонту та підвищення ефективності діючої СТОіР в цілому [1]. Вирішенням цих питань на етапі будівництва та експлуатації рухомого складу займається теорія надійності. Оцінці показників надійності рухомого складу залізниць та вантажних вагонів зокрема присвячені публікації [2–5], огляд яких дозволяє зробити висновок, що діюча на планово-попереджувальна система ремонту рухомого складу не здатна повною мірою підтримувати належний технічний стан вагонного парку, та не відповідає сучасним тенденціям підвищення надійності вантажних вагонів. Одним з варіантів подолання перелічених недоліків є оптимізація пробігів вантажних вагонів між плановими видами ремонту [6, 7], але більш ефективний шлях – це поступовий перехід до нових стратегій СТОіР [8, 9].

Аналіз публікації підтверджує актуальність та необхідність проведення досліджень з пошуку нових систем ремонту вантажних вагонів.

Результати дослідження

Існуючі стратегії які можуть бути застосовані для СТОіР вантажних вагонів приведені на рис. 1

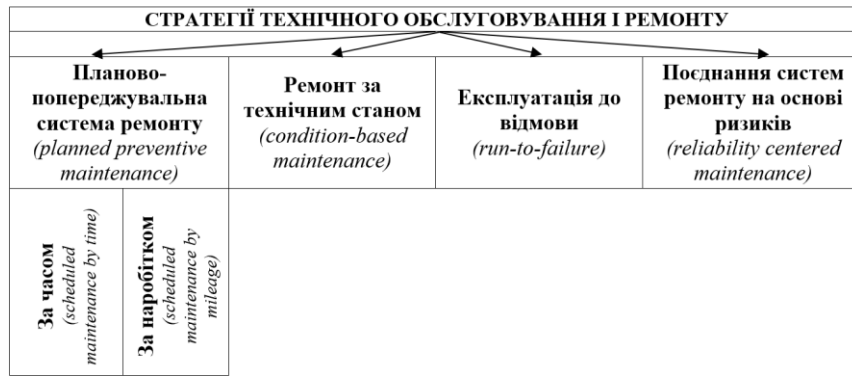


Рис. 1. Стратегії СТОіР

Детальніше розглянемо кожну з наведених стратегій ремонту.

Планово-попереджувальна система ремонту вантажних вагонів (далі – ППР) заснована на попереджувальному профілактичному впливі. Накопичена за багато років експлуатації рухомого складу статистика дозволяє розрахувати середній час роботи вантажного вагона, тобто норми періодичності потрапляння в ремонт, рис.2.

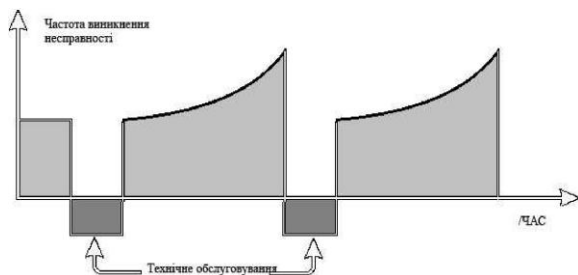


Рис. 2. Стратегія планово-попереджувальної СТОіР

До переваги стратегії ППР можна віднести:

- контроль тривалості міжремонтних періодів роботи;
- регламентований та завчасно відомий час простою в ремонті;
- прогнозування витрат на ремонт вантажного вагона його агрегатів та вузлів;
- розрахунок чисельності ремонтного персоналу в залежності від програми ремонту.

Разом з тим система ППР вантажних вагонів має багато недоліків, основні з яких наступні [10]:

- до поточного відчіпного ремонту потрапляє значна кількість вагонів (відсутність гарантій безвідмовної роботи вагонів в проміжку між плановими ремонтами);
- значна кількість фінансових, матеріальних витрат та людських ресурсів на обслуговування і ремонт;
- застарілі нормативи, які регламентують потрапляння вагонів до ремонту, в своїй більшості розроблені за часів СРСР;
- не відображаються фактичні потреби у технічному обслуговуванні і ремонті конкретного вагона в залежності від умов його експлуатації, роду перевезеного вантажу, неякісний ремонт, матеріали, запасні частини;
- недовикористання ресурсу деталей та вузлів вагона;
- значна кількість регламентованих ремонтних робіт виконуються без особливої необхідності;
- проведення необґрунтованих ремонтів збільшує можливі помилки монтажу та викликає повторне виникнення зношувань при припрацюванні, а значить зменшення ресурсу деталей;
- ресурс вагона обмежений роками (нормативно встановлений термін служби), а не фактичним станом.

Після декількох ремонтних циклів вагон являє собою комплекс вузлів які мають різний ресурс (старі деталі, нові деталі, відремонтовані деталі) тому застосовувати до нього класичну систему ППР не доцільно.

Ремонт за фактично виконаною роботою (далі – за наробітком) Система заснована на постановці об'єкта в ремонт при досягненні заданого значення обраного критерію. Найчастіше в техніці таким критерієм виступають мотогодини (для двигунів), кілометри пробігу (рухомого складу) та ін.

Перехід на таку систему ремонту на залізничному транспорті став можливий після того, як була організована система обліку пробігу рухомого складу. Перевагою такої системи ремонту є те, що потрапляння до ремонту відбувається по факту виконаної роботи, тобто вагон який експлуатувався більш інтенсивно потрапить до ремонту раніше, ніж той що був менше задіяним у процесі перевезень.

До недоліків такої системи слід віднести необхідність створення інформаційної бази. Невирішеним питанням також залишається вибір оптимального параметру, який буде точно відповідати стану об'єкта. Так, наприклад, ремонт по пробігу не враховує багато факторів реальної експлуатації, які безпосередньо впливають на стан вантажного вагона, а саме, умови та райони експлуатації, завантаженість, експлуатаційні навантаження та ін.

Стратегія за наробітком повинна передбачати можливість регулювання заданого напрацювання для різних моделей і типів вагонів в залежності від показників їх надійності, терміну служби, особливостей конструкції, модернізації і т.п.

Ремонту за технічним станом (ділі – за станом) передбачає, що потрапляння вагона в ремонт відбувається після досягнення, згідно вимог нормативно-технічної документації граничного стану вагона, подальша експлуатація якого загрожує безпеці руху, або робить його експлуатацію нерентабельною. Ремонт за станом використовує принцип попередження відмов із забезпеченням максимально можливого напрацювання при мінімальних експлуатаційних витратах, рис.3. Технічна складова обслу-

говування рухомого складу за технічним станом засновано на тому, що існує взаємозв'язок між можливими технічними несправностями і діагностичними параметрами, які можливо контролювати, а більшість відмов вагона виникають через дефекти, а не термін роботи. Основою ремонту і технічного обслуговування за станом – є технічне діагностування і прогнозування стану вагона і його вузлів з залученням математичного апарату теорії надійності [11, 12].



Рис. 3. Стратегія СТОіР за станом

Практика показує, що впровадженням стратегії технічного обслуговування і ремонту за технічним станом можливо досягти скорочення витрати від 5% до 24% і більше [10].

Застосування системи ремонту і технічного обслуговування, орієнтованого на фактичний стан вагона і його вузлів, має наступні переваги:

- постановка вагона в ремонт відбувається тільки при необхідності, виходячи з умов запобігання загрозі безпеці руху, економічної доцільності, екологічної безпеки.
- заміна тільки окремих деталей та вузлів вагона при досягненні їх граничного зносу або відхиленні робочих параметрів (більш повне використання ресурсу вагона та його окремих вузлів у порівнянні з ППР);
- більший міжремонтний термін служби вагона у порівнянні з ППР;
- враховуються фактичні потреби у технічному обслуговуванні і ремонті конкретного вагона в залежності від умов його

експлуатації, роду перевезеного вантажу, якості попереднього ремонту, матеріалів та запасних частин.

Впровадження системи ремонту за станом потребує додаткових фінансових витрат на збільшення існуючих та впровадження нових систем моніторингу та діагностування стану вагона його деталей та вузлів в експлуатації та в ремонті. Забезпечення сучасними засобами діагностики оглядачів вагонів для контролю важкодоступних та найбільш відповідальних елементів вагона, використання деталей та вузлів з маркерами зносу [13].

Експлуатація до відмови це найпростіша система ремонту яка передбачає здійснення операцій з технічного обслуговування і ремонту обладнання, або його заміну при досягненні критичного стану яке, як правило, характеризується неможливістю виконання заданих функцій, тобто втратою працездатності (відмовою), рис.4. Така система найменш вимоглива з усіх до рівня організації і планування праці.

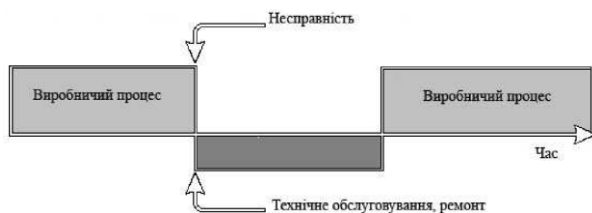


Рис. 4. Стратегія СТОіР до відмови

До переваг такої стратегії ремонту слід віднести найбільшу тривалість міжремонтного періоду яка дорівнює терміну експлуатації об'єкта (повне використання ресурсу), точне визначення моменту виходу обладнання з експлуатації та ін.

При впровадженні такої системи ремонту слід враховувати її два головних недоліки – витрати, які спричинить вихід об'єкта з експлуатації, та наслідки відмови які повинні включати в себе технологічні, екологічні та економічні наслідки.

Незважаючи на зазначені недоліки, у разі недорогого, типового обладнання, відмова якого не спричиняє критичних наслідків, дана стратегія успішно застосовується на

залізничному транспорті, в тому числі і в вагонному господарстві.

Поєднання систем ремонту на основі ризиків. Існуючі базові системи ремонту – ППР, за станом і до відмови у базовому своєму вигляді для великого виробництва або складної машини з підвищеними показниками надійності застосувати дуже складно, а подекуди і неможливо. У таких випадках різні системи ремонту поєднуються.

Технічне обслуговування засноване на оцінці ризиків (далі – RCM) отримало свій розвиток у 1960-х роках в авіації. Згідно з міжнародним стандартом ІЕС 60300-3-11 технічне обслуговування орієнтоване на надійність являє собою методологію виявлення і вибору політики попередження відмов (далі - політика управління відмовами), націленої на ефективне забезпечення необхідних складових безпеки, готовності і економічної експлуатації виробів [14]. Політика управління відмовами може включати в себе дії з технічного обслуговування, зміни правил застосування, конструктивні доробки та інші дії, націлені на послаблення наслідків відмов [15].

Основними етапами програми RCM є:

- а) планування програми RCM;
- б) аналіз функціональних відмов;
- в) відбір задач;
- г) впровадження;
- д) безперервне вдосконалення.

Максимальну користь приносить проведення RCM-аналізу на стадії розробки виробів, коли його результати можуть безпосередньо вплинути на їх конструкцію. Разом з тим RCM-аналіз також корисний на етапах експлуатації, коли можуть бути вдосконалені зміст і методи ТО, проведені конструктивні і інші доробки.

Стратегії технічного обслуговування вантажних вагонів засновані на оцінці ризиків являють собою процес систематичного визначення вірогідності відмов і наслідків відмов для деталей та вузлів вагона з метою визначення оптимальних, пріоритетних термінів наступного технічного огляду та стратегій СТОіР.

Методика обслуговування, орієнтована на надійність вантажного вагона:

- концентрує зусилля на працездатності вагона в цілому, а не на працездатності його кожного вузла;
- різні вузли та деталі вагона мають різну значимість для виконання процесу перевезення, а їх відмова призводить до різних наслідків;
- забезпечення надійної роботи особливо важливих вузлів, вихід з ладу яких становить загрозу безпеці руху.

Такий підхід передбачає класифікацію вузлів вагона відповідно до їх впливу на безпеку руху. Для системи RCM може бути визначений вид обслуговування і ремонту для кожного вузла чи елемента вагона, заснований на відповідних стратегіях. Застосування RCM передбачає впровадження електронної бази, де фіксується стан кожного вузла чи деталі вагона.

Поєднання системи ППР з ремонтом за станом. В системі ППР підставою для визначення об'єкта ремонту, термінів та обсягів робіт є напрацювання обладнання, а при ремонті за технічним станом фактичний стан обладнання. Повна відмова від ППР вантажних вагонів неможлива з багатьох причин, головною з яких є неможливість діагностувати стан деяких вузлів та деталей вагона. Наприклад, повітророзподільники та авторежими, повинні підлягати ППР так як їх перевірка потребує зняття з вагону та випробування на стенді, також в їх складі є гумові діафрагми та манжети, які повинні бути замінені на нові в термін встановлений виробником та інструкцію з ремонту гальмівного обладнання вагонів. Деякі вузли вагона експлуатуються за станом, наприклад, гальмові колодки, експлуатація яких обмежена їх граничним станом (товщиною).

Поєднання системи ППР з ремонтом за станом передбачає різні концепції СТОіР для кожного вузла вантажного вагона. Значні ремонтні роботи на вагоні повинні виконуватися тільки за результатами поперед-

нього діагностування та контролю його фактичного стану.

Комбінований критерій. Система заснована на застосуванні комбінованого критерію постановки вагонів в деповський ремонт, що включає первинний норматив - обсяг виконаної роботи (загальний пробіг) і вторинний норматив - гранично допустиму календарну тривалість використання вагона між ремонтами. Така система зараз успішно діє на залізницях СНГ.

Вилучення вагона з експлуатації в ремонт здійснюється, коли досягнутий один (будь-який) з двох нормативів. Перевищення нормативів не допускається. Контроль і облік інформації про фактично виконаному міжремонтному пробігу вагона в межах кожної дороги здійснюються на підставі повідомлень інформаційно-обчислювальними центрами доріг. При пред'явленні вагонів до підготовки під завантаження працівникам ПТО повинні бути повідомлені відомості про пробіг. При відсутності в довідках відомостей про необхідність відчеплення вагона в ремонт оглядачі вагонів повинні керуватися датою допустимої календарної тривалості використання вагона після ремонту, нанесеної на кузові.

Алгоритм вибору стратегії технічного обслуговування і ремонт

Для вдосконалення існуючої чи переходу до нової СТОіР вантажних вагонів необхідно оцінити надійність вагона у міжремонтному періоді. Для цього необхідно вирішити наступні питання:

- визначити слабкі елементи, які лімітують час між технічним обслуговуванням чи ремонтом, і при можливості визначити способи підвищення їх надійності;
- обрати мінімально достатнє число контрольованих параметрів для отримання обґрунтованої інформації про стан об'єкта діагностування (вантажного вагона) на поточний момент часу;

– обґрунтувати області допустимих змін контрольованих параметрів;

– розробити нові алгоритми та вдосконалити існуючі програми діагностування технічного стану окремих вузлів, деталей та вагона в цілому, як складної механічної системи.

Опираючись на отриманні данні розроблюється математичні моделі, які описують процес експлуатації вантажного вагона з урахуванням впливу СТОіР на відмови вагона, які можуть варіюватися від незначних до катастрофічних. При впровадженні нових систем ремонту необхідно враховувати їх вплив на показники надійності та вирішувати задачу мінімізації експлуатаційних витрат.

Висновки

Ефективна експлуатація вагонів можлива тільки за умови мінімізації витрат на їх технічне обслуговування і ремонт при забезпеченні заданих показників надійності та безпеки руху. Тому актуальною є задача науково обґрунтованого вибору стратегії СТОіР вантажних вагонів, яка буде враховувати фактичний стан вагона його конструктивні особливості, підтримувати показники надійності вагона у встановлених межах та бути економічно вигідною. Для цього повинен бути проведений комплексний аналіз надійності вантажного вагона з урахуванням впливу СТОіР та розроблені відповідні математичні моделі.

Бібліографічний список

1. Пастухов, И. Ф. Конструкция вагонов / И. Ф. Пастухов, В. В. Пигунов, Р. О. Кошкарда. – М.: Альянс, 2016. – 504 с.
2. Мурадян, Л. А. Probabilistic-physical approach to describe and determine the reliability of cars / Л. А. Мурадян. // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту. – 2016. – № 5 (65). – С. 168–177.
3. Мурадян, Л. А. Побудова системи дослідження надійності вантажних вагонів /

Л. А. Мурадян. // Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті. – 2015. – № 10. – С. 90–95.

4. Мурадян, Л. А. Методологические основы определения эксплуатационных характеристик несамоходного подвижного состава / Л. А. Мурадян, В. Ю. Шапошник, А. А. Мищенко. // Наука и прогресс транспорта. Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта. – 2016. – № 1 (61). – С. 169–179.
5. Пузир, В. Г. Застосування сучасних стратегій при удосконаленні системи технічного обслуговування і ремонту локомотивів / В. Г. Пузир, Ю. Н. Дацун. // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. – 2014. – вип. 149. – С. 75–80.
6. Мельничук, В. О. Удосконалення системи технічного обслуговування та ремонту вантажних вагонів / В. О. Мельничук, С. В. Мямлін, І. В. Ісепенко, В. В. Мямлін. // 36. наук. праць ДонІЗТ. – 2010. – Вип. 22. – С. 101–108.
7. Райков, Г. В. Научно-теоретические принципы назначения межремонтных нормативов вагонов / Г. В. Райков, С. В. Петров. // Вестник ВНИИЖТ. – 2012. – №. 4. – С. 15–18.
8. Дуцун, Ю. Н. Выбор стратегии технического обслуживания и ремонта локомотивов на основе методов нечеткой логики / Ю. Н. Дацун // Вісник східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2015. – № 1. – С. 77–80.
9. Басов, Г. Г. Вибір системи технічного обслуговування та ремонту нового наукоємного рухомого складу міського та приміського транспорту / Г. Г. Басов, А. П. Фалендиш, П. О. Харламов, І. О. Бабіч. // Коммунальное хозяйство городов. – 2006. – Вип. 72. – С. 275–281.
10. Мямлін, С. В. Определение стратегии технического обслуживания и ремонта вагонной техники / С. В. Мямлін, Л. А. Мурадян, В. Ю. Шапошник // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. Материалы 7-ой международной научно-технической конференции. – ИрГУПС, 2016. – С. 369–373.
11. Мурадян, Л. А. Building models of freight cars refusals involving bayesian approach /

- Л. А. Мурадян // EUREKA: Physics and Engineering –2016. – № 1. – С. 54–60.
12. Босов, А. А. Теоретические основы рационального содержания подвижного состава железных дорог : монография / А. А. Босов, П. А. Лоза. – Д. : «Дриант», 2015. – 252 с.
13. Бабаєв, А. М. Гальмова колодка з маркерами зносу / А. М. Бабаєв, В. Ю. Шапошник // Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту : тези доп. 76 Міжнар. наук.-практ. конф. (Дніпропетровськ, 19–20 трав. 2016 р.) / Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2016. – С. 26–27
14. IEC 60300-3-11 Reliability centred maintenance. International standard – 94 page [Електрон. ресурс] // Режим доступа: <https://webstore.iec.ch/publication/1296>
15. McDermott, R.E. The Basics of FMEA / R. E. McDermott et al. – Productivity Press, New York, 2009. – 168 p.

Ключові слова: система технічного обслуговування і ремонту, вантажний вагон, надійність.

Ключевые слова: системы технического обслуживания и ремонта, грузовой вагон, надежность.

Keywords: repair and maintenance system, freight wagons, reliability.

Рецензенти:

д.т.н., проф. А. Б. Бойнік,
д.т.н., проф. І. Е. Мартинов.

Надійшла до редколегії 17.02.2017.
Прийнята до друку 28.02.2017.

УДК 625.4:622.235.63

В. Д. ПЕТРЕНКО – д.т.н., профессор, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, petrenko.diit@gmail.com
Е. М. ШАТАЙКИН – начальник тоннельного отряда № 14 ПАО «КИЕВМЕТРОСТРОЙ», shat.g@ukr.net

А. М. ШТАНДАРИН – главный инженер тоннельного отряда № 14 ПАО «КИЕВМЕТРОСТРОЙ», anat.st.70@ukr.net

А. Л. ТЮТКИН – д.т.н., доцент, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, alexeytutkin@gmail.com

В. П. КУПРИЙ – к.т.н., доцент, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, kupriy@i.ua

ПАРАМЕТРЫ И ТЕХНОЛОГИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ВЗРЫВОВ ПРИ ПРОХОДКЕ ЛЕВОГО ПЕРЕГОННОГО ТОННЕЛЯ МЕТРОПОЛИТЕНА В Г. ДНЕПРЕ

Постановка проблемы

Отработка параметров буровзрывных работ при проходке специалистами ТО-14 ПАО «Киевметрострой» перегонного тоннеля Днепропетровского метрополитена выполнялась с целью выявления наиболее эффективного режима его организации и проведения в сложных инженерно-геологических условиях.

После ознакомления с геолого-структурными и гидрогеологическими данными предстоящей проходки, физико-механическими характеристиками горных пород, имеющимся на участке буровым оборудованием, ассортиментом взрывчатых веществ и средств инициирования были проанализированы наиболее существенные факторы, влияющие на качество выполнения взрывных работ. В результате чего было принято совместное решение специалистов ТО-14 ПАО «Киевметрострой» и учеными Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта (кафедра «Мосты и тоннели») о поэтапной отработке при трех обязательных опытных взрывах наиболее эффективных схем размещения и взрывания шпуровых зарядов в забое выработки. При производстве всех трёх опытных взрывов Центром по проблемам взрывных работ Днепропет-

ровского национального горного университета были выполнены замеры интенсивности сейсмического воздействия на жилые здания в районе строительства перегонного тоннеля, проходимого на глубине 20...25 м, и находящиеся на расстоянии 35...55 м от места проведения взрывов.

В современных условиях при проведении выработок диаметром 5,5...6,5 м в крепких и крепчайших породах проблемным является вопрос выбора рационального количества интервалов замедления и групп зарядов, взрываемых комбинированно короткозамедленно и замедленно, с применением неэлектрического способа взрывания для получения высокого уровня интенсификации дробления пород, чёткого контура выработки кругового сечения с минимальным перебором пород и снижения сейсмического действия на здания и сооружения, находящиеся вблизи проходимой выработки.

Таким образом, задача выбора эффективной технологии ведения буровзрывных работ при подземном строительстве перегонного тоннеля в крепчайших и обводненных горных породах является актуальной.

Цель работы

Целью научно-практической работы является обоснование рациональных пара-

метров и выбор эффективной технологии ведения буровзрывных работ путем проведения опытных взрывов для строительства перегонных тоннелей в обводненных гранитах на глубине 20...25 м.

Сравнительный анализ современных технологий ведения буровзрывных работ

В связи с непрерывным научно-техническим развитием подземного строительства и горных разработок в области технологий ведения буровзрывных работ происходят существенные изменения, обусловленные усложнением горно-геологических и гидрогеологических условий, увеличением размеров поперечного сечения и длины тоннельных и других выработок, созданием новых взрывчатых веществ и средств их инициирования.

Важное значение имеет опыт строительства с применением буровзрывного способа Бескидского железнодорожного двухпутного тоннеля в Карпатах в Украине сечением $115,4 \text{ м}^2$ и длиной 1760 м [1]. При этом было применено комбинированное короткозамедленное и замедленное взрывание шпуровых зарядов в песчаниках, алевролитах и аргиллитах с коэффициентом крепости по Протодюконову 4...8 баллов. При общей массе зарядов при проходке каллоты и штроссы, на которые было поделено поперечное сечение тоннеля, взрываемых с применением неэлектрического способа системы «Нонэль», были получены положительные результаты по дроблению пород, образованию чёткого контура тоннеля и снижению сейсмического действия при взрыве зарядов как по каллоте, так и по штроссе.

Известен также передовой опыт отработки параметров буровзрывных работ при проходке железнодорожного тоннеля № 2 Юкспорском руднике ОАО «Апатит» на Кольском полуострове РФ [2].

При этом взрывание зарядов в шпурах глубиной 3,5 и 4,5 м в апатитах и фосфори-

тах с коэффициентом крепости по Протодюконову 6...8 балла привело к снижению коэффициента использования шпура (КИШ) до 0,698...0,852. Это было обусловлено тем, что была применена нерациональная система инициирования зарядов, при которой центральные врубовые шпуры взрывались с замедлением 25 мс, а вспомогательные врубовые – 250 мс.

Важную роль сыграл опыт проходки наклонного ствола «Восточный» в крепчайших силикат-магнетитовых кварцитах тоннельным отрядом № 7 ПАО «Киевметрострой» на Криворожском Ингулецком ГОКе, где было применено комбинированное короткозамедленное и замедленное взрывание зарядов эмульсионного ВВ «Анемикс» с использованием неэлектрической системы их инициирования. При этом были получены положительные результаты по качеству дробления и оконтуриванию выработок и безопасности при проведении взрывов.

В июне и июле 2017 г. были проведены три опытных взрыва на проходке левого перегонного тоннеля от ствола № 11 Днепропетровского метрополитена в направлении к центру (стволу № 14). При этом проходится горизонтальная выработка круглого сечения со следующими параметрами: площадь поперечного сечения $28,26 \text{ м}^2$, диаметр 6,0 м. Породы, в которых проходится перегонный тоннель, представлены гранитами трещиноватыми, обводненными, плагиогранитами, гранитами микроклиновыми, гнейсами плотностью от $2,59 \text{ г/см}^3$ до $2,79 \text{ г/см}^3$ с коэффициентами крепости по Протодюконову $f = 10...14$. Уровень обводненности пород достаточно высокий и составляет $6 \text{ м}^3/\text{час}$.

Проведение выработки осуществляется с помощью буровзрывных работ. Схема расположения шпуров в забое представлена на рис. 1.

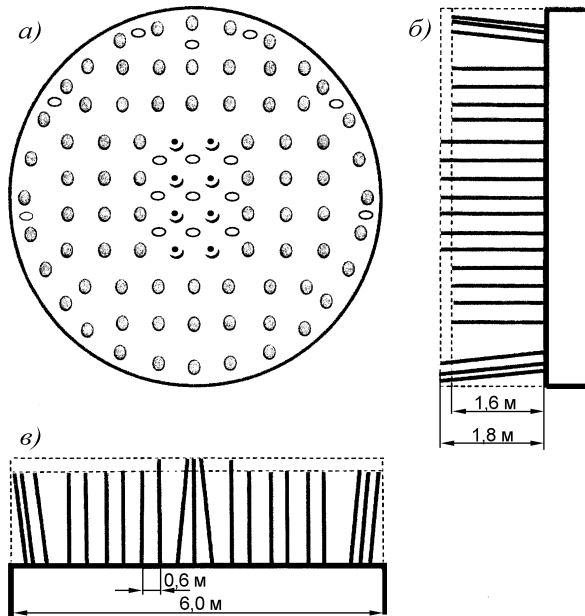


Рис. 1. Схема расположения шпуров в забое:
а) – вид на забой; б) – вертикальный разрез;
в) – горизонтальный разрез

Для проходки выработки были приняты следующие параметры шпуров: диаметр 42 мм, количество шпуров 84 шт. Из них в центральной части располагаются девять компенсационных шпуров глубиной 1,8 м, которые не заряжаются и служат для создания дополнительных поверхностей при взрыве восьми врубовых зарядов глубиной 1,8 м, пробуренных на расстоянии 0,6 м друг от друга по забою под углом 85° к вертикали. Кроме того, по контуру выработки пробуриваются шесть компенсационных незаряжаемых шпуров в верхней половине забоя, располагаемые через три заряжаемых шпура. Далее располагаются 9 вспомогательных и 42 отбойных шпуров глубиной 1,6 м перпендикулярно плоскости забоя. По контуру поперечного сечения тоннеля в верхней и боковой частях было пробурено 19 оконтуривающих шпуров глубиной 1,8 м и в нижней части 9 глубиной 1,8 м под углом 85°.

В настоящее время получили широкое распространение экологически чистые и безопасные эмульсионные ВВ (ЭВВ). Это стало значительным достижением в разработке промышленных ВВ за последние 30

лет, что существенно изменило концепцию организации и проведения взрывных работ на горных предприятиях и в транспортном строительстве тоннелей и метрополитенов. Кроме того, было простимулировано развитие новых видов сырья и материалов, оборудования и зарядной техники.

В состав эмульсионных не входят исходные материалы, классифицируемые как ВВ, они приобретают взрывчатые свойства лишь в конечной стадии приготовления. ЭВВ практически не чувствительны к случайному инициированию от трения, механическим воздействиям или огню и являются более безопасными в производстве, чем другие промышленные ВВ. Кроме того, они не содержат в своем составе высокотоксичные вещества.

ЭВВ состоят из концентрированного (80-90 %) водного раствора окислителя (например, аммиачной селитры) в горючем компоненте (например, индустриальное масло), стабилизированного специально подобранными поверхностно-активными веществами – эмульгаторами.

В результате в Украине были разработаны эмульсионные ВВ типа Гремикс, Эра, Анемикс для подземных работ, которые по своим взрывчатым характеристикам являются высокоэффективной заменой применявшегося ранее ВВ типа Аммонит № 6 ЖВ, содержанием в своем составе 19-21 % тротила, являющегося сильнейшим канцерогенным веществом.

Данные ВВ имеют высокий уровень детонационных характеристик и безопасности при их применении [3–5]. Так их плотность достигает 1100...1300 кг/м³, а скорость детонации 4000...5800 м/с, что позволяет эффективно разрушать крепкие скальные породы в забоях подземных выработок.

При производстве взрывных работ было применено патронированное эмульсионное взрывчатое вещество типа «Анемикс-П32/250» в количестве 64,75 кг и система

инициирования зарядов «Нонэль» производства ПХЗ «Прима-эра» (г. Павлоград).

Технические характеристики патронированных ЭВВ «Анемикс» следующие:

- плотность в патроне – 1,03...1,2 г/см³;
- диаметр патрона – от 25±1 до 40±2 мм и более;
- масса ЭВВ в патроне диаметром:
 - 25 м – 200±10 г,
 - 32 м – 200±10 г и 400±20 г;
- передача детонации на расстоянии между двумя патронами для диаметров от 25 до 50 мм включительно – 2 см;
- кислородный баланс – 1,5 ÷ +0,5 %;
- теплота взрыва – 2990 кДж/кг;
- объём газов – 890 л/кг;
- температура взрыва – 2098°C;
- тротилловый эквивалент по теплоте взрыва – 0,72;
- скорость детонации – 5,5 км/с;

– чувствительность к удару в соответствии с рекомендациями ООН – не более 50 Дж;

– чувствительность к трению в соответствии с рекомендациями ООН – 360 Н;

– критический диаметр детонации – 15...20 мм;

– водостойкость в непроточной воде (потеря аммиачной селитры с открытой поверхности ЭВВ за 24 часа) – 0,05 кг/м²;

– токсичность состава – умеренно опасен (3 класс);

– чувствительность к капсюль-детонатору № 8 – чувствительный.

Наименование и очередность взрывания шпуровых зарядов при производстве опытного взрыва в левом перегонном тоннеле представлены в табл. 1.

Схема очередности взрывания групп шпуровых зарядов представлена на рис. 2.

Конструкции зарядов в шпурах приведены на рис. 3.

Таблица 1

Наименование и очередность взрывания шпуровых зарядов

№ группы шпуров	Наименование шпуров	Интервал замедления, мс	Количество шпуров, шт.	Глубина шпуров, м	№ шпура в группе	Величина заряда, кг	
						в шпуре	в группе
I	Врубовые	20	2	1,8	3,7	1,0	2,0
II	Врубовые	40	2	1,8	2,6	1,0	2,0
III	Врубовые	60	2	1,8	5,1	1,0	2,0
IV	Вспомогательные	100	2	1,6	8,4	1,0	2,0
V	Вспомогательные	200	7	1,6	12-18	0,75	5,25
VI	Отбойные	300	12	1,6	9-11, 19-22	0,75	5,25
VII	Отбойные	500	12	1,6	24-29, 33-38	0,75	9,0
VIII	Отбойные	700	12	1,6	42-47, 50-55	0,75	9,0
IX	Отбойные	1000	10	1,6	23, 30, 31, 32, 39, 40, 41, 48, 49, 56	0,75	7,5
X	Оконтуривающие	3000	9	1,6	58, 60, 62, 64, 76, 78, 80, 82, 84	0,75	6,75
XI	Оконтуривающие	5000	10	1,6	57, 59, 61, 63, 65, 75, 77, 79, 81, 83	0,5	5,0
XII	Оконтуривающие	7000	9	1,8	66-74	1,0	9,0
	Всего:		84			64,75	

Взрывание зарядов производилось методом последовательного оконтуривания с обязательным применением короткозамедленного и замедленного подрыва групп шпуровых зарядов в такой последовательности:

- врубовые;
- вспомогательные;
- отбойные;
- контурные.

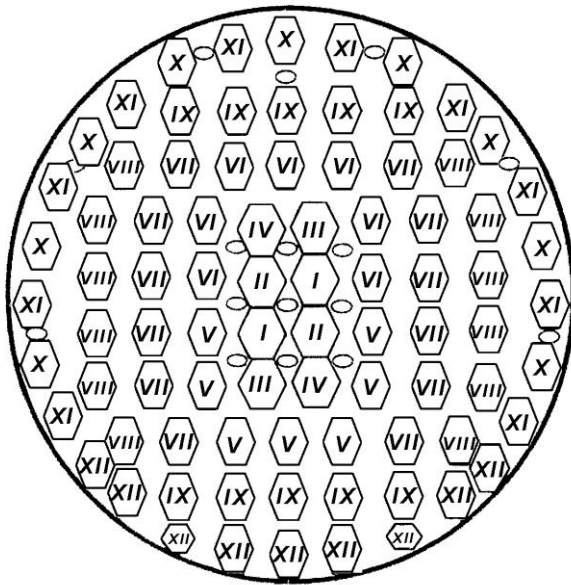


Рис. 2. Очередность взрывания групп шпуровых зарядов

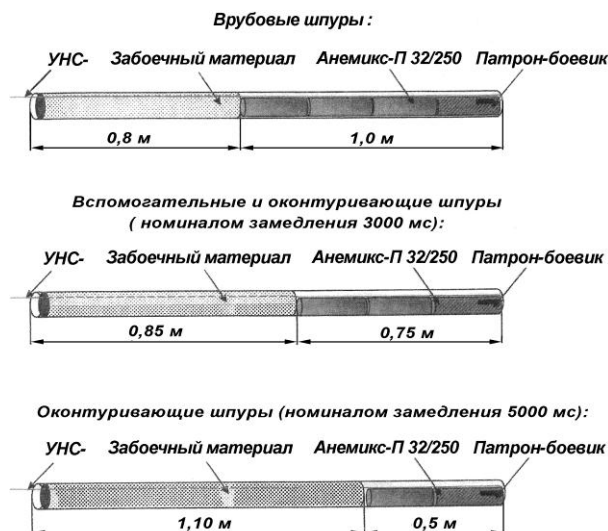


Рис. 3. Конструкции зарядов в шпурах

При этом врубовые были поделены на три группы из двух зарядов каждая, которые взрывались короткозамедленно с интервалами 20, 40, 60 миллисекунд (мс).

За ними подрывались два вспомогательных заряда с интервалом 100 мс. Потом через 200 мс взрывались семь вспомогательных зарядов, после которых с интервалом 300 мс подрывалась первая группа отбойных шпуровых зарядов – 12 шт., вслед за ними через 500 мс и 700 мс две группы отбойных 12 зарядов в каждой. После этого подрывались группа отбойных из 10 зарядов через 1000 мс и три группы контурных соответственно из 9, 10 и 9 зарядов, взрывааемых через 3000 мс, 5000 мс и 7000 мс.

Патрон-боевик в каждом заряде состоит из одного патрона эмульсионного ВВ типа «Анемикс-П32/250» с подсоединенным к нему волноводом типа УНС-ШК-20-4 и располагается первым у дна шпура.

Монтаж и коммутация взрывной сети производится следующим образом: концы волноводов УНС-ШК-20-4, выступающие из устьев шпуров, после завершения процесса зарядки, собираются в пучки (не более 15 штук), стягиваются пластиковыми хомутами обвязываются узлом ДШ. После обвязывания всех образовавшихся пучков УНС с ДШ оба конца ДШ сводятся к месту соединения с электродетонаторами. На каждый шпур применяется 84 шт. волновода, а на взрыв – ДШ длиной 25 м и два электродетонатора.

Определим теоретическое значение критической скорости колебаний для жилых зданий на поверхности при проведении опытных взрывов в перегонном тоннеле в соответствии с [6], в которой приведены основные параметры сейсмических волн в зависимости от массы заряда ВВ и расстояния от центра взрыва до точки наблюдения.

При взрыве ВВ в массиве скальных пород (граниты, песчаники и др.) максимальная скорость продольной волны при приведенном расстоянии $\bar{R} = R / \sqrt[3]{Q} \leq 10$ определяется по формуле

$$V_{max} = 5 \left(\sqrt[3]{\frac{Q}{R}} \right)^{1,8},$$

где Q – масса заряда, кг; R – расстояние от центра взрыва до охраняемого объекта, м.

На расстоянии $\bar{R} = R / \sqrt[3]{Q} > 10...20$ максимальная скорость колебаний определяется по формуле

$$V_{max} = 2,5 \left(\sqrt[3]{\frac{Q}{R}} \right)^{1,5}.$$

Определим приведенное расстояние при суммарной массе заряда на цикл 64,75 кг и минимальном расстоянии от центра взрыва до охраняемого объекта

$$\bar{R} = \frac{R}{\sqrt[3]{Q}} = \frac{30}{\sqrt[3]{64,75}} = 7,47 < 10.$$

Следовательно,

$$V_{max} = 5 \left(\sqrt[3]{\frac{Q}{R}} \right)^{1,8} = 5 \left(\sqrt[3]{\frac{64,75}{30}} \right)^{1,8} = 0,134 \text{ см/с}.$$

При расстоянии от центра взрыва до охраняемого объекта в 53 м

$$\bar{R} = \frac{R}{\sqrt[3]{Q}} = \frac{53}{\sqrt[3]{64,75}} = 13,199 > 10.$$

Тогда,

$$V_{max} = 2,5 \left(\sqrt[3]{\frac{Q}{R}} \right)^{1,5} = 2,5 \left(\sqrt[3]{\frac{64,75}{53}} \right)^{1,5} = 0,052 \text{ см/с}.$$

При оценке сейсмического действия подземных взрывов важно также установить интенсивность динамического поля напряжений в основании поверхностных сооружений, которое вызывается возникновением динамических колебаний, обусловленных продольными и поперечными волнами, скорость которых определяется по следующим формулам [7]

$$V_P = \sqrt{\frac{Eg(1-\nu)}{\gamma(1+\nu)(1-2\nu)}}, \text{ м/с};$$

$$V_S = \sqrt{\frac{Eg}{2g(1+\nu)}}, \text{ м/с},$$

где g – ускорение силы тяжести, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$; E – модуль деформации пород, МПа; γ – удельный вес пород, МН/м³; ν – коэффициент Пуассона.

Определим скорости продольной и поперечной волн для крепких пород типа гранитов, приняв $E=40000$ МПа, $\nu=0,2$, $\gamma=0,027$ МН/м³.

Тогда,

$$V_P = \sqrt{\frac{40000 \cdot 9,81(1-0,2)}{0,027(1+0,2)(1-2 \cdot 0,2)}} = 4016,4 \text{ м/с};$$

$$V_S = \sqrt{\frac{40000 \cdot 9,81}{2 \cdot 0,027(1+0,2)}} = 2459,5 \text{ м/с},$$

Параметры динамического поля напряжений определяются на основе расчета экстремальных значений нормальных и касательных напряжений по следующим формулам [7]

$$\sigma_{max/min} = \frac{1}{2\pi} AK_1 \gamma V_P T_0 K_h,$$

$$\tau_{max/min} = \frac{1}{2\pi} AK_1 \gamma V_S T_0 K_h,$$

где A – условное сейсмическое ускорение частиц породы в долях g ; коэффициент A принимает значения 0,1; 0,2; 0,4 соответственно для расчетной сейсмичности 7, 8, 9 баллов.

Для условий подземного строительства при сейсмичности менее 7 баллов значение A примем равным 0,1; K_1 – коэффициент, учитывающий допускаемые повреждения массива и инженерных объектов, $K_1=0,25$; T_0 – преобладающий период собственных колебаний породного массива в основании

сооружений, определяемый по данным сейсмических исследований, а при их отсутствии принимаемый равным 0,5 с; K_h – коэффициент, учитывающий глубину заложения сооружений, $K_h = 1 - 0,005H$, при $H \leq 100$ м $K_h = 1$.

По данным формулам определяются максимальные динамические напряжения в массиве в системе координат X, Y (ось X совпадает с направлением распространения волн), действующие также и на основание зданий и сооружений.

Тогда $\sigma_{xp} = \sigma_{max}$; $\sigma_{yp} = \lambda \sigma_{max}$,
 $\lambda = \nu / (1 - \nu)$, $\tau_{xys} = \tau_{max}$.

Подставив в вышеприведенные формулы значения величин для крепких пород типа гранитов, в результате получим

$$\sigma_{xp} = \frac{1}{2\pi} \cdot 0,1 \cdot 0,027 \cdot 4057 \cdot 1 = 1,745 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{yp} = \frac{0,2}{1 - 0,2} \cdot 1,745 = 0,437 \text{ МПа};$$

$$\tau_{xys} = \frac{1}{2\pi} \cdot 0,1 \cdot 0,027 \cdot 2484,5 \cdot 1,0 = 1,069 \text{ МПа}.$$

На основании анализа результатов расчетов можно сделать вывод, что динамические напряжения в массиве и на поверхности при взрыве имеют значения, которые существенно меньше пределов прочности кирпичной кладки при сжатии и изгибе.

Выводы

Таким образом, теоретические значения критической скорости для принятых условий взрывания существенно меньше регламентированных табличных значений для классов зданий и инженерных сооружений [6, 7].

Измерения уровня сейсмических колебаний при проведении трех опытных взрывов, выполненные «Центром по проблемам взрывных работ Национального горного университета», показали, что зарегистрированные колебания грунта на расстояниях от

30 до 53 м имеют величины скоростей продольной волны от 0,9 до 0,11 см/с. Они не превышают допустимые значения в II балла по Международной шкале MSK-64 и являются безопасными, т.е. существенно меньше критических значений для кирпичных зданий без антисейсмических усилений, расположенных вблизи ствола № 11.

Кроме того, установлено, что при всех трех опытных взрывах колебания имели высокочастотный характер – 50 Гц.

Такие колебания не совпадают с собственными колебаниями зданий и сооружений и не вызывают резонансного явления, приводящего к их повреждению.

В соответствии с ДСТУ 4704:2008 [8] зарегистрированные колебания не представляли угрозы зданиям, которые после взрывов находились в удовлетворительном состоянии, согласно данным, приведенным в работах [9, 10].

Снижению уровня колебаний способствовало то, что было применено комбинированное короткозамедленное и замедленное взрывание зарядов, соответствующее по «Шкале интенсивности сейсмических колебаний при взрывах» [11] 1...4 баллам со скоростью колебаний от 0,1 до 1,5 см/с.

Таким образом, применение новых технологий ведения взрывных работ при проходке перегонных тоннелей с использованием новых ВВ, средств инициирования и комбинированного короткозамедленного и замедленного взрывания позволило получить снижение уровня сейсмических колебаний зданий и сооружений при строительстве линий метрополитена мелкого заложения в сложных инженерно- и гидрогеологических условиях.

Бibliографический список

1. Petrenko, V. D. Features of drilling-and-blasting at construction of Beskidskiy Tunnel. / V. D. Petrenko, O. L. Tiutkin, S. T. Proskurnia // Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport. – № 5 (65), 2016. – pp. 178-185.

2. Фокин, В. А. Обработка параметров буровзрывных работ при проходке железнодорожного тоннеля [Текст] / В. А. Фокин // Метро и тоннели. – 2013. – № 6. С. 14-18.
3. Кириченко, А. Л. Исследование детонационных характеристик шпуровых зарядов патронированных ЭВМ / А. Л. Кириченко, Е. Б. Устименко, Л. Н. Шиман, В. В. Политов // Науковий вісник НГУ. – 2012. – Вип. 6 (132). – С. 37-41 (Міжнародна наукометрична база даних Sciverse Scopus).
4. Alexey Kirichenko. Substantiation of effective parameters of drilling and blasting operation in coal mines using emulsion explosives / British Journal of Science, Education and Culture, 2014. – No. 2. (6) (July-Desember). – Vol. 1. London University Press. London, 2014. – 410 p. – pp. 11-21. Proceedings of the Journal are located in the Data bases Scopus.
5. Kirichenko, A. L. The industrial emulsion explosives of the mark ERA / L. N. Shyman, A. L. Kirichenko, V. V. Sobolev, A. Z. Prokydin // Высокоэнергетические системы, процессы и их модели : [сб. научн. тр.] / Днепропетровск : Акцент ПП, 2013. – С. 229-238.
6. Безопасность взрывных работ в промышленности [Текст] // под общей ред. Б. Н. Кутузова. – Москва: Недра, 1992. – 544 с.
7. Булычев, Н. С. Механика подземных сооружений [Текст] / Н. С. Булычев. – Москва: Недра, 1989. – 270 с.
8. ДСТУ 4704:2008 Проведення промислових вибухів. Норми сейсмічної безпеки. – Київ : Держстандарт України, 2009. – 11 с.
9. ДСТУ 7116:2009 Вибухи промислові. Методи визначення фактичної сейсмічної стійкості будинків і споруд. – Київ : Держстандарт України, 2010. – 6 с.
10. ДБН В.1.1-12:2014 Будівництво у сейсмічних районах України. – Київ : Міністерство регіонального розвитку будівництва та житлового комунального господарства України, 2014. – 110 с.
11. Кутузов, Б. Н. Разрушение горных пород взрывом [Текст] / Б. Н. Кутузов. – Москва : Изд-во МГИ, 1992. – 516 с.

Ключові слова: технологія, параметри буровибухових робіт, короткоуповільнений вибух, уповільнений вибух, сейсмічна безпека.

Ключевые слова: технология, параметры буровзрывных работ, короткозамедленное взрывание, замедленное взрывание, сейсмическая безопасность

Keywords: technology, parameters of drilling and blasting operation, shot and delay blasting, delay blasting, seismic safety.

Рецензенты:
проф., д.т.н., Соболев В. В.
проф., д.т.н., Жуков С. А.

Поступила в редколлегию 14.11.2017.
Принята к печати 21.11.2017.

УДК 656.022

А. М. ПАСІЧНИК – доктор фіз.-мат. наук, професор, Університет митної справи та фінансів, PANUKR977@gmail.com

В. В. КУТИРЄВ – завідувачий сектором з питань захисту прав інтелектуальної власності і експортного контролю Донецької митниці ДФСУ

В. А. ПАСІЧНИК – доцент, Дніпропетровський національний університет ім. О. Гончара
Л. В. ДУНДА, магістр, Університет митної справи та фінансів

ПРОБЛЕМИ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ТА УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДОЛОГІЇ РОЗРАХУНКУ ТАРИФІВ НА ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЮ

Вступ

В ринкових умовах тарифи на енергоносії стали одним із основних факторів підвищення ефективності їх використання, а відповідно методологія встановлення та обґрунтування системи цін є одним з найбільш дієвих механізмів регулювання економічних відносин, який забезпечує їх прозорість та об'єктивність [1–5].

Ціни на будь-які товари формуються з урахуванням попиту та відповідно з його еластичністю, інших пропозицій ринку, витрат на виробництво товару та його якості, ринкових зборів та податків, а також витрат на зберігання і реалізацію. Ринок і вільна (ринкова) ціна не є універсальним засобом регулювання економіки, так як не можуть враховувати всієї різноманітності умов та цілей соціально-економічного розвитку країни [1]. Ціна визначається грошовим виразом повної вартості виробництва товару або надання послуги з урахуванням певного рівня рентабельності даного виду діяльності, тобто це є кількість грошей, що сплачується або одержується за одиницю товару або послуги. Ціноутворення – це процес обґрунтування і встановлення цін на товари та послуги (цінності) за умови прибутковості відповідного виду діяльності та з урахуванням їх економічних і споживчих властивостей.

Актуальність проблеми

В сучасних умовах електроенергія є одним із основних компонентів в системі ене-

ргетичного забезпечення країни. У зв'язку з чим встановлення економічно обґрунтованих тарифів на електроенергію є важливим фактором енергетичної безпеки держави. Сподівання на їх ринкове авторегулювання та відмова від застосування ефективної системи управління цінами або ж некоректне використання механізму ціноутворення може призвести до негативних наслідків. Характерним прикладом ігнорування економічних складових при ціноутворенні є встановлення так званих ринкових цін на природний газ, які в декілька разів перевищують його економічно обґрунтовану вартість [10]. Тому подальший розвиток та удосконалення механізму ціноутворення та визначення економічно обґрунтованих тарифів на енергоносії має надзвичайно актуальне значення як для підвищення енергоефективності так і для збереження енергетичної безпеки держави.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Підходи до формування ціноутворення на товари в ринкових умовах розглядаються в науковій роботі [2]. Цінові стратегії, особливості ціноутворення на інноваційні товари наведено в роботах [3, 4]. Аспекти формування ціни на певні види товарів та послуг, а також методики ціноутворення для підприємств розглядаються в наукових працях [5, 6, 7]. Дослідженням тарифів на електроенергію як основного економічного інструменту регулювання взаємовідносин

енергопостачальних компаній і споживачів електроенергії, присвячено роботу [8]. Механізм ціноутворення в ринкових умовах розглянуто в роботі [9]. Класичний механізм ціноутворення оснований на собівартості продукції пропонується використовувати в роботі [11].

Мета статті

Метою статті є побудова найбільш раціональних схем і алгоритмів їх застосування для встановлення економічно-обґрунтованих прозорих цін на електроенергію та інші товари в умовах ринкової економіки на основі системного аналізу існуючих систем і методів ціноутворення, а також визначення критеріїв об'єктивної оцінки рівня тарифів та розрахунок економічно-обґрунтованої і соціально орієнтованої ціни на електроенергію на основі запропонованого підходу.

Основний матеріал дослідження

Одним із основних привідних механізмів економічної взаємодії суб'єктів ринку є закономірності взаємозв'язку процесів попиту та пропозиції. Як правило, за умов ринку співвідношення попиту і пропозиції здійснюється на основі саморегулювання, через функціонування механізму ринкового ціноутворення. Але встановлення цін лише на основі ринкового саморегулювання не забезпечує суспільні, соціальні, екологічні та інші потреби. Тому ринковий механізм саморегулювання ціноутворення доповнюється, по-перше, застосуванням виробниками та продавцями певних методичних підходів і способів ціноутворення з метою прискорення збуту продукції і забезпечення реалізації обраної ними цінової політики і, по-друге, заходами на основі нормативно-правового регулювання впливу держави на процес ринкового ціноутворення.

Так механізм впливу покупців на ринкову ціну здійснюється безпосередньо через купівлю або відмову від купівлі і вва-

жається активним методом впливу споживачів на економічне стимулювання або стримування через механізм цін. Вплив продавців (товаровиробників) на рівень ринкових цін здійснюється шляхом застосування певних видів цін і методів ціноутворення, які передбачені ціновою стратегією суб'єктів господарювання. Регулюючий вплив заходів держави на формування ринкових цін реалізується через нормативно-правове забезпечення ціноутворення, яке стимулює процес виробництва з урахуванням суспільних інтересів. В цілому ефективність та дієвість механізму ціноутворення значною мірою визначається його можливістю комплексного врахування всіх складових господарського механізму [2].

Таким чином, ринкове ціноутворення представляє собою систему цілеспрямованих заходів економічного впливу суб'єктів ринку на формування цін з метою забезпечення ефективного соціально-економічного розвитку суспільства. Результати проведеного системного аналізу існуючих методів ціноутворення дозволяють виділити чотири основних групи: витратні методи ціноутворення – табл. 1.1; ринкові методи ціноутворення – табл. 1.2; параметричні методи ціноутворення – табл. 1.3; інші методи ціноутворення – табл. 1.4. Основою всіх представлених методів є класичний підхід за формулою собівартість + прибуток, а потім в залежності від умов ринку вони адаптуються під зміну ситуації (економічної, політичної) застосуванням систем більш тонкого реагування на кон'юнктуру ринку.

Розглянемо тепер можливості побудови алгоритму розрахунку економічно-обґрунтованої ціни на електроенергію на основі сформульованих підходів. Тривалий час ринок електроенергії залишався монопольним – в ньому була відсутня будь-яка конкурентна діяльність. Але останнім часом світовою тенденцією стало формування конкурентних електроенергетичних ринків.

Таблиця 1.1

Витратні методи ціноутворення

Метод	Суть методу
Повних витрат	Суть методу полягає в розрахунку ціни на базі всіх витрат, які, незалежно від походження, списуються на одиницю виробу. Таким чином, ціна включає реальну (фактичну) повну собівартість виробу і надбавку - цільовий прибуток. До витрат належать змінні та постійні витрати.
Прямих витрат (змінні+прибуток)	Собівартість товару розраховується не з повної номенклатури витрат, а лише виходячи зі змінних або прямих витрат.
Змінних витрат (без урахування прибутку)	Суть методу полягає в розрахунку деякої відсоткової націнки до змінних витрат для кожного виду продукції.
Мінімальних витрат (без урахування прибутку)	Метод передбачає встановлення ціни на мінімальному рівні, достатньому для покриття витрат, пов'язаних із виробництвом конкретної продукції.
Мінімальних витрат та прибутку	За основу береться конкурентна ринкова ціна, яка утворилася під впливом попиту і пропозиції. Визначається собівартість і мінімальний прибуток, який може отримати підприємство, окремо визначаються умовно-постійні та змінні витрати. Цей метод застосовується з метою визначення орієнтовної ціни та первинного розрахункового рівня.
Середні витрати+прибуток	В основі цього методу лежить ідея розрахунку собівартості товару як головної складової ціни. Для розрахунку ціни цим методом необхідне підсумування сукупних витрат і нормативного прибутку.
Аналізу беззбитковості	Ціна встановлюється на тому рівні, який дозволив би підприємству отримувати бажаний обсяг прибутку шляхом підбору цін і відповідних їм обсягів попиту при одночасному прорахунку рівня витрат виробництва.
Рентабельності інвестицій	Є відносною величиною і визначається як відношення суми приведених доходів до суми приведених на ту ж дату інвестиційних витрат.
Згідно з маргінальними витратами	Збільшення (зменшення) повних витрат за відповідного збільшення чи зменшення обсягів виробництва на продукції
Надбавки	Згідно з цим методом ціну товару визначають додаванням до витрат на його виробництво і збут певної надбавки.
Агрегатний метод	Суть методу полягає в підсумовуванні цін окремих конструктивних частин виробів (деталей, вузлів, комплектуючих), що входять до параметричного ряду, а також додаванні нормативному прибутку. Цей метод застосовують, якщо ціни різних конструктивних елементів виробу відомі, відтак сукупна ціна продукції обчислюється як їхня сума.
Кривої досвіду	«Крива досвіду» ґрунтується на такій закономірності: витрати на одиницю продукції, які вимірюються в стабільних грошових одиницях, зменшуються на фіксований процент при кожному подвоєнні випуску продукції.
Цільового ціноутворення	Ціна визначається як цільова для конкретного ринку з урахуванням діючих чинників або цільового прибутку. За цим методом розраховується собівартість продукції, яка дає змогу відтворити всі витрати підприємства на виробництво та реалізацію, а також отримати прибуток, який можна буде спрямувати на розвиток підприємства і стимулювання робітників.

Таблиця 1.2

Ринкові методи ціноутворення

	Метод	Суть методу
Орієнтовані на споживача	На основі цінності товару: -розрахунку економічної цінності товару -оцінки максимально прийнятної ціни	Розрахунок робиться на певну категорію покупців, які погоджуються платити гроші не тільки за вартість товару, а й за комплекс інших послуг: доплати, пов'язані з доставкою, обслуговування тощо. Рівень послуг, що надаються, визначити безумовно важко. Тут доречно вести мову про престижні товари, про особливі послуги, за які за різних обставин і різних умов покупці погоджуються платити будь-які гроші.
	З орієнтацією на попит: -аналізу меж; -аналізу екстремальних збитків і прибутків	В основі даного методу лежить суб'єктивна оцінка покупцем цінності товару або послуги. Ціна, розрахована цим методом, враховує в першу чергу попит.
	На основі цінової еластичності	Метод дає змогу підприємству зробити висновки щодо напрямів формування конкурентних переваг власної продукції, з'ясувати, які фактори конкуренції будуть відігравати первинну роль – цінові чи нецінові. Цінова еластичність попиту характеризує чутливість споживачів до зміни цін з урахуванням обсягів закупівлі.
Орієнтовані на конкурентів	Слідування за ринковими цінами	Передбачає, що кожен продавець, що продає товар на ринку або пропонує відповідну послугу, встановлює ціни, поважаючи звичай ціноутворення і рівень цін, що склалися на ринку, виходячи з реально існуючого рівня ринкових цін і при цьому істотно не порушуючи його. Якщо дана фірма посилює диференціацію своїх товарів і послуг по відношенню до товарів і послуг фірм-конкурентів, то вона має право встановити ціни на більш високому рівні в порівнянні зі звичайними.
	На основі рівня поточних цін	Подібний підхід до визначення ціни використовують ті підприємства, що у своїй роботі намагаються орієнтуватися на ціни, які вже встановилися на ринку, припускаючи, що добре організовані підприємства знають ціни, прийнятні для ринку. При цьому підприємство основним своїм завданням має контроль власних витрат.
	Слідування за лідером	За даного методу фірма орієнтується на ціни лідера на ринку і в меншій мірі звертає увагу на власні витрати. Застосовується, коли на ринку домінують 3-5 компаній.
	На основі змагання	Продавець встановлює ціну в процесі змагання з конкурентами за отримання контракту. Виділяють тендер та аукціон.
	Тендерне ціноутворення	Використовується тоді, коли декілька підприємств веде жорстоку конкуренцію на ринку.
	Престижних цін	Використовують тоді, коли компанії доцільно встановити преміально високі ціни при продукцію.
	З урахуванням реакції конкурентів	Використовується тоді, коли витрати важко підрахувати і підприємство керується цінами найближчих конкурентів.

Таблиця 1.3

Параметричні методи ціноутворення

Метод	Суть методу
Питомих показників	Використовується для визначення і аналізу цін невеликих груп продукції, що характеризуються одним основним параметром, який визначає загальний рівень ціни виробу.
Регресійного аналізу	Використовується для визначення залежності (лінійної, степеневої, поліноміальної тощо) ціни від змін в техніко-економічних параметрів виробу.
Бальний	На основі експертних оцінок значущості параметрів виробів проводиться оцінка техніко-економічного рівня виробу. Ціна нового виробу визначається на основі ціни одного балу.
Агрегатний	Основається на сумі цін окремих частин виробу, що входять в параметричний ряд, з додаванням вартості оригінальних вузлів, витрат на складання і нормативного прибутку.

Таблиця 1.4

Інші методи ціноутворення

		Метод	Суть методу
1		2	3
Вид методу	Комбіновані	Комбінований метод	За даним методом ціна товару встановлюються у декілька етапів, кожен етап передбачає використання різних моделей, ціноутворення, що базуються на витратах, попиті чи конкуренції. Відповідно до такого методу підприємства можуть розрахувати ціну на свій товар, спочатку орієнтуючись на витрати підприємства, а потім коригуючи величину відповідно до конкурентної ситуації, що склалася.
	У рамках товарної номенклатури	За номенклатурною групою	Згідно з таким підходом ціна на найдорожчий товар установлюється на рівні собівартості, або й трохи нижче. Збитки, які мають місце, перекриваються за рахунок вищих цін на інші товари даної номенклатурної групи.
		Обмеження кількості	Різновидом методики розрахунку цін у рамках товарної номенклатури є обмеження їхньої кількості. Однакова ціна встановлюється на групу товарів, і за рахунок більших продаж одних видів покриваються збитки на інші.
	За географічним принципом	Зональне ціноутворення	Фірма виділяє дві або кілька зон, призначаючи в межах кожної зони єдину ціну. Усі замовники, які знаходяться в межах однієї зони, платять одну ціну, а ті, що знаходяться в іншій зоні - іншу. Чим більш віддалена зона від покупця, тим вище ціна. Такі умови можуть навіть створити цінову дискримінацію: наприклад, два покупці, що перебувають на однаковій відстані від продавця, через приналежність до різних зон змушені платити по-різному.
		Ціноутворення відносно базового пункту	Ця стратегія полягає в тому, що продавець обирає той чи інший населений пункт як базисний і стягує з усіх замовників транспортні витрати в сумі, що дорівнює вартості доставки товару до них саме з цього пункту незалежно від того, звідки насправді здійснюється відвантаження. При застосуванні цього методу для замовників, що знаходяться поблизу підприємства, кінцева ціна підвищується, а для віддалених - знижується.

Продовження таблиці 1.4

1		2	3
Вид методу		Франко-ціни	Це означає, що всі витрати з транспортування продукції до названого пункту входять у ціну товару. Існує шість видів франко-цін.
		Ціни згідно з умовами «Інкотермс»	Зважаючи на того, хто організує і оплачує транспортування товарів від виробника до покупця (отже ризикує), орієнтуються на умови «ІНКОТЕРМС».
	На основі унормованих умов	Біржове ціноутворення	Фіксування цін угод купівлі-продажу на товарних біржах. Біржове ціноутворення може здійснюватись як за результатами біржового дня (кінцеве котирування), так і в процесі торгів (проміжне котирування).
		Ціноутворення з урахуванням державної політики	Розрізняють макро- та мікрорівневе державне регулювання цін. Макрорівневе регулювання – це економічна та фінансова політика держави, спрямована на збільшення темпів економічного зростання, створення умов для стабільного розвитку економіки, державна політика оподаткування, яка забезпечує соціально справедливий розподіл національного доходу, політика в галузі торгівлі, інвестицій, курсу національної валюти, розрахунків та ін. Мікрорівневе регулювання цін полягає у створенні системи законів, у підтримуванні державою окремих галузей, забезпеченні соціальних потреб, збереженні і примноженні природних ресурсів тощо.

Поступова лібералізації ринків електроенергії – перехід від монопольного до конкурентного ринку, пошук ефективних механізмів взаємозв'язку покупця та продавця електроенергії, можливість підвищення комерційної привабливості діяльності енергетичних компаній та їх відповідальності за зниження витрат виробництва електроенергії й якості обслуговування споживачів, залучення інвесторів для спорудження нових і переоснащення діючих енергетичних установок – це все стало загальною тенденцією розвитку енергетичної галузі в більшості країн світу [12].

За наведеними в табл. 2 показниками собівартості виробництва електроенергії на світових ринках Україна має найменші показники за вартість 1 кВт електроенергії за годину, рівень ВВП на душу населення, і рівень середньої заробітної плати. І якщо вартість електроенергії для населення в Україні майже у 15 разів менша, ніж у лідера рейтингу – Данії, то рівень ВВП в Україні від тої ж самої Данії менше в 17 разів, а від Люксембурга – в 21 раз. А якщо порів-

нювати рівень заробітної плати, то в 37 разів зарплата в Україні менша, ніж в Данії.

Вартість кіловат-години із таблиці варто приймати з урахуванням значення розміру ВВП і рівня середньої заробітної плати, а не як абсолютні величини. Вартість однієї кіловат-години електроенергії для кінцевого споживача багато в чому залежить від політики конкретного правління і системи тарифікації. Тому для проведення об'єктивного порівняльного аналізу тарифів на електроенергію в різних країнах пропонується використовувати приведені коефіцієнти тарифу на електроенергію, які визначаються відношенням тарифу до рівня середньої заробітної плати та рівня ВВП на душу населення:

$$K_{\text{зп}} = T/S_{\text{зп}} ; K_{\text{ввп}} = T/R_{\text{ввп}} . \quad (1)$$

Розрахункові значення таких коефіцієнтів для провідних європейських країн наведені в табл. 3.

Так, за рівнем введеного показника Україна займає 15 місце серед 26 європейських країн за рівнем ВВП на одну особу, і

22 місце за рівнем середньої заробітної плати. Як бачимо з таблиці, найкращі показники має Люксембург.

В Європі діє більше 8-ми тарифних планів, які враховують пору року, час доби, вихідні дні та ін. Крім цього, існують програми дотування за передачу надлишків в загальні мережі енергії, яку отримують власники альтернативних джерел (наприклад:

пільгові тарифи і FIT-схема за держпрограмою Green Deal в Великобританії). Є відмінності у вартості електроенергії для сільської місцевості і передмість. У більшості країн встановлено ліміт «дешевої» електроенергії в 150...200 кВт на місяць. Перевищення ліміту користувачем призводить до збільшення ціни на 50...80 % [13].

Таблиця 2

**Собівартість електроенергії, показник ВВП
і рівень середньої заробітної плати для європейських країн**

Країна	Ціна за 1 кВт-год., €	Податки, %	ВВП на душу населення, \$	Середня зар. плата, €
Австрія	0,201	37,2	49670	3729,41
Бельгія	0,213	14,5	47260	4556,67
Болгарія	0,095	16,7	7620	510,92
Велика Британія	0,212	4,8	43430	2984,87
Греція	0,176	31,5	22680	1772,31
Данія	0,307	58,4	61310	5843,48
Естонія	0,13	27,0	19030	1200,00
Ірландія	0,243	18,8	46550	3850,85
Іспанія	0,231	21,4	29440	2470,59
Італія	0,245	38,5	34270	3153,96
Латвія	0,163	33,8	15280	896,00
Литва	0,125	30,4	15430	748,94
Люксембург	0,177	24,7	75990	4924,14
Нідерланди	0,195	35,6	51890	4030,08
Німеччина	0,295	51,5	47640	3975,00
Польща	0,145	22,1	13690	1066,67
Португалія	0,228	49,5	21360	1587,4
Румунія	0,13	28,9	9520	590,77
Словаччина	0,15	18,8	17750	1176,47
Словенія	0,159	29,3	23580	2101,69
Угорщина	0,113	21,3	13340	960,00
Франція	0,163	34,3	42960	3821,29
Хорватія	0,132	23,5	12980	1261,02
Чехія	0,127	18,3	18370	1121,17
Швеція	0,185	36,1	61610	4405,48
Україна	0,026	24,0	3560	156,00

На ринку електроенергії існує багато факторів, які впливають на формування ціни. На відміну від цін на викопні вуглеводневі види палива, якими зазвичай торгують

на світових ринках за відносно співвимірними цінами, більш широкий діапазон цін у межах певного регіону характерний електроенергії, що залежить від таких факторів:

Таблиця 3

Приведений коефіцієнт тарифу на електроенергію

Країна	Ціна за 1 кВт-год., €	Податки, %	ВВП на душу населення, \$	Середня заробітна плата, €	Приведений коефіцієнт за ВВП	Приведений коефіцієнт за рівнем заробітної плати
Люксембург	0,177	24,7	75990	4924,14	2,16	3,59
Швеція	0,185	36,1	61610	4405,48	2,78	4,2
Нідерланди	0,195	35,6	51890	4030,08	3,48	4,84
Франція	0,163	34,3	42960	3821,29	3,51	4,27
Австрія	0,201	37,2	49670	3729,41	3,75	5,39
Бельгія	0,213	14,5	47260	4556,67	4,17	4,67
Велика Британія	0,212	4,8	43430	2984,87	4,52	7,1
Данія	0,307	58,4	61310	5843,48	4,64	5,25
Ірландія	0,243	18,8	46550	3850,85	4,83	6,31
Німеччина	0,295	51,5	47640	3975	5,73	7,42
Словенія	0,159	29,3	23580	2101,69	6,24	7,57
Естонія	0,13	27	19030	1200	6,33	10,83
Чехія	0,127	18,3	18370	1121,17	6,40	11,33
Італія	0,245	38,5	34270	3153,96	6,62	7,77
Україна	0,026	24	3560	156	6,76	16,67
Греція	0,176	31,5	22680	1772,31	7,19	9,93
Іспанія	0,231	21,4	29440	2470,59	7,27	9,35
Литва	0,125	30,4	15430	748,94	7,50	16,69
Словаччина	0,15	18,8	17750	1176,47	7,82	12,75
Угорщина	0,113	21,3	13340	960	7,84	11,77
Хорватія	0,132	23,5	12980	1261,02	9,42	10,47
Польща	0,145	22,1	13690	1066,67	9,81	13,59
Латвія	0,163	33,8	15280	896	9,877	18,19
Португалія	0,228	49,5	21360	1587,4	9,883	14,36
Болгарія	0,095	16,7	7620	510,92	11,54	18,59
Румунія	0,13	28,9	9520	590,77	12,64	22,01

– Первинні енергоресурси та ціна на них. Необхідно враховувати, що зниження цін на первинні енергоресурси не завжди зумовлює автоматичне зниження цін на електроенергію. Так, незважаючи на зниження цін на природний газ у зв'язку з падінням цін на нафту з 2014 р., а також перевиробництво електроенергії європейські споживачі нині сплачують за наданий їм ресурс більше. Згідно з річним звітом Агентства по співпраці органів регулювання енергетики (Agency for the Cooperation of Energy Regulators) середні рахунки для побутових споживачів ЄС на електроенергію збільшилися більше ніж на 2 % у 2015 р. порівняно з 2014 р. Зворотній зв'язок є результатом розширення постійних витрат, зокрема податків, субсидування проєктів розвитку відновлювальних джерел енергії, змін в законодавстві, наявності регульованих цін та відсутності конкуренції в окремих країнах.

– Наявність власної генерації та її собівартість. Одним із важливих факторів ціноутворення на ринку електроенергії є наявність власної генерації, яка є основним вартісним елементом формування ціни на електроенергію. Більшість країн мають різні види генерації, що в результаті впливає на її вартість. Оскільки собівартість виробництва електроенергії відрізняється залежно і від типу електростанцій, що виробляють електроенергію, і від вартості позикових коштів на їх будівництво та експлуатацію, логічним є певний діапазон розходження цін. Зокрема собівартість генерації електроенергії у Німеччині з вугілля становить \$38 за МВт·год., з природного газу – \$89 за МВт·год., вітрова – \$77 за МВт·год., сонячна – \$92 за МВт·год.; у Франції з атомної енергії – \$50 за МВт·год.; у Великій Британії з атомної енергії – \$64 за МВт·год., вітрова – \$94 за МВт·год.; у Португалії сонячна – \$74 за МВт·год., вітрова – \$61 за МВт·год.

– Розвиток відновлювальних джерел енергії. На конфігурацію цін на електроенергію останніми роками впливає не тільки

коливання цін на первинні енергоресурси, але й розвиток відновлюваної енергетики. Аналіз стратегічних і програмних документів ЄС засвідчує про будівництво дедалі більшої кількості станцій, що виробляють “чисту” енергію. Переважно будівництво вітрових та сонячних електростанцій здійснюється і за рахунок субсидій, що виділяються з бюджетів різних рівнів країн, і за рахунок підвищення тарифів для кінцевих споживачів. У результаті, саме в країнах, що найбільш активно підтримують розвиток відновлювальних джерел енергії – Данія, Німеччина, Швеція, – найвищою є кінцева вартість електроенергії.

– Вартість сертифікатів на емісію CO₂. Низка країн під час формування кінцевої ціни на електроенергію враховує податок на викиди CO₂. Питання ефективнішого використання енергії, зменшення залежності від викопних видів палива, використання відновлювальних джерел енергії та зменшення емісії CO₂ були порушені Європейською комісією у Звіті “Facing the Challenge of Higher Oil Prices” (COM (2008) 384)11). Для країн ЄС важливою є екологічність виробничого процесу – перехід з палива з великим вмістом сірки на газ, а також встановлення очисного обладнання на енергоблоках (передусім на вугільних).

– Мережеві витрати, що залежать від технічних характеристик, рівня підключення споживача до енергомережі. Високий рівень зносу енергогенеруючих і передавальних потужностей потребує їх масштабної модернізації, що при запланованій лібералізації ціноутворення викликає стаке зростання цін на електроенергію.

До наведених факторів, що впливають на формування ціни на електроенергію, важливо додати рівень загальноекономічної кон'юнктури як світової, так і національної, яка впливає на величину та структуру попиту і пропозиції на електроенергію на національних ринках, наявність надлишкових потужностей, географічне розташування

країни, наявність електричних мереж, витрати на охорону навколишнього середовища та погодні умови [12].

Економічне обґрунтування і алгоритм реалізації результатів дослідження. В Україні електроенергетика є досить розвинутою галуззю яка застосовує всі види генерації електроенергії. За даними центру з проблем паливно-енергетичного комплексу [14], структура та динаміка виробництва електроенергії в Україні характеризується даними наведеними в табл. 4.

Розподіл обсягів генерації електроенергії за видами наведено на рис. 1.

Аналіз наведених даних показує, що найбільше електроенергії виробляють атомні і теплові електростанції. Всі інші види генерації забезпечують виробництво лише 13 % електроенергії від загального обсягу. При цьому має місце тенденція на зменшення споживання електроенергії яке відбулося, переважно, за рахунок зменшення споживання переробною промисловістю (на 23,2 %), металургійною (на 2,4 %), хімічною та нафтохімічною промисловістю (на 1,7 %), комунально-побутовими споживачами (на 2,8 %), населенням (на 5,6 %).

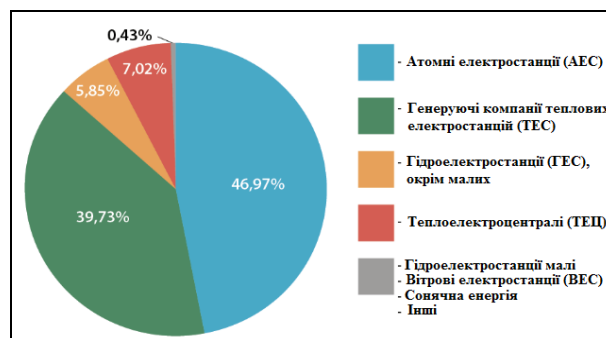


Рис. 1 Структура генерації електроенергії за видами в Україні

Таблиця 4

Динаміка і структура виробництва електроенергії в Україні

	8 місяців 2015 року		8 місяців 2016 року		± до 2015 р.	
	кВт	% до заг. обсягу	кВт	% до заг. обсягу	млн. кВт	%
Вироблено електроенергії всього	104624,3	100,0	99937,9	100,0	-4686,4	-4,5
у тому числі:						
ТЕС та ТЕЦ, із них:	37316,5	35,7	36902,6	36,9	-413,9	-1,1
– ТЕС ГК	33524,7	32,0	32854,2	32,9	-670,5	-2,0
– ТЕЦ	3791,8	3,6	4048,4	4,1	256,6	6,8
ГЕС та ГАЕС, із них:	4918,7	4,7	6203,8	6,2	1285,1	26,1
– ГЕС	3885,8	3,7	5151,5	5,2	1265,7	32,6
– ГАЕС	1032,9	1,0	1052,3	1,1	19,4	1,9
АЕС	57433,9	54,9	51412,2	51,4	-6021,7	-10,5
Альтернативні джерела (ВЕС, СЕС, біомаса)	1100,4	1,1	1035,9	1,0	-64,5	-5,9
Блок-станціями та іншими джерелами	3854,8	3,7	4383,4	4,4	528,6	13,7

У відповідності із запропонованим підходом до розрахунку тарифу на електроенергію його основною складовою є собівартість її виробництва, яка суттєво залежить від виду генерації. Тому для підтвердження достовірності визначення собівартості виробництва електроенергії проведемо аналіз собівартості виробництва електроенергії в Україні [13, 15, 16] на різних видах генеруючих установок з відповідними показниками в Російській Федерації [17]. Результати проведеного порівняльного аналізу наведені в табл. 5.

Таблиця 5

**Собівартість електроенергії в
Україні і Росії**

Вид генерації електроенергії	Україна, грн/(кВт*год)	Росія, грн/(кВт*год) (руб/(кВт*год))
АЕС	0,18	0,09-0,23 (0,20...0,50)
ТЕС	0,45	0,1-0,16 (0,22...0,35)
ТЕЦ	0,46	0,17 (0,36)
ГЕС	0,16	0,07-0,09 (0,15...0,20)
СЕС	0,97	0,14-0,69 (0,30...1,5)
ВЕС	0,36	0,14-0,41 (0,30...0,90)

Наведені дані показують, що собівартість електроенергії в Україні істотно вища, а на окремих видах генеруючих установок взагалі відрізняється в декілька разів, незважаючи на те, що Україна знаходиться в більш сприятливих кліматичних умовах. Такий результат порівняння свідчить про те, що в Україні генеруючі компанії застосовують завищену собівартість електроенергії практично за всіма видами генерації, а дані табл. 5 достатньо об'єктивно (з певним запасом) відображають реальні витрати генеруючих компаній на виробництво електроенергії і їх можна використовувати для розрахунку економічно обґрунтованих тарифів на основі класичного підходу:

$$T_e = C_e (1 + \Pi_r) (1 + \Pi_{дв}) (1 + \Pi_n), \quad (2)$$

де C_e – собівартість виробництва електроенергії; Π_r – рівень прибутку генеруючих компаній, $\Pi_{дв}$ – ставка податку на додану вартість, Π_n – прибуток компанії постачальника.

На основі запропонованого підходу проведемо розрахунок тарифів для Дніпропетровської області. Енергія для населення надходить з Придніпровської ТЕС, Криворізької ТЕС, а також ближніх станцій, оскільки енергії недостатньо для задоволення потреб населення. Собівартість електроенергії на ТЕС становить 45 коп/кВт*год., рівень прибутку генеруючої компанії – 25 %, рівень прибутку компанії постачальника – 20 %. Тоді на основі класичного підходу до ціноутворення будемо мати таку об'єктивно обґрунтовану величину тарифу для населення:

$$T_{ТЕС} = 0,45(1 + 0,25)(1 + 0,2)^2 = 0,81 \text{ грн/кВт*год.} \quad (3)$$

Аналіз же діючих тарифів показує, що ціна на електроенергію значно вища, а відповідно прибутковість даного виду діяльності складає більше 50 %. Тобто держава через уповноважений інститут – Національну комісію з питань регулювання в сферах енергетики та комунальних послуг (НКРЕКП), має значно посилити роботу з підвищення енергетичної безпеки держави за рахунок впровадження об'єктивно обґрунтованих тарифів на електроенергію.

Зауважимо, що в наведених розрахунках не враховано вплив на собівартість частки виробництва електроенергії на ТЕС у відношенні до інших видів генерації. Для її врахування необхідно провести усереднення собівартості виробництва електроенергії за різними видами генерації за даними табл. 5. Результати розрахунків середньої вартості електроенергії у відповідності із запропонованим алгоритмом та з урахуванням наявних видів генерації і їх частки у обсягах виробництва наведені в табл. 6.

Дані наведені в табл. 6 показують, що усереднена вартість електроенергії на первинному ринку складає 46 коп./кВт*год за рахунок достатньо високої ефективності та великої частки атомної енергетики в загальному обсязі генерації електроенергії. Тобто розрахункова вартість майже в 2 рази менше діючих тарифів на електроенергію.

Поставка електроенергії в Україні зараз не має конкурентів і практично є монополією. Це є великим недоліком, оскільки ціни не мають здорової конкуренції. За фінансовим звітом 2016 року Укренерго [18] має економічні показники з поставки електроенергії наведені в табл. 7. З наведених даних табл. 7 слідує, що тариф на передачу електроенергії Укренерго на 2016 рік, який становить 6,230 коп./кВ-год. А собівартість

електроенергії для споживачів, яка була розрахована в даній роботі, складає 46 копійок. Якщо до цієї суми додати ще тариф на транспортування електроенергії до обленерго і відокремлених підрозділів, то отримуємо 52,23 коп./кВт-год. Враховуючи рентабельність і ПДВ, а також накладні витрати для компаній обленерго, маємо тариф на електроенергію 75,21 коп./кВт-год. Тобто цього тарифу достатньо для покриття витрат, а також для рентабельності виробництва. Звичайно, наведені розрахунки підлягають додатковому уточненню, але очевидно, що сучасні тарифи на електроенергію є недостатньо обґрунтованими та значно завищеними. Тому НКРЕКП варто звернути увагу на ціноутворення тарифів в електроенергетиці і провести відповідні розрахунки.

Таблиця 6

Розрахунок тарифу генеруючих компаній на електроенергію

Вид генерації	Собівартість електроенергії	Рентабельність виробництва (25%)	ПДВ (20 %)	Сума	Частка генерації у виробництві електроенергії	Добуток (5)*(6)
1	2	3	4	5	6	7
АЕС	0,18	0,05	0,05	0,27	0,47	0,13
ТЕС	0,45	0,11	0,11	0,68	0,40	0,27
ТЕЦ	0,46	0,12	0,12	0,69	0,07	0,05
ГЕС	0,11	0,03	0,03	0,17	0,06	0,01
СЕС	0,97	0,24	0,24	1,46	0,004	0,006
ВЕС	1,40	0,35	0,35	2,10	0,001	0,003
Середня вартість електроенергії (грн/кВт*год)						0,46

Таблиця 7

Фінансовий звіт Укренерго за 2016 рік

	Одиниця виміру	11 місяців		Відхилення	%
		2015 р.	2016 р.		
Передано електроенергії магістральними мережами України	млн. кВт*год	109705,057	100189,066	-9515,991	91,3
Вартість послуг з передачі електроенергії (товарна продукція)	млн. грн	4801,744	6241,928	1440,184	130,0
Тариф на передачу електроенергії (згідно постанови НКРЕКП)	коп./кВт*год	4,377	6,230	1,853	142,3

Тому для лібералізації економічного стану в енергетичній галузі для початку пропонується обрати найбільш простий і ефективний метод для визначення ціни на товари стратегічного значення – класичний підхід в ціноутворенні, оскільки ринкова ціна є значно завищеною та є джерелом порушення енергетичної безпеки держави.

Метод повних витрат (собівартості) полягає в розрахунку ціни на базі всіх витрат, які, незалежно від походження, списуються на одиницю виробу. Таким чином, ціна включає реальну (фактичну) повну собівартість виробу і надбавку – цільовий прибуток. До витрат належать змінні та постійні витрати.

Для українських підприємств саме цей метод є найбільш характерним. Його широко використовують в торгівлі, будівництві, одиничному виробництві, при ціноутворенні на абсолютні новинки, на товари зниженої конкурентоспроможності, традиційні товари та ін. Водночас він має і свої недоліки, табл. 8. У більшості випадків цей метод застосовується для визначення мінімальної ціни (довгострокової нижньої межі), яку потім треба співвіднести з ринковими умовами.

За рахунок прозорості у встановленні економічно обґрунтованої ціни на товар метод повних витрат має використовуватись у якості основного в системі ціноутворення при проведенні торговельних опера-

цій, що буде сприяти встановленню цивілізованих економічних відносин.

Висновок

В результаті аналізу дослідження ринку електроенергії було встановлено, що монополізація, яка зараз є домінуючою в даній області, досить негативно відображається на ціноутворенні електроенергії, оскільки виключає будь-яке конкурентне середовище. В той же час в провідних країнах світу саме конкуренція є тим стимулюючим фактором, який стимулює розвиток даної галузі. При цьому в Україні собівартість електроенергії є однією із найнижчих з-поміж усіх європейських країн, але і найнижчими є такі вагомні показники, як рівень середньої заробітної плати і рівень ВВП на душу населення, які також необхідно враховувати.

В даній роботі показано ефективність використання класичного підходу для визначення тарифів на електроенергію з урахуванням її собівартості і достатнього рівня рентабельності даного виду виробництва. Такий підхід пропонується в якості базового для формування тарифів на електроенергію. В роботі запропоновано використовувати приведений коефіцієнт тарифу на електроенергію, який визначає відношення тарифу до рівня середньої заробітної плати та рівня ВВП на душу населення.

Таблиця 8

Переваги і недоліки методу повних витрат

Переваги методу повних витрат	Недоліки методу повних витрат
<ul style="list-style-type: none"> – Простота застосування, оскільки не потрібно багато інформації – Повна прозорість для виробників, споживачів і контролюючих органів – Справедливість ціни по відношенню і до покупців, і до продавців, оскільки при високому попиті продавці не збагачуються за рахунок покупців і водночас отримують справедливую норму прибутку. 	<ul style="list-style-type: none"> – Він ґрунтується на фактичних витратах підприємства, а не на очікуваних (планових, прогнозних). На практиці ж майже завжди є витрати, які при збуті пробної партії продукції не виявляються. – Не враховує зв'язок ціни з рівнем попиту та іншими ціноутворюючими факторами. – Якщо виробництво мультипродуктове, то є певна складність віднесення постійних витрат на конкретні види продукції.

Формування тарифів на електроенергію наразі залишається проблемним питанням, оскільки встановлена ціна не має прозорого економічного обґрунтування. Тому держава через НКРЕКП має забезпечити прозорість та обґрунтованість ціноутворення в даній галузі.

Бібліографічний список

1. Артус М. М. Механізм ціноутворення та функціонування в умовах ринку [Текст] / М. М. Артус // Фінанси України. – 2007. – №10. – С. 103–107.
2. Крамаренко Г. О. Ціноутворення в умовах ринкових реформ [Текст] / Г. О. Крамаренко // Фінанси України. – 2006. – №4. – С. 54–60.
3. Живко З. Б. Особливості ціноутворення на інноваційні товари [Текст] / З. Б. Живко // Соціально-економічні дослідження в перехідний період. Регіональна науково-технічна політика: інноваційний розвиток та інформаційний простір – НАН України, ІРД. – Вип. XVI. – Львів, 2000. – С. 553–559.
4. Селюченко Н. Є. Цінові стратегії в системі загальних і маркетингових стратегій підприємства [Текст] / Н. Є. Селюченко // Тези доп. ВНПК «Економічні проблеми трансформації України». – Львів: ЛБІ НБУ, 2002. – 212 с.
5. Абрютіна М. С. Ціноутворення в ринковій економіці [Текст] / М. С. Абрютіна. – Справа і сервіс. – 2002. – 256 с.
6. Герасименко В. В. Ценообразование: учеб. пособие [Текст] / В. В. Герасименко. – М. ИНФРА. – М., 2007. – 422 с.
7. Куломзін Є. Ю. Ціноутворення [Текст] / М. Д. Магомедов, І. І. Чайкіна. – Дашков і Ко. – 2009. – 256 с.
8. Мехович С. А. Тарифоутворення на ринку електроенергії України в умовах реформування [Електронний ресурс] / С. А. Мехович, А. С. Колесніченко – К: НТУ ХП, 2013. Режим доступу: <http://www.sworld.com.ua/index.php/uk/economy-411/business-sectors-of-the-economy-411/11246-411-0420>.
9. Богацька Н. М. Механізм ціноутворення в ринкових умовах [Електронний ресурс] / Н. М. Богацька, І. С. Дубовенко – К.: ВТЕІ, 2008. Режим доступу : http://www.rusnauka.com/15_DNI_2008/Economics/32855.doc.htm.
10. Пасічник А. М. Сучасні транспортно-митні технології міжнародних перевезень товарів: монографія [Текст] / За ред. А. М. Пасічника. Д.: АМСУ, 2012. – 312 с.
11. Самборський О. В. Роль калькулювання собівартості продукції в ціноутворенні [Електронний ресурс] / О. В. Самборський – К.: Фінанси, облік і аудит, 2010. – № 15. Режим доступу: http://ir.kneu.edu.ua:8080/bitstream/2010/283/1/15_39.pdf.
12. Маркевич К.В. Ціноутворення на енергетичних ринках: досвід ЄС та України: аналітична доповідь [Текст] / К. В. Маркевич, В. В. Омельченко. – Київ: Заповіт, 2016. – 56 с.
13. Тітенко С.В. Тарифна політика проти громадян України. [Електронний ресурс] / С. В. Тітенко // Новини Харкова, 2014. – Режим доступу: <https://novosti.kh.ua/>.
14. Інформаційно-аналітичне дослідження стану паливно-енергетичного комплексу України [Текст] / Науково-технічна спілка енергетиків та електротехніків України – К.: Центр громадського інформування з проблем паливно-енергетичного комплексу, 2016. – №514. – 69 с.
15. Титов С. А. Собівартість вироблення електроенергії [Електронний ресурс] / С. А. Титов // РБК – Україна, 2014. – Режим доступу: <https://www.rbc.ua/rus/news/glavankre-sebestoimost-proizvodstva-elektroenergii-30-062011230000>.
16. Собівартість сонячної електроенергії впала до 0,97 грн. за кВт-год : за даними Укрінформ 2016 [Електронний ресурс] / Центр досліджень енергетики. – Режим доступу: <http://eircenter.com/news/sobivartist-sonyachnoyelektroenergiyi-vpala-do-097-grn-za-kvt-god/>.
17. Шиленко О. В. Себестоимость электроэнергии. Электростанции будущего [Електронний ресурс] / О. В. Шиленко // Химия и химическая технология жизни, 2016. – Режим доступу: http://www.chemfive.ru/news/sebestoimost_ehlektroehnergii_ehlektrostancii_budushhego/2016-01-02-635.
18. Фінансовий звіт Укренерго за 2016 рік [Електронний ресурс] / Державне підприємство

ємство Укренерго, 2017 р. – Режим доступу: <http://www.ukrenergo.energy.gov.ua>.

Ключові слова: методи ціноутворення, собівартість електроенергії, розрахунок тарифів на електроенергію, ринок електроенергії.

Ключевые слова: методы ценообразования, себестоимость электроэнергии, расчет тарифов на электроэнергию, рынок электроэнергии.

Keywords: pricing methods, cost price of electricity, calculation of electricity tariffs, electricity market.

Рецензенти:

д.т.н., проф. Б. І. Мороз,
д.т.н., проф. В. Є. Волкова.

Надійшла до редколегії 25.10.2017.

Прийнята до друку 10.11.2017.

ЕЛЕКТРОМАГНІТНА СУМІСНІСТЬ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ

УДК 629.4.012

Гаврилюк, В. І. Огляд кривих гальмування європейської системи управління поїздом ETCS / В. І. Гаврилюк // Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті. – 2017. – Ном. 13. – Дніпро: Вид-во ДНУЗТ, 2017. – С. 11–19.

Метою статті є проведення огляду кривих гальмування європейської системи управління поїздом ETCS відповідно до прийнятих в Європі специфікацій.

Хоча специфікації ETCS встановлюють основні принципи кривих гальмування і пов'язану з ними інформацію, що відображається машиністу, але до сих пір немає узгодженого методу їх обчислення. За відсутності будь-яких вимог, алгоритми поставщиків бортового обладнання ETCS призводять до різних гальмівних відстаней для данного типу рухомого складу. Для транскордонних поїздів відмінності в національних правилах вимагають застосування в локомотивному обладнанні ETCS кількох національних кривих гальмування.

Основні особливості моделі гальмування ETCS розглянуті в статті, включаючи слідуючі основні питання: основний принцип забезпечення безпеки руху поїздів, призначення та основні типи кривих гальмування ETCS, вхідні параметри для розрахунку кривої гальмування, конструювання кривої екстреного і гарантованого аварійного гальмування.

Основний принцип забезпечення безпеки руху поїздів заснований на їх роділенні під час руху фіксованими блок-ділянками (для звичайної сигнальної системи) або блок-ділянками із змінними межами (для ERTMS/ETCS рівня 3).

Для забезпечення цих принципів безпеки бортовий комп'ютер ETCS повинен прогнозувати зниження швидкості руху поїзда, ґрунтуючись на математичній моделі динаміки гальмування поїзда і характеристиках колії. Цей прогноз зниження швидкості в залежності від відстані називається кривою гальмування. Мінімальний інтервал між поїздами в системі автоматичної безпеки поїздів визначається мінімальними повноваженнями на рух, які включають в себе точність одометра, реакцію машиніста, час реакції системи безпеки поїзда, час включення гальма. Крива гальмування прогнозує бортовим обладнанням ERTMS/ETCS зниження швидкості руху в залежності від відстані. ETCS контролює як положення, так і швидкість поїзда, для того, щоб їх значення завжди залишалися в допустимих межах, і в разі необхідності ETCS буде управляти гальмівною системою, таким чином, щоб уникнути ризик перевищення поїздом допустимих меж.

В роботі розглянуті основні криві гальмування ETCS та контрольовані граничні значення кривих гальмування, команди дозволу руху і закінчення дозвіл руху, профіль швидкості з найбільшими обмеженнями, контрольоване місце розташування і т.д.

Розглянуто відмінності гальмування на сухих і мокрих рейках. Гальмування на сухих рейках порівняно легко представити статистичною моделлю, яка враховує дисперсію характеристик гальмування. Але на мокрих рейках фізичні явища, які виникають при гальмуванні, надзвичайно складно моделювати в теперішній час. Для подолання цих труднощів розглянуті два різних коригувальних фактори для забезпечення гарантованого гальмування рухомого складу.

Іл. – 7, табл. – 0, список літ. – 20 назв.

УДК 621.331

Гаврилюк, В. І. Моделювання розподілу гармонік зворотного тягового струму в рейках / В. І. Гаврилюк // Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті. – 2017. – Ном. 13. – Дніпро: Вид-во ДНУЗТ, 2017. – С. 20–27.

Електрифіковані залізниці є одним з найпотужніших широко-смугових джерел завад в системах сигналізації і радіозв'язку. Це особливо актуально для нових типів транспортних засобів, оснащених електронними статичними з широтно-імпульсною модуляцією (ШІМ), які можуть створювати високочастотні завади в рейках з частотою до декількох десятків кілогерц.

Для забезпечення електромагнітної сумісності (ЕМС) нових типів рухомого складу з системами сигналізації і радіозв'язку їх піддають процедурі приймання, котра включає в себе випробування на ЕМС відповідно до європейських і національних нормативних стандартів і норм. Але при деяких несприятливих умовах експлуатації для поїздів, які були успішно випробувані і знаходяться в експлуатації разом зі старими транспортними засобами на тих же лініях (іноді зі старою системою електропостачання), струм завад, створюваний транспортними засобами, може досягати значень, що перевищують допустимі значення. В якості таких несприятливих умов експлуатації можна розглядати збільшення кількості поїздів, невелику відстань між приймачем рейкового кола і транспортними засобами або приймачем і підстанцією електропостачання, низьку провідність рейка-земля і провідність землі. Для доказу електромагнітної сумісності (ЕМС) між рухомим складом і системою сигналізації необхідно точне моделювання результатів випробувань з урахуванням конкретних умов експлуатації.

Метою роботи є створення математичної та комп'ютерної моделі розподілення гармонік тягового струму в тяговій мережі при декількох транспортних засобах в фідерній зоні. Ця модель являє собою еволюцію і спрощення моделей, представлених раніше. Робота виконана з метою доказу електромагнітної сумісності нових поїздів, оснащених електронними статичними перетворювачами з існуючими лініями електропостачання і була використана при їх випробуваннях.

Модель була спрощена в такий спосіб. Лінії з рівними або близькими один до одного потенціалами представлені як одна лінія з еквівалентними електричними параметрами. Завади транспортних засобів моделюються як джерела синусоїдального струму з наборами частот, які представлені на еквівалентній схемі вектором струмів. Розглядалися тільки гармоніки зворотного струму з частотами, які лежать в частотному діапазоні приймача рейкового кола. Залежно від цілей моделювання, значення гармонік взяті як значення, виміряні під час випробувань поїзда або як максимальні значення завад відповідно до норм. Розподіл гармонік тягового струму було розраховано для тягової мережі 1х25 кВ змінного струму з двостороннім електропостачанням і при знаходженні від 1 до 5 транспортних засобів у фідерній зоні. Максимальні завади від поїздів створюються на ділянках, найближчих до потягів, а також до точки підключення відсмоктуючого фідера тягової підстанції до рейок. Гармоніки тягового струму в рейках збільшуються зі збільшенням числа поїздів в фідерній зоні і зі зменшенням провідності рейка-земля. Інтерференція на частоті 25 Гц на ділянці поблизу тягової підстанції для одного локомотива в фідерній зоні не перевищує граничного значення 1 А навіть при несприятливих умовах при провідності рейка-земля 0,02 См/км. Однак, якщо кількість поїздів збільшується (від 1 до 5), інтерференція на частоті 25 Гц також збільшується при тій же електропровідності рейка-земля до 1,07 А для двох локомотивів і до 1,33 А для п'яти локомотивів у фідерній зоні, що перевищує граничне значення струму завад в рейках при 25 Гц.

Іл. – 4, табл. – 0, список літ. – 16 назв.

УДК 621.3.011

Бондар, О. І. Математичне моделювання перехідних процесів в установці розмагнічування феромагнітних деталей циліндричної форми / О. І. Бондар // Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті. – 2017. – Ном. 13. – Дніпро: Вид-во ДНУЗТ, 2017. – С. 28–30.

У статті представлено часові залежності напруженості магнітного поля при розмагнічуванні циліндричного зразку магнітного матеріалу, а також напруги на конденсаторі, які отримано шляхом математичного моделювання.

Іл. – 2, табл. – 0, список літ. – 4 назв.

УДК 621.311

Жежеленко, І. В. Визначення індексу надійності систем електропостачання / І. В. Жежеленко, В. Е. Саравас // Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті. – 2017. – Ном. 13. – Дніпро: Вид-во ДНУЗТ, 2017. – С. 31–34.

У статті показано, що одним з важливих показників енергоефективності є показник (індекс) надійності електропостачання, який характеризується зниженням частки збитку від перерв електропостачання у валовому внутрішньому продукті. Розглянуто питання отримання виразу для оптимального значення ступеня надійності з урахуванням значень приведених витрат і їх економічних і енергетичних складових.

Показана значимість оцінки збитку, що виникає через брак електроенергії, при відсутності аварійного резерву. Збиток, обумовлений несиметрією і несинусоїдальністю напруги, в середньому в кілька разів менше пов'язаного з відхиленнями напруги і в найбільшій мірі проявляється в металургійній і машинобудівній промисловості. Дана експертна оцінка значень щорічних втрат, пов'язаних з низькою якістю електроенергії в Україні і в світі в цілому.

Підкреслено значущість проблеми підвищення якості електричної енергії, звернуто увагу на посилення ролі спотворення синусоїдальності кривої напруги у визначенні надійності електропостачання, а також її зв'язок з економічними показниками розвитку країни. Практично всі показники якості електричної енергії впливають на надійність і економічні показники електрообладнання і в кінцевому рахунку впливають на ефективність функціонування всієї системи електропостачання. Показана важливість в конкретних випадках перевищення вартості заходів щодо корекції рівнів несинусоїдальності над значенням економічного збитку. Сформульовані значення індексу надійності електропостачання в комплексі показника енергетичної ефективності, наведені значення питомих капітальних вкладень в резервну генеруючу потужність. Наведено оціночні розрахунки індексів надійності суб'єктів електроенергетики України.

У висновках обґрунтовано застосування мінімуму приведених витрат як критерію оцінювання надійності системи енергопостачання за однакової кількості оптимізаційних значень індексу надійності.

Іл. – 1, табл. – 0, список літ. – 5 назв.

УДК 656.256.3:621.316.9

Ящук, К. І. Дослідження роботи рейкового кола в умовах насичення колійних дросель-трансформаторів / К. І. Ящук, Д. С. Курило // Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті. – 2017. – Ном. 13. – Дніпро: Вид-во ДНУЗТ, 2017. – С. 35–40.

Метою статті є дослідження роботи кодового рейкового кола в умовах насичення колійних дросель-трансформаторів. **Результати.** Отримано залежності напруги на колійному приймачі від величини струму асиметрії для опорів ізоляції у зимовий та літній період за умови насичення колійних дросель-трансформаторів. Встановлено, що внаслідок збільшення струму асиметрії може спостерігатися зниження напруги на колійному приймачі нижче порогу спрацювання, що є відмовою рейкового кола, усунення якої вимагає застосування цілого комплексу заходів. **Наукова новизна** полягає у застосуванні непрямого методу розрахунку, що базується на отриманні коефіцієнтів схеми заміщення дросель-трансформатору для різних величин модулів опорів кола намагнічування, що змінюються у процесі підмагнічення магнітопроводів ДТ постійним струмом. Отриманий метод дозволяє здійснити розрахунки нормального режиму роботи кодового рейкового кола в умо-

вах впливу струму асиметрії при насиченні колійних дросель-трансформаторів. **Практична значимість.** Запропонований непрямий метод може використовуватися для корегування розрахунків режимів роботи рейкових кіл з урахуванням насичення колійних дросель-трансформаторів.

Іл. – 2, табл. – 0, список літ. – 11 назв.

БЕЗПЕКА НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ

УДК 629.4.012

Гаврилюк, В. І. Метод виявлення дефектів рухомої арматури сигнального реле / В. І. Гаврилюк // Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті. – 2017. – Ном. 13. – Дніпро: Вид-во ДНУЗТ, 2017. – С. 42–48.

Незважаючи на значний прогрес в розробці мікроелектронних систем залізничної автоматики, який спостерігається в останні десятиліття, релейно-контактні пристрої, як і раніше широко, використовуються в залізничних системах сигналізації, які є основоположними для безпечної експлуатації залізниць і повинні функціонувати передбачуване і надійно.

Таким чином, реле сигналізації, що використовується для критично важливих для пеки або пов'язаних з безпекою функцій в залізничних системах сигналізації, має належним чином експлуатуватися і перевірятися, щоб гарантувати їх безпечну і надійну роботу протягом всього очікуваного терміну служби.

З метою розробки методу виявлення дефектів рухомої арматури реле сигналізації, були досліджені часові залежності перехідних струмів при перемиканні реле, що знаходилися у різних технічних станах, - в робочому стані, а також з штучно створеними дефектами (вигинами) контактних пружин. Виміряні дані були проаналізовані в часовій і частотній області з використанням модифікацій вейвлет перетворення (CWT, DWT, DWPT).

Аналіз перехідних струмів проводили з використанням сегментації струмових характеристик реле. Перехідний струм реле при включенні на першому і третьому сегментах, котрі відповідають нерухомому якорю, збільшувався в часі по експоненціальному закону.

Постійні часу наростання струму реле, розраховані шляхом апроксимації виміряних часових залежностей перехідного струму в першому сегменті кривої струму в обмотці реле при включенні експоненціальною функцією. Наявність дефектів рухомої арматури реле практично не впливало на значення постійних часу. Однак ці значення сильно залежали від стану магнітного кола реле і обмотки реле, а також від напруги на обмотці реле. Така поведінка постійної часу реле на першому сегменті струмової характеристики дозволяє використовувати її для контролю технічного стану електромагнітної системи реле.

Несправності, викликані дефектами якоря і контактних пружин, приводили до появи додаткових особливостей на другому сегменті перехідного струму реле, який відповідав переміщенню якоря. Величина цих особливостей на струмовій кривій залежала від ступеня вигину контактної пружини реле, а різниця у моментах їх появи на струмовій кривій включення реле відповідає неодноразовості розмикання і замикання контактів реле. Для виділення амплітуди (енергії) цих піків, їх тривалості і часу появи використано вейвлет-перетворення. Дослідження підтвердили можливість визначення дефектів рухомої арматури реле (якоря, контактів, контактних пружин) за формою струмової характеристики включення реле на другому сегменті з детальним визначенням особливостей струмової кривої за допомогою вейвлет аналізу.

Іл. – 5, табл. – 1, список літ. – 14 назв.

УДК 656.259.12

Гаврилюк, В. І. Порівняльний аналіз методів розрахунку імпедансу рейок типу Р65 колії 1520 мм в тональному діапазоні частот / В. І. Гаврилюк // Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті. – 2017. – Ном. 13. – Дніпро: Вид-во ДНУЗТ, 2017. – С. 49–56.

Знання імпедансу рейки на змінному струмі в широкому діапазоні частот необхідно для розробки і моделювання тональних рейкових кіл, визначення розподілу зворотного тягового струму в рейках високошвидкісних залізниць, тестування нових типів рухомого складу на електромагнітну сумісність з рейковими колами і т.п.

Метою роботи є проведення порівняльного аналізу методів розрахунку імпедансу рейок типу Р65 колії 1520 мм на змінному струмі в діапазоні тональних частот.

Наведено короткий огляд результатів вимірювань імпедансу рейок на змінному струмі і розглянуто теоретичний опис частотної залежності імпедансу провідників розташованих над поверхнею землі з урахуванням електромагнітних втрат в поверхневому шарі ґрунту. Наведено математичну формулювання методу Карсона і методу комплексного зображення, запропонованого Дері із співаторами для визначення імпедансу ліній електропередачі. Опір рейок типу Р65 колії 1520 мм було розраховано з використанням методу Карсона і методу комплексного зображення. Внаслідок недостатньої кількості літературних даних по вимірах імпедансу рейок типу Р65 на змінному струмі, результати розрахунків для цього типу рейок були зіставлені з вимірними значеннями як для рейок типу Р65 колії 1520 мм, так і для рейок типу UIC 60 колії 1435 мм. Розраховані частотні залежності імпедансу рейок типу Р65 на змінному струмі в діапазоні частот $10^0 \dots 10^5$ Гц в якісному відношенні задовільно узгоджуються з літературними даними, наведеними для рейок типу UIC60.

Результати для рейок типу Р65 колії 1520 мм, розраховані за методом Карсона і методом комплексного зображення, відрізняються від довідкових даних, представлених в літературі, і ці відмінності збільшуються зі збільшенням частоти. Така поведінка може бути пов'язано з помилкою методів розрахунку, викликаной малою висотою рейок над поверхнею землі, що має електричні втратами і високою електропровідністю між рейками і ґрунтом.

Лл. – 2, табл. – 1, список літ. – 20 назв.

УДК 658.5:614.8

Лагута, В. В. Аналіз відмов елементів залізничної автоматики / В. В. Лагута, Т. М. Сердюк, А. А. Пархоменко // Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті. – 2017. – Ном. 13. – Дніпро: Вид-во ДНУЗТ, 2017. – С. 57–65.

Актуальність. У статті розглядаються питання забезпечення підвищення ефективності функціональної надійності системи залізничної автоматики. Це є важливою науково-технічною задачею, вирішення якої дозволить покращати технологічний процес перевезень з максимальною ефективністю й безпекою руху поїздів.

Метою є аналіз спостережень про відмови елементів системи залізничної автоматики у регіональній філії «Одеська залізниця» за період 2011–2015 рр., їх порівняння; визначення якісних причинно-наслідкових зв'язків між відмовами та їх структури для обраної дистанції для поліпшення її системи технічного обслуговування.

Практична цінність. Визначено основні причини відмов елементів системи залізничної автоматики. Найбільший відсоток відмов в елементах залізничної автоматики приходить на рейкові кола (40,81 %) і апаратуру керування (25,81 %). Прогнозування процесу відмов елементів залізничної автоматики за математичною моделлю складної системи, виконання регулярних ремонтних робіт та впровадження сучасних додаткових діагностично-

профілактичних дій створюють можливість переходу від планово-попереджувальної технології до обслуговування пристроїв залізничної автоматики за їх станом.

Наукова новизна. Запропоновано математичну модель процесу відмов елементів залізничної автоматики як складної системи на основі пасивних спостережень.

Результати. На основі розробленої структури математичної моделі запропоновано засіб спрощення керування системою технічного обслуговування пристроїв залізничної автоматики шляхом виділення підсистем утримання: стативів; сигналів; апаратури керування; стрілочних переводів й електроприводів; системи електроживлення. Покращення експлуатаційних показників роботи елементів залізничної автоматики може бути досягнуто за допомогою впровадження додаткових ремонтно-профілактичних дій з обслуговування рейкових кіл, апаратури, кабельних ліній, елементів захисту й апаратури релейних шаф.

Лл. – 3, табл. – 3, список літ. – 12 назв.

УДК 621.391:681.518

Бойнік, А. Б. Дефектування технічного, технологічного та організаційного забезпечення контрольного пункту АЛСН моторвагонного депо / А. Б. Бойнік, О. Ю. Каменєв, С. О. Змій, О. В. Щєбликіна, В. В. Гаєвський // Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті. – 2017. – Ном. 13. – Дніпро: Вид-во ДНУЗТ, 2017. – С. 66–80.

Проведене в статті дослідження присвячено дефектуванню всіх основних видів забезпечення контрольного пункту автоматичної локомотивної сигналізації неперервної дії одного з моторвагонних депо Південної залізниці в рамках передпроектного обстеження об'єкта.

В процесі дефектування технічного забезпечення контрольного пункту було встановлено, що технічні параметри та спосіб прокладання випробувальних шлейфів повздовж технологічних каналів моторвагонного депо не відповідають встановленим технічним нормам. У першу чергу це стосується типу прокладеного кабелю, способу його кріплення до рейки, відсутності завадозахисних схрещень, довжині й ізоляції.

Дефектування технологічного забезпечення показало, що діюча технологія технічного обслуговування та поточного ремонту пристроїв автоматичної локомотивної сигналізації моторвагонного рухомого складу депо для повноцінної своєї реалізації вимагає надмірних часових ресурсів, що пов'язано із способом прокладання випробувальних шлейфів поздовж технологічних каналів. При цьому середній простій основних виробничих ланок депо через забезпечення функціонування контрольного пункту перевищує дві години, що призводить до нехтування окремими етапами перевірки дії автоматичної локомотивної сигналізації, що, в результаті, погіршує якість виконаного її технічного обслуговування або поточного ремонту.

Дефектування організаційного забезпечення, пов'язаного, перш за все, із штатним розкладом спеціалізованого цеху автоматичної локомотивної сигналізації, показало недосконалість комплектування необхідного штату для виконання робіт із технічного обслуговування та ремонту відповідних пристроїв. Лише формування кадрового резерву здатне частково вирішити порушену проблему.

У результаті дослідження встановлена необхідність корегування всіх видів забезпечення контрольного пункту з метою підвищення якості технічного обслуговування і ремонту пристроїв автоматичної локомотивної сигналізації і, як наслідок, - підвищення як експлуатаційної надійності та безпечності функціонування. На виконання даних корегувань мають бути спрямовані подальші дослідження в предметній галузі.

Лл. – 6, табл. – 4, список літ. – 19 назв.

УДК 656.259.12 : 656.256.3

Мелешко, В. В. Технічний контроль систем числового кодового автоблокування / В. В. Мелешко // Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті. – 2017. – Ном. 13. – Дніпро: Вид-во ДНУЗТ, 2017. – С. 81–87.

Метою роботи є виявлення характерних особливостей роботи засобів технічного контролю системи числового кодового автоблокування, їх переваг і недоліків, аналіз можливості їх використання для діагностування стану пристроїв автоблокування і постановка задач для розробки нових діагностичних комплексів. Для досягнення поставленої мети були використані теоретико-аналітичний метод і метод функціонального аналізу.

Аналіз існуючих і перспективних засобів віддаленого контролю і технічного діагностування пристроїв автоблокування показав, що існуючі системи мають недостатню інформативність, спрямовані в основному на контроль дискретних параметрів, що, в свою чергу, не дозволяє побудувати на їх основі підсистеми підтримки прийняття рішень. Запропоновано при розробці нових систем технічного діагностування використовувати централізовано-розподілений принцип обробки діагностичних даних, включити в їх склад підсистему підтримки прийняття рішень, що дозволить зменшити кількість трудовитрат на обслуговування пристроїв автоблокування і скоротити час на відновлення після виникнення пошкодження.

В результаті досліджень виявлено, що існуючі засоби технічного контролю автоблокування не можуть надати повну оцінку стану перегінних пристроїв сигналізації і блокування, запропоновані критерії для розробки нових систем технічного діагностування зі збільшенням кількості діагностичної інформації та її автоматичним аналізом.

Результати аналізу можуть бути використані на практиці для вибору засобів технічного контролю пристроїв автоблокування, а також при подальшій розробці систем діагностування, що дозволяє провести поступовий перехід від планово-профілактичної моделі до обслуговування по фактичному стану контрольованих пристроїв.

Лл. – 0, табл. – 0, список літ. – 14 назв.

УДК 629.488:629.4.6

Шапошник, В. Ю. Нові стратегії технічного обслуговування і ремонту вантажних вагонів / В. Ю. Шапошник // Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті. – 2017. – Ном. 13. – Дніпро: Вид-во ДНУЗТ, 2017. – С. 88–94.

Підтримання працездатності та заданих показників надійності на всіх етапах технічної експлуатації рухомого складу – головна задача системи технічного обслуговування і ремонту (далі – СТОіР). Розробка та впровадженні вагонів нового покоління з підвищеними показниками надійності та підтримання заданих показників безпеки руху наявного парку вантажних вагонів в умовах його значного строку служби, недостатньому забезпеченню ремонтних депо матеріалами і запасними частинами, старінням інфраструктури та ін. вимагають підвищення ефективності СТОіР. Діюча система технічного обслуговування і ремонту вантажних вагонів потребує змін, які будуть торкатися не тільки оптимізації пробігів вагонів між плановими видами ремонту, а також переходу до нових стратегій СТОіР.

У статті наводяться позитивні і негативні сторони різних стратегій технічного обслуговування і ремонту, розглядаються можливості їх впровадження у СТОіР вантажних вагонів. Запропонований алгоритм вибору стратегії СТОіР який базується на комплексному аналізі надійності вантажного вагона з урахуванням тих елементів конструкцій, які лімітують час між технічним обслуговуванням чи ремонтом. Важливою задачею є визначення мінімально достатнього числа контрольованих параметрів для отримання обґрунтованої інформації про стан об'єкта діагностування (вантажного вагона) на поточний момент часу, розроблення програм діагностування технічного стану окремих вузлів, деталей та вагона в

цілому. Опираючись на отриманні данні розробляються математичні моделі, які описують процес експлуатації, враховують фактичний стан та вплив СТОіР на відмови вантажного вагона.

Іл. – 4, табл. – 0, список літ. – 15 назв.

УДК 625.4:622.235.63

Петренко, В. Д. Параметри і технологія експериментальних вибухів при проходці лівого перегінного тунелю метрополітену у м. Дніпро / В. Д. Петренко, Є. М. Шатайкін, А. М. Штандарин, О. Л. Тютюкін, В. П. Купрій // Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті. – 2017. – Ном. 13. – Дніпро: Вид-во ДНУЗТ, 2017. – С. 95–102.

Розглянуто питання ефективного застосування буровибухових робіт при проведенні трьох дослідних вибухів в перегінному тунелі Дніпропетровського метрополітену. Обґрунтована необхідність комбінованого застосування короткоуповільненого та уповільненого підривання шпурових зарядів для забезпечення високого рівня основних показників проходки і сейсмічної безпеки для будівель та споруд, що знаходяться поблизу об'єкта підземного вибуху. Запропоновано виконувати дослідницькі вибухи врубових зарядів з розподілом їх на три групи по два заряди в кожній, що підриваються через 20 мс. Крім того, для підвищення ккд вибуху застосовано розташування 9 шпурів, що не заряджаються, поміж врубовими та допоміжними зарядами.

Представлено розрахунки швидкостей суміщень частинок ґрунту та напружень, що виникають в ньому під час вибуху, котрі не перевищують небезпечні значення по умовах сейсмічної безпеки.

Іл. – 3, табл. – 1, список літ. – 11 назв.

УДК 656.022

Пасічник, А. М. Проблеми енергозбереження та удосконалення методології розрахунку тарифів на електроенергію / А. М. Пасічник, В. В. Кутирєв, В. А. Пасічник, Л. В. Дунда // Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті. – 2017. – Ном. 13. – Дніпро: Вид-во ДНУЗТ, 2017. – С. 103–117.

Мета. Метою статті є побудова найбільш раціональних схем і алгоритмів їх застосування для встановлення економічно-обґрунтованих прозорих цін на електроенергію та інші товари в умовах ринкової економіки на основі системного аналізу існуючих систем і методів ціноутворення, а також визначення критеріїв об'єктивної оцінки рівня тарифів та розрахунок економічно-обґрунтованої і соціально орієнтованої ціни на електроенергію на основі запропонованого підходу.

Методика. Запропонована методика розрахунку економічно-обґрунтованих тарифів на електроенергію, що базується на класичному методі ціноутворення (собівартість + прибуток). Для проведення порівняльного аналізу українських тарифів на електроенергію з тарифами в європейських країнах, запропонована методика розрахунку приведених коефіцієнтів тарифу з урахуванням рівня середньої заробітної плати та рівня ВВП на душу населення.

Результати. В результаті проведеної систематизації методів ціноутворення показано, що всі представлені методи основуються на класичному підході (собівартість + прибуток), а потім в залежності від умов ринку вони адаптуються під зміну поточної ситуації. На основі проведеного аналізу визначено, що для розрахунку тарифів на електроенергію найбільш раціональним є застосування класичного методу ціноутворення з урахуванням собівартості та економічно-обґрунтованого рівня рентабельності її виробництва.

Проведено порівняльний аналіз тарифів на електроенергію в Україні та в європейських країнах на основі запропонованих в роботі комплексних показників: приведених коефіціє-

нтів тарифу на електроенергію, які визначають відношення тарифу до рівня середньої заробітної плати та рівня ВВП на душу населення.

Для лібералізації економічного стану в енергетичній галузі запропоновано обрати найбільш ефективний метод для визначення ціни на товари стратегічного значення – класичний підхід в ціноутворенні.

Наукова новизна. Наукова новизна полягає в розробці методики розрахунку економічно-обґрунтованих прозорих цін на електроенергію та інші товари в умовах ринкової економіки на основі системного аналізу існуючих систем і методів ціноутворення. Вперше застосована методика проведення порівняльного аналізу українських тарифів на електроенергію з тарифами в провідних європейських країнах на основі приведених коефіцієнтів тарифу з урахуванням рівня середньої заробітної плати та рівня ВВП на душу населення.

Практична значимість. Запропонований підхід дозволяє визначити економічно-обґрунтовані тарифи на електроенергію з урахуванням рентабельності її виробництва та сприятиме встановленню цивілізованих економічних відносин на енергетичному ринку України.

Іл. – 1, табл. – 12, список літ. – 18 назв.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

УДК 629.4.012

Гаврилюк, В. И. Обзор кривых торможения европейской системы управления поездом ETCS / В. И. Гаврилюк // Электромагнитная совместимость и безопасность на железнодорожном транспорте. – 2017. – Ном. 13. – Днепр: Изд-во ДНУЖТ, 2017. – С. 11–19.

Целью статьи является проведение обзора кривых торможения европейской системы управления поездом ETCS в соответствии с принятыми в Европе спецификациями.

Хотя спецификации ETCS устанавливают основные принципы кривых торможения и связанную с ними информацию, отображаемую водителю, но до сих пор нет согласованного метода их вычисления. В отсутствие каких-либо требований, алгоритмы поставщиков бортового оборудования ETCS приводят к разным тормозным расстояниям для данного типа подвижного состава. Для трансграничных поездов различия в национальных правилах требуют применения в локомотивном оборудовании ETCS нескольких национальных кривых торможения.

Основные особенности модели торможения ETCS рассмотрены в статье, включая следующие основные вопросы: основной принцип обеспечения безопасности движения поездов, назначение и основные типы кривых торможения ETCS, входные параметры для расчета кривой торможения, конструирование кривой экстренного и гарантированного аварийного торможения.

Основной принцип обеспечения безопасности движения поездов основан на их разделении при движении фиксированными блока-участками (для обычной сигнальной системы) или блок-участками с изменяемыми границами (для ERTMS/ETCS уровня 3).

Для обеспечения этих принципов бортовой компьютер ETCS должен прогнозировать снижение скорости движения поезда, основываясь на математической модели динамики торможения поезда и характеристиках пути. Этот прогноз снижения скорости в зависимости от расстояния называется кривой торможения. Минимальный интервал между поездами в системе автоматической безопасности поездов определяется минимальными полномочиями на движение, которые включают в себя точность одометра, реакцию машиниста, время реакции системы безопасности поезда, время включения тормоза. Кривая торможения прогнозирует бортовым оборудованием ERTMS/ETCS снижение скорости движения в зависимости от расстояния. ETCS контролирует как положение, так и скорость поезда для того, чтобы их значения постоянно оставались в допустимых пределах, и в случае необходимости ETCS будет управлять тормозной системой, таким образом, чтобы избежать риска превышения поездом допустимых пределов.

В работе рассмотрены основные кривые торможения ETCS и контролируемые предельные значения кривых торможения, команды разрешения движения и окончание разрешения движения, профиль скорости с наибольшими ограничениями, контролируемое местоположение и т.д.

Рассмотрены различия торможения на сухих и мокрых рельсах. Торможение на сухих рельсах сравнительно легко представить статистической моделью, учитывающей дисперсию характеристик торможения. Но на мокрых рельсах физические явления, которые возникают при торможении, чрезвычайно сложно моделировать в настоящее время. Для преодоления этой трудности рассмотрены два различных корректирующих фактора для обеспечения гарантированного торможения подвижного состава.

Ил. – 7, табл. – 0, список лит. – 20 наим.

УДК 621.331

Гаврилюк, В. И. Моделирование распределения гармоник обратного тягового тока в рельсах / В. И. Гаврилюк // Электромагнитная совместимость и безопасность на железнодорожном транспорте. – 2017. – Ном. 13. – Днепр: Изд-во ДНУЖТ, 2017. – С. 20–27.

Электрифицированные железные дороги являются одним из самых мощных широкополосных источников помех в системах сигнализации и радиосвязи. Это особенно актуально для новых типов транспортных средств, оснащенных электронными статическими преобразователями с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ), которые могут создавать высокочастотные помехи в рельсах с частотой до нескольких десятков килогерц.

Для обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС) новых типов подвижного состава с системами сигнализации и радиосвязи их подвергают процедуре приемки, которая включает в себя испытания на ЭМС в соответствии с европейскими и национальными нормативными стандартами и нормами. Но при некоторых неблагоприятных условиях эксплуатации для поездов, которые были успешно испытаны и находятся в эксплуатации со старыми транспортными средствами на тех же линиях (иногда со старой системой электроснабжения), ток помех, создаваемый транспортными средствами, может достигать значений, превышающих допустимые значения. В качестве таких неблагоприятных условий эксплуатации можно рассматривать увеличение количества поездов, небольшое расстояние между приемником рельсовой цепи и транспортными средствами или приемником и подстанцией электроснабжения, низкую проводимость рельс-земля и проводимость земли. Для доказательства электромагнитной совместимости (ЭМС) между подвижным составом и системой сигнализации необходимо точное моделирование результатов испытаний с учетом конкретных условий эксплуатации.

Целью работы является создание математической и компьютерной модели распределения гармоник тягового тока в тяговой тяги при нескольких транспортных средствах в фидерной зоне. Эта модель представляет собой эволюцию и упрощение моделей, представленных ранее. Работа выполнена с целью доказательства электромагнитной совместимости новых поездов, оснащенных электронными статическими преобразователями с существующими линиями электроснабжения и была использована при их испытаниях.

Модель была упрощена следующим образом. Линии с равными или близкими друг к другу потенциалами представлены как одна линия с эквивалентными электрическими параметрами. Помехи транспортных средств моделируются как источники синусоидального тока с наборами частот, которые представлены на эквивалентной схеме вектором токов. Рассматривались только гармоники обратного тока с частотами, которые лежат в частотном диапазоне приемника рельсовой цепи. В зависимости от целей моделирования, значения гармоник взяты как значения, измеренные во время испытаний, поезда или как максимальные значения помех в соответствии с нормами. Распределение гармоник тягового тока было рассчитано тяговой сети 1x25 кВ переменного тока с двухсторонним электроснабжением и при нахождении от 1 до 5 транспортных средств в фидерной зоне. Максимальные помехи от поездов создаются на участках, ближайших к поездам, а также к точке подключения отсасывающего фидера тяговой подстанции к рельсам. Гармоники тягового тока в рельсах увеличиваются с увеличением числа поездов в зоне подачи и с уменьшением проводимости рельс-земля. Интерференция на частоте 25 Гц в области рельсов вблизи тяговой подстанции для одного локомотива в фидерной зоне не превышает предельного значения 1 А даже при неблагоприятных условиях для проводимости рельс-земля 0,02 См/км. Однако если количество поездов увеличивается (от 1 до 5), интерференция на частоте 25 Гц также увеличивается при той же электропроводности рельс-земля до 1,07 А для двух локомотивов и до 1,33 А для пяти локомотивов в фидерной зоне, что превышает предельное значение тока помех в рельсах при 25 Гц.

Ил. – 4, табл. – 0, список лит. – 16 наим.

УДК 621.3.011

Бондарь, О. И. Математическое моделирование переходных процессов в установке размагничивания ферромагнитных деталей цилиндрической формы / О. И. Бондарь // Электромагнитная совместимость и безопасность на железнодорожном транспорте. – 2017. – Ном. 13. – Днепр: Изд-во ДНУЖТ, 2017. – С. 28–30.

В статье представлены временные зависимости напряженности магнитного поля при размагничивании цилиндрического образца ферромагнитного материала, а также напряжения на конденсаторе, полученные путем математического моделирования.

Ил. – 2, табл. – 0, список лит. – 4 наим.

УДК 621.311

Жежеленко, И. В. Определение индекса надежности систем электроснабжения / И. В. Жежеленко, В. Е. Саравас // Электромагнитная совместимость и безопасность на железнодорожном транспорте. – 2017. – Ном. 13. – Днепр: Изд-во ДНУЖТ, 2017. – С. 31–34.

В статье показано, что одним из важных показателей энергоэффективности является показатель (индекс) надежности электроснабжения, который характеризуется снижением доли ущерба от перерывов электроснабжения в валовом внутреннем продукте. Рассмотрены вопросы получения выражения для оптимального значения степени надежности с учетом значений приведенных затрат и их экономических и энергетических составляющих.

Показана значимость оценки ущерба, возникающего из-за нехватки электроэнергии, при отсутствии аварийного резерва. Ущерб, обусловленный несимметрией и несинусоидальностью напряжения, в среднем в несколько раз меньше связанного с отклонениями напряжения и в наибольшей мере проявляется в металлургической и машиностроительной промышленности. Дана экспертная оценка значений ежегодных потерь, связанных с низким качеством электроэнергии в Украине и в мире.

Подчеркнута значимость проблемы повышения качества электрической энергии, обращено внимание на усилившуюся роль искажения синусоидальности кривой напряжения в определении надежности электроснабжения, а также его связь с экономическими показателями развития страны. Практически все показатели качества электрической энергии оказывают влияние на надежность и экономические показатели электрооборудования и в конечном счете влияют на эффективность функционирования всей системы электроснабжения. Показана важность в конкретных случаях превышения стоимости мероприятий по коррекции уровней несинусоидальности над значением экономического ущерба. Сформулированы значения индекса надежности электроснабжения в комплексе показателя энергетической эффективности, приведены значения удельных капитальных вложения в резервную генерирующую мощность. Приведены оценочные расчеты индексов надежности субъектов электроэнергетики Украины.

В выводах обосновано применение минимума приведенных затрат в качестве критерия оценивания надежности системы энергоснабжения при равенстве оптимизационных значений индекса надежности.

Ил. – 1, табл. – 0, список лит. – 5 наим.

УДК 656.256.3:621.316.9

Ящук, Е. И. Исследование работы рельсовой цепи в условиях насыщения путевых дроссель-трансформаторов / Е. И. Ящук, Д. С. Курило // Электромагнитная совместимость и безопасность на железнодорожном транспорте. – 2017. – Ном. 13. – Днепр: Изд-во ДНУЖТ, 2017. – С. 35–40.

Целью статьи является исследование работы кодовой рельсовой цепи в условиях насыщения путевых дроссель-трансформаторов. **Результаты.** Получены зависимости

напряжения на путевом приемнике от величины тока асимметрии для сопротивлений изоляции в зимний и летний период при условии насыщения путевых дроссель-трансформаторов. Установлено, что вследствие увеличения тока асимметрии может наблюдаться снижение напряжения на путевом приемнике ниже порога срабатывания, что является отказом рельсовой цепи, устранение которого требует применения целого комплекса мероприятий. **Научная новизна** заключается в применении косвенного метода расчета, базирующегося на получении коэффициентов схемы замещения дроссель-трансформатора для различных величин модулей сопротивлений цепи намагничивания, изменяющихся в процессе подмагничивания магнитопроводов ДТ постоянным током. Полученный метод позволяет осуществить расчеты нормального режима работы кодовой рельсовой цепи в условиях воздействия тока асимметрии при насыщении путевых дроссель-трансформаторов. **Практическая значимость.** Предложенный косвенный метод может использоваться для корректировки расчетов режимов работы рельсовых цепей с учетом насыщения путевых дроссель-трансформаторов.

Ил. – 2, табл. – 0, список лит. – 11 наим.

БЕЗОПАСНОСТЬ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

УДК 629.4.012

Гаврилюк, В. И. Метод обнаружения дефектов подвижной armатуры сигнального реле / В. И. Гаврилюк // Электромагнитная совместимость и безопасность на железнодорожном транспорте. – 2017. – Ном. 13. – Днепр: Изд-во ДНУЖТ, 2017. – С. 42–48.

Несмотря на значительный прогресс в разработке микроэлектронных систем железнодорожных автоматики, наблюдаемый в последние десятилетия, релейно-контактные устройства по-прежнему широко используются в железнодорожных системах сигнализации, которые являются основополагающими для безопасной эксплуатации железных дорог и должны функционировать предсказуемо и надежно.

Таким образом, реле сигнализации, используемое для критически важных для безопасности или связанных с безопасностью приложений в железнодорожных системах сигнализации, должно надлежащим образом эксплуатироваться и проверяться, чтобы гарантировать их безопасную и надежную работу в течение всего ожидаемого срока службы.

С целью разработки метода выявления дефектов подвижной armатуры реле сигнализации, были исследованы временные зависимости переходных токов при переключении реле в различных технических состояниях, – в рабочем состоянии, а также с искусственно созданными дефектами (изгибами) контактных пружины. Измеренные данные были проанализированы во временной и частотной области с использованием модификаций вейвлет преобразования (CWT, DWT, DWPT).

Анализ переходных токов проводили с использованием сегментации токовых характеристик реле. Переходный ток реле при включении на первом и третьем сегментах, которые соответствуют неподвижному якорю, увеличивался во времени по экспоненциальному закону.

Постоянные времени нарастания тока реле, рассчитывали путем аппроксимации измеренных временных зависимостей переходного тока в первом сегменте кривой тока в обмотке реле при включении экспоненциальной функцией. Наличие дефектов подвижной armатуры реле практически не оказывало влияние на значения постоянных времени. Однако эти значения сильно зависели от состояния магнитной цепи реле и обмотки реле, а также от приложенного к обмотке напряжения. Такое поведение постоянной времени реле на первом сегменте токовой характеристики позволяет использовать ее для контроля технического состояния электромагнитной системы реле.

Неисправности, вызванные дефектами якоря и контактных пружин, приводили к появлению дополнительных особенностей на втором сегменте переходного тока реле, который соответствовал перемещению якоря. Величина этих особенностей на токовой кривой зависела от степени изгиба контактной пружины реле, а различие в моментах их появления на токовой кривой соответствует не одновременности размыкания и замыкания контактов реле. Для выделения амплитуды (энергии) этих пиков, их длительности и времени появления использовано вейвлет-преобразование. Исследования подтвердили возможность определения дефектов подвижной арматуры реле (якоря, контактов, контактных пружин) по форме второго сегмента токовой характеристики включения реле с детальным выделением особенностей токовой кривой с помощью вейвлет анализа.

Ил. – 5, табл. – 1, список лит. – 14 наим.

УДК 656.259.12

Гаврилюк, В. И. Сравнительный анализ методов расчета полного сопротивления рельсов типа Р65 колеи 1520 мм в тональном диапазоне частот / В. И. Гаврилюк // Электромагнитная совместимость и безопасность на железнодорожном транспорте. – 2017. – Ном. 13. – Днепр: Изд-во ДНУЖТ, 2017. – С. 49–56.

Знание импеданса рельса на переменном токе в широком диапазоне частот необходимо для разработки и моделирования тональных рельсовых цепей, определения распределения обратного тягового тока в рельсах высокоскоростных железных дорог, тестирования новых типов подвижного состава на электромагнитную совместимость с рельсовыми цепями и т.п.

Целью работы является проведение сравнительного анализа методов расчета импеданса рельсов типа Р65 колеи 1520 мм на переменном токе в диапазоне тональных частот.

В работе приведен краткий обзор результатов измерений импеданса рельсов на переменном токе и рассмотрено теоретическое описание частотной зависимости импеданса проводников расположенных над поверхностью земли с учетом электромагнитных потерь в поверхностном слое земли. Приведена математическая формулировка метода Карсона и метода комплексного изображения, предложенного Дери с соавторами для определения импеданса линий электропередачи. Сопротивление рельсов типа Р65 колеи 1520 мм было рассчитано с использованием метода Карсона и метода комплексного изображения. Вследствие недостаточного количества литературных данных по измерениям импеданса рельсов типа Р65 на переменном токе, результаты расчетов для этого типа рельсов были сопоставлены с измеренными значениями как для рельсов типа Р65 колеи 1520 мм, так и для рельсов типа UIC 60 колеи 1435 мм. Рассчитанные частотные зависимости импеданса рельсов типа Р65 на переменном токе в диапазоне частот $10^0 \dots 10^5$ Гц в качественном отношении удовлетворительно согласуются с литературными данными, приведенными для рельсов типа UIC60.

Результаты для рельсов типа Р65 колеи 1520 мм, рассчитанные по методу Карсона и методу комплексного изображения, отличаются от справочных данных, представленных в литературе, и эти различия увеличиваются с увеличением частоты. Такое поведение может быть связано с ошибкой методов расчета, вызванной малой высотой рельсов над поверхностью земли имеющей электрические потери и с высокой электропроводностью между рельсами и грунтом.

Ил. – 2, табл. – 1, список лит. – 20 наим.

УДК 658.5:614.8

Лагута, В. В. Анализ отказов элементов железнодорожной автоматики / В. В. Лагута, Т. Н. Сердюк, А. А. Пархоменко // Электромагнитная совместимость и безопасность на

железнодорожном транспорте. – 2017. – Ном. 13. – Днепр: Изд-во ДНУЖТ, 2017. – С. 57–65.

Актуальность. В статье рассматриваются вопросы обеспечения повышения эффективности функциональной надежности системы железнодорожной автоматики. Это является важной научно-технической задачей, решение которой позволит улучшить технологический процесс перевозок с максимальной эффективностью и безопасностью движения поездов.

Целью является анализ наблюдений об отказах элементов системы железнодорожной автоматики в региональном филиале «Одесская железная дорога» за период 2011–2015 гг., сравнение и определение качественных причинно-следственных связей между отказами и их структуры для выбранной дистанции для улучшения ее системы технического обслуживания.

Практическая ценность. Определены основные причины отказов элементов системы железнодорожной автоматики. Наибольший процент отказов в элементах железнодорожной автоматики приходится на рельсовые цепи (40,81 %) и аппаратуру управления (25,81 %). Прогнозирование процесса отказов элементов железнодорожной автоматики по математической модели сложной системы, выполнении регулярных ремонтных работ и внедрения современных дополнительных диагностических и профилактических действий создадут возможность перехода от планово-предупредительной технологии к обслуживанию устройств железнодорожной автоматики по состоянию.

Научная новизна. Предложена математическая модель процесса отказов элементов железнодорожной автоматики как сложной системы на основе пассивных наблюдений.

Результаты. На основе разработанной структуры математической модели предложено средство упрощения управления системой технического обслуживания устройств железнодорожной автоматики путем выделения подсистем содержание: стативов; сигналов; аппаратуры управления; стрелочных переводов и электроприводов; системы электропитания. Улучшение эксплуатационных показателей работы элементов железнодорожной автоматики может быть достигнуто за счет внедрения дополнительных ремонтно-профилактических действий по обслуживанию рельсовых цепей, аппаратуры, кабельных линий, элементов защиты и аппаратуры релейных шкафов.

Ил. – 3, табл. – 3, список лит. – 12 наим.

УДК 621.391:681.518

Бойник, А. Б. Дефектовка технического, технологического и организационного обеспечения контрольного пункта АЛСН моторвагонного депо / А. Б. Бойник, А. Ю. Каменев, С. А. Змей, Е. В. Щеплыкина, В. В. Гаевский // Электромагнитная совместимость и безопасность на железнодорожном транспорте. – 2017. – Ном. 13. – Днепр: Изд-во ДНУЖТ, 2017. – С. 66–80.

Проведенное в статье исследование посвящено дефектированию всех основных видов обеспечение контрольного пункта автоматической локомотивной сигнализации непрерывного действия одного из моторвагонных депо Южной железной дороги в рамках предпроектного обследования объекта.

В процессе дефектирования технического обеспечения контрольного пункта было установлено, что технические параметры и способ прокладки испытательных шлейфов вдоль технологических канав моторвагонного депо не соответствуют установленным техническим нормам. В первую очередь это касается типа проложенного кабеля, способа его крепления к рейке, отсутствия помехозащищенных пересечений, длине и изоляции.

Дефектовка технологического обеспечения показал, что действующая технология технического обслуживания и текущего ремонта устройств автоматической локомотивной сигнализации моторвагонного подвижного состава депо для полноценной своей реализа-

ции требует чрезмерных временных ресурсов, что связано со способом прокладки испытательных шлейфов вдоль технологических канав. При этом средний простой основных производственных звеньев депо за обеспечение функционирования контрольного пункта превышает два часа, что приводит к пренебрежению отдельными этапами проверки действия автоматической локомотивной сигнализации, что, в результате, ухудшает качество выполненного технического обслуживания или текущего ремонта.

Дефектовка организационного обеспечения, связанного, прежде всего, с штатным расписанием специализированного цеха автоматической локомотивной сигнализации, показало несовершенство комплектования необходимого штата для выполнения работ по техническому обслуживанию и ремонту соответствующих устройств. Только формирование кадрового резерва способно частично решить затронутую проблему.

В результате исследования установлена необходимость корректировки всех видов обеспечения контрольного пункта с целью повышения качества технического обслуживания и ремонта устройств автоматической локомотивной сигнализации и, как следствие, - повышение эксплуатационной надежности и безопасности функционирования. На выполнение данных корректировок должны быть направлены дальнейшие исследования в предметной области.

Ил. – 6, табл. – 4, список лит. – 19 наим.

УДК 656.259.12 : 656.256.3

Мелешко, В. В. Технический контроль систем числовой кодовой автоблокировки / В. В. Мелешко // Электромагнитная совместимость и безопасность на железнодорожном транспорте. – 2017. – Ном. 13. – Днепро: Изд-во ДНУЖТ, 2017. – С. 81–87.

Целью работы является выявление характерных особенностей работы средств технического контроля системы числовой кодовой автоблокировки, их преимуществ и недостатков, анализ возможности их использования для диагностирования состояния устройств автоблокировки и постановка задач для разработки новых диагностических комплексов.

Для достижения поставленной цели были использованы теоретико-аналитический метод и метод функционального анализа.

Анализ существующих и перспективных средств удаленного контроля и технического диагностирования устройств автоблокировки показал, что существующие системы имеют недостаточную информативность, направлены в основном на контроль дискретных параметров, что, в свою очередь, не позволяет построить на их основе подсистемы поддержки принятия решений. Предложено при разработке новых систем технического диагностирования использовать централизованно-распределенный принцип обработки диагностических данных, включить в их состав подсистему поддержки принятия решений, что позволит уменьшить количество трудозатрат на обслуживание устройств автоблокировки и сократить время на восстановление после возникновения повреждения.

В результате исследований выявлено, что существующие средства технического контроля автоблокировки не могут предоставить полную оценку состояния перегонных устройств сигнализации и блокировки, предложены критерии для разработки новых систем технического диагностирования с увеличением количества диагностической информации и ее автоматическим анализом.

Результаты анализа могут быть использованы на практике для выбора средства технического контроля устройств автоблокировки, а также при дальнейшей разработке систем диагностирования автоблокировки, что позволяет провести постепенный переход от планово-профилактической модели обслуживания к обслуживанию по фактическому состоянию контролируемых устройств.

Ил. – 0, табл. – 0, список лит. – 14 наим.

УДК 629.488:629.4.6

Шапошник, В. Ю. Новые стратегии технического обслуживания и ремонта грузовых вагонов / В. Ю. Шапошник // Электромагнитная совместимость и безопасность на железнодорожном транспорте. – 2017. – Ном. 13. – Днепр: Изд-во ДНУЖТ, 2017. – С. 88–94.

Поддержание работоспособности и заданных показателей надежности на всех этапах технической эксплуатации подвижного состава - главная задача системы технического обслуживания и ремонта (далее - СТОиР). Разработка и внедрении вагонов нового поколения с повышенными показателями надежности, и поддержания заданных показателей безопасности движения имеющегося парка грузовых вагонов в условиях его значительно-го срока службы, недостаточном обеспечении ремонтных депо материалами и запасными частями, старением инфраструктуры и др. требуют повышения эффективности СТОиР. Действующая система технического обслуживания и ремонта грузовых вагонов требует изменений, которые будут касаться не только оптимизации пробегов вагонов между плановыми видами ремонта, а также перехода к новым стратегиям СТОиР.

В статье приводятся положительные и отрицательные стороны различных стратегий технического обслуживания и ремонта, рассматриваются возможности их внедрения в СТОиР грузовых вагонов. Предложенный алгоритм выбора стратегии СТОиР базирующийся на комплексном анализе надежности грузового вагона с учетом тех элементов конструкций, которые лимитируют время между техническим обслуживанием или ремонтом. Важной задачей является определение минимально достаточного числа контролируемых параметров для получения обоснованной информации о состоянии объекта диагностирования (грузового вагона) на текущий момент времени, разработка программ диагностирования технического состояния отдельных узлов, деталей и вагона в целом. Опираясь на полученные данные, разрабатываются математические модели, которые описывающие процесс эксплуатации, учитывают фактическое состояние и влияние СТОиР на отказы грузового вагона.

Ил. – 4, табл. – 0, список лит. – 15 наим.

УДК 625.4:622.235.63

Петренко, В. Д. Параметры и технология экспериментальных взрывов при проходке левого перегонного тоннеля метрополитена в г. Днепре / В. Д. Петренко, Е. М. Шатайкин, А. М. Штандарин, А. Л. Тюткин, В. П. Куприй // Электромагнитная совместимость и безопасность на железнодорожном транспорте. – 2017. – Ном. 13. – Днепр: Изд-во ДНУЖТ, 2017. – С. 95–102.

Рассмотрены вопросы эффективного применения буровзрывных работ при проведении трех опытных взрывов в перегонном тоннеле Днепропетровского метрополитена. Обоснована необходимость комбинированного применения короткозамедленного и замедленного взрывания шпуровых зарядов для обеспечения высокого уровня основных показателей проходки и сейсмической безопасности для зданий и сооружений, находящихся вблизи объекта подземного взрыва. Предложено выполнять опытные взрывы врубовых зарядов с разделением их на три группы по два заряда в каждой, взрываемых через 20 мс. Кроме того, для повышения КПД взрыва применено расположение 9 незаряжаемых шпуров между врубовыми и вспомогательными зарядами.

Представлены расчеты скоростей смещений частиц грунта и напряжений, возникающих в нём при взрыве, которые не превышают опасных значений по условиям сейсмической безопасности.

Ил. – 3, табл. – 1, список лит. – 11 наим.

УДК 656.022

Пасечник, А. Н. Проблемы энергосбережения и усовершенствования методологии расчета тарифов на электроэнергию / А. Н. Пасечник, В. В. Кутырев, В. А. Пасечник, Л. В. Дунда // Электромагнитная совместимость и безопасность на железнодорожном транспорте. – 2017. – Ном. 13. – Днепр: Изд-во ДНУЖТ, 2017. – С. 103–117.

Цель. Целью статьи является построение наиболее рациональных схем и алгоритмов их применения для определения экономически обоснованных прозрачных цен на электроэнергию и другие товары в условиях рыночной экономики на основе системного анализа существующих систем и методов ценообразования, а также определение критериев объективной оценки уровня тарифов и расчет экономически обоснованной и социально ориентированной цены на электроэнергию на основе предложенного подхода.

Методика. Предложена методика расчета экономически обоснованных тарифов на электроэнергию, базирующаяся на классическом методе ценообразования (себестоимость + прибыль). Для проведения сравнительного анализа украинских тарифов на электроэнергию с тарифами в европейских странах, предложена методика расчета приведенных коэффициентов тарифа с учетом уровня средней заработной платы и уровня ВВП на душу населения.

Результаты. В результате проведенной систематизации методов ценообразования показано, что все представленные методы основываются на классическом подходе (себестоимость + прибыль), а затем в зависимости от условий рынка они адаптируются под изменение текущей ситуации. На основе проведенного анализа установлено, что для расчета тарифов на электроэнергию наиболее рациональным является применение классического метода ценообразования с учетом себестоимости и экономически обоснованного уровня рентабельности ее производства.

Проведен сравнительный анализ тарифов на электроэнергию в Украине и в европейских странах на основе предложенных в работе комплексных показателей: приведенных коэффициентов тарифа на электроэнергию, которые определяют отношение тарифа до уровня средней заработной платы и уровня ВВП на душу населения.

Для либерализации экономического положения в энергетической отрасли предложено выбрать наиболее эффективный метод для определения цены на товары стратегического значения - классический подход в ценообразовании.

Научная новизна. Научная новизна заключается в разработке методики расчета экономически обоснованных прозрачных цен на электроэнергию и другие товары в условиях рыночной экономики на основе системного анализа существующих систем и методов ценообразования. Впервые применена методика проведения сравнительного анализа украинских тарифов на электроэнергию с тарифами в европейских странах на основе приведенных коэффициентов тарифа с учетом уровня средней заработной платы и уровня ВВП на душу населения.

Практическая ценность. Предложенный подход позволяет определить экономически обоснованные тарифы на электроэнергию с учетом рентабельности ее производства и способствовать установлению цивилизованных экономических отношений на энергетическом рынке Украины.

Ил. – 1, табл. – 12, список лит. – 18 наим.

ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY ON RAILWAY TRANSPORT

UDC 629.4.012

Havryliuk, V. I. An overview of the ETCS braking curves / V. I. Havryliuk // Electromagnetic compatibility and safety on railway transport. – 2017. – No 13. – Dnipro: DNURT, 2017. – P. 11–19.

The purpose of the article is to present an overview of the ETCS braking curves according to the European specifications.

Though the ETCS specifications lay down the basic principles for the braking curves and the associated information displayed to the driver, but there is still no harmonized method to compute them. In the absence of any requirement, the algorithms of the ETCS on-board suppliers lead to different braking distances for a given type of rolling stock. For cross border trains, the differences through national rules require the implementation in the ETCS on-board of several national braking curves.

The main features of the braking curves have been reviewed in the article, including the following main aspects: basic principle to ensure of the train movement safety, the purpose and main types of ETCS braking curves, the input parameters for braking curve calculation, construction of the emergency brake deceleration curve, and guaranteed emergency brake deceleration.

The basic principle to ensure the train movement safety is based on their separation in fixed block distance (for a conventional signalling system) or in moving block-sections (for ERTMS/ETCS level 3).

To ensure these principles the ETCS onboard computer must predict the decrease of the train speed in the future, from a mathematical model of the train braking dynamics and of the track characteristics ahead. This prediction of the speed decrease versus distance is called a braking curve. The minimum interval between trains under automatic train protection system is defined by minimum movement authority that comprises odometer tolerance, driver allowance, ATP reaction times, brake application time. Braking curve predict of the train speed decrease versus distance by the ERTMS/ETCS on-board equipment, from a mathematical model of the train braking dynamics and the track characteristics ahead. ETCS supervises both the position and speed of the train to ensure they continuously remain within the allowed speed and distance limits, and if necessary it will command the intervention of the braking system to avoid any risk of the train exceeding those limits.

There have been considered in the work the main ETCS braking curves and the supervision limits of the EBD braking curves, the movement authority, the end of authority, the most restrictive speed profile, the supervised location and others.

Differences in braking on dry and wet rails are considered. The braking on dry rails is relatively easy to represent through a statistical model that take into account the dispersion of the braking performance. But on wet rails the physical phenomenon that occur when braking are still today extremely difficult to model. In order to overcome this difficulty, two distinct rolling stock correction factors have been considered in order to get the guaranteed emergency brake deceleration.

Ill. – 7, the table – 0, ref. – 20 names.

UDC 621.331

Havryliuk, V. I. Modeling of the traction current harmonics distribution in rails / V. I. Havryliuk // Electromagnetic compatibility and safety on railway transport. – 2017. – No 13. – Dnipro: DNURT, 2017. – P. 20–27.

Electrified railways are one of the most powerful wide frequency range sources of disturbances that interference on signaling and radio communication systems. This is especially true for new types of vehicles equipped with electronic static converters with pulse width modulation (PWM), from which high-frequency interferences in rails can have frequencies up to several tens of kHz.

To ensure the electromagnetic compatibility (EMC) of new types of rolling stock with signaling and radio communication systems, they are subjected to an acceptance procedure that includes on EMC tests in accordance with European and national regulatory standards and norms. But under some unfavorable operation conditions for the trains that were successfully tested and are in operation with old vehicles on the same lines (sometimes with old feeding system), the disturbing current generated by vehicles may reach values greater than the allowed values. As such unfavorable operational conditions may be considered increasing number of trains, low distance between track circuit receiver and vehicles or supply substation, low rail-to-earth conductivity and conductivity of earth. To proof the electromagnetic compatibility (EMC) between rolling stock and signalling systems it is need accurate modeling of the test cases with taking into account particular operation conditions.

The aim of the work is to establish mathematical and computer model for distribution of traction current harmonics in direct feeding traction network with multiple vehicles in feeder zone. This model is an evolution and simplification of models represented earlier.

The work has been performed in order to proof the electromagnetic compatibility of new trains equipped with electronic static converters with existing traction lines and has been used during tests of new types of train.

The model has been simplified as follows. The lines with equal or close to each other potentials are represented as a single line with equivalent electrical parameters. The disturbing vehicles are modeled as sinusoidal current sources with several set of frequencies that are represented by currents vector. Only return current harmonics with frequencies that lie in frequency range of track circuit receiver were considered. Depended of simulation aim the values of harmonics are taken as values measured during train tests or as the maximum interference values according to norms.

The distribution of the traction return current harmonics was computed for AC direct feeding traction network 1x25 kV with two-side ESS and with 1 to 5 vehicles in feeder zone. The maximum interference from trains is in the areas nearest to trains and also to the point of connection of return feeder to rails (at ESS terminals). The traction harmonic current in rails are increased with increasing of train number in feeder zone and with decreasing of the rail-to-earth conductivity.

The interference at 25 Hz in the rails area near the ESS for one locomotive in feeder zone don't exceed a limit value of 1 A even in unfavorable operation conditions for of the rail-to-earth conductivity equal 0.02 Sm/km. If number of trains are increased (from 1 to 5) the interference at 25 Hz also increased and it values at rail-to-earth conductivity equal 0.02 Sm/km reach to 1.073 A for two locomotives and to 1.233 A for five locomotives, that exceed the limit value of the interference in rails at 25 Hz.

Ill. – 4, the table – 0, ref. – 16 names.

UDC 621.3.011

Bondar, O. I. Mathematical simulation of transient processes in the setting of cylinder magnets' demagnetization / O. I. Bondar // Electromagnetic compatibility and safety on railway transport. – 2017. – No 13. – Dnipro: DNURT, 2017. – P. 28–30.

In this article the temporal dependences of magnetic intensity in a cylindrical pattern of magnetic material during its impulse demagnetization and capacitor's voltage are carried out by the mathematical simulation.

Ill. – 2, the table – 0, ref. – 4 names.

UDC 621.311

Zhezhelenko, I. V. Definition of the dependability index of power supply systems / I. V. Zhezhelenko, V. E. Saravas // Electromagnetic compatibility and safety on railway transport. – 2017. – No 13. – Dnipro: DNURT, 2017. – P. 31–34.

The article shows that one of the important indicators of energy efficiency is the index (index) of dependability of electricity supply, which is characterized by a decrease in the share of damage from interruptions of power supply in the gross domestic product. The questions of obtaining an expression for the optimal value of the degree of dependability are considered taking into account the values of the reduced costs and their economic and energy components.

The significance of an assessment of damage caused by a shortage of electricity is shown in the absence of an emergency reserve. The damage caused by asymmetry and nonsinusoidal tension, on average, is several times less than the voltage associated with the deviations and is most pronounced in the metallurgical and engineering industries. An expert assessment of the annual losses associated with the low quality of electricity in Ukraine and in the world is given.

The importance of the problem of improving the quality of electric energy was stressed; attention was drawn to the increased role of the sinusoidal distortion of the voltage curve in determining the dependability of electricity supply, as well as its relation to the economic indicators of the country's development. Virtually all indicators of the quality of electrical energy affect the dependability and economic performance of electrical equipment and ultimately affect the efficiency of the entire power supply system. It is shown the importance in specific cases of exceeding the cost of measures to correct the levels of nonsinusoidality over the value of economic damage. The values of the power supply dependability index in the complex of the energy efficiency index are formulated; the values of the specific capital investments in the reserve generating capacity are given. Estimated calculations of dependability indices of electric power industry subjects of Ukraine are given.

In the conclusions, it is justified to apply the minimum of the given costs as a criterion for estimating the dependability of the power supply system with the equality of the optimization values of the dependability index.

Ill. – 1, the table – 0, ref. – 5 names.

UDC 656.256.3:621.316.9

Yashchuk, K. I. Investigation of a track circuit operation under conditions of saturation of the track's impedance bonds / K. I. Yashchuk, D. S. Kurylo // Electromagnetic compatibility and safety on railway transport. – 2017. – No 13. – Dnipro: DNURT, 2017. – P. 35–40.

The article's **purpose** is studying the operation of the code track circuit in the conditions of track's impedance bonds saturation. **Results.** The dependences of the track receiver voltage on the asymmetry current magnitude for the insulation resistances in the winter and summer period are obtained, provided the track's impedance bonds saturation. It is established that, due to an increase in the asymmetry current, there can be a decrease in the voltage across the track receivers below the threshold, which is a failure of the track circuit, the elimination of which requires the use of a whole range of measures. **Scientific novelty** consists in applying an indirect calculation method based on obtaining the coefficients of the impedance bond's equivalent circuit for various values of the resistance modules of the magnetization circuit, which change during the magnetization of the impedance bonds magnetic core by DC. The obtained method makes it pos-

sible to perform calculations of the code track circuit normal operating mode under the conditions of the impedance bonds' saturating. **Practical significance.** The proposed indirect method can be used to adjust the calculation of the track circuits operating modes, with considering the saturation of track impedance bonds.

Ill. – 2, the table – 0, ref. – 11 names.

SAFETY ON RAILWAY TRANSPORT

UDC 629.4.012

Havryliuk, V. I. The method for detecting defects in movable armature of the signalling relay / V. I. Havryliuk // Electromagnetic compatibility and safety on railway transport. – 2017. – No 13. – Dnipro: DNURT, 2017. – P. 42–48.

Despite significant progress in the development of microelectronic rail automatic systems observed in recent decades, relay-contact devices are still widely used in railway signalling systems, that are fundamental to the safe operation of railways and must perform predictably and reliably.

Thus, signalling relays used for safety-critical or safety-related applications in railway signalling systems should be properly maintained and tested to ensure their performing safely and reliably throughout their expected service life.

With the purpose of developing a method for detecting defects in movable armature of the signalling relay, the time dependences of transient currents during relays switching have been investigated for relay in various technical conditions: in operable condition, as well as with artificially created defects (bends) of contact springs. The measured data have been analyzed in the time and frequency domain using the wavelet transform modifications (CWT, DWT, DWPT).

The analysis of the transient currents was carried out using segmentation of the current characteristics of the relay. The relay transient current at first and third segments which corresponded to unmovable anchor state, increase with time during relay switch-on approximately as the exponential function.

The time constants of the relay current were calculated by approximating the measured current-time dependences at the first segment of the current curve by exponential function.

The presence of defects in the movable armature of the relay had practically no effect on the values of calculated time constants.

However, these values strongly depended on the technical condition of the relay magnetic circuit and the relay coil, as well as on the voltage applied to the coil terminals. This behavior of the relay time constant on the first segment of the relay current characteristic makes it possible to use this parameter to monitor the technical state of the electromagnetic relay system.

Defects of the armature and contact springs led to the appearance of additional features at the second segment of the relay transient current, which corresponded to the movement of the armature. The magnitude of these features on the current curve depended on the value of bending of the relay's contact spring. The width and appearance time of the features at the second segment of the current-switching curve correspond to the non-simultaneous switching of the relay contacts. To determine the amplitude (energy) of these features (peaks) on transient current curve, their duration and the times of appearance, the wavelet transform was used. The results of investigations confirmed the possibility of determining the defects of the relay movable armature by using wavelet analysis of the second segment of the relay transient current characteristic.

Ill. – 5, the table – 1, ref. – 14 names.

UDC 656.259.12

Havryliuk, V. I. The comparative analysis of calculating methods for ac impedance of R65 type rails and track 1520 mm gauge in the audio frequency range / V. I. Havryliuk // *Electromagnetic compatibility and safety on railway transport*. – 2017. – No 13. – Dnipro: DNURT, 2017. – P. 49–56.

Knowledge of the exact AC rail impedance in a wide frequency range is necessary for designing and modeling audiofrequency track circuits, determining of the traction return current distribution in rails of high-speed railways, testing new types of vehicles on electromagnetic compatibility with track circuits, etc.

The aim of the work is to perform a comparative analysis of the methods for calculating of the AC impedance of the R65 type rails of a track 1520 mm gauge in the audiofrequency range.

Results of AC rail impedance measurements and theoretical description of frequency dependence of impedance for wires above lossy ground are briefly reviewed. Mathematical formulation of Carson's method and the complex image method proposed by Deri with co-workers for impedance of transmission lines were represented. The impedance of running rails of R65 type and track of 1520 mm gauge have been calculated by using Carson's method and the complex image method. Due to the insufficient amount of literature data concerning AC impedance measurements for rails of type R65 of 1520 mm gauge, the results of calculations for these rails were compared with the measured values for both rails of type R65, 1520 mm gauge, as well as for rails of type UIC 60 with 1435 mm gauge. Calculated frequency dependencies of the AC impedance of R65 type rails are in good qualitative agreement with literature data for rails UIC60 in frequency range $10^0 \dots 10^5$ Hz.

The results for rails of R65 type and 1520 mm gauge calculated according to Carson's method and complex image method differ from reference data presented in literature, and these differences increase with increasing of frequency. Such behavior may be due to error of calculation methods caused by small height of rails above lossy ground and high electrical conductivity between rails and a ground.

Ill. – 2, the table – 1, ref. – 20 names.

UDC 658.5:614.8

Laguta, V. V. Analysis of failures of railway automatics elements / V. V. Laguta, T. M. Serdiuk, A. A. Parhomenko // *Electromagnetic compatibility and safety on railway transport*. – 2017. – No 13. – Dnipro: DNURT, 2017. – P. 57–65.

Relevance. The questions of functional reliability efficiency increase maintenance railway automatics system are considered in the article. This is an important scientific and technical task, the solution of which will improve the technological process of transportation with maximum efficiency and safety of train traffic.

The purpose are to analyze observations of the failures of the elements of the railway automatics system of the «Odessa Railway» Regional Branch of JSC «Ukrzaliznytsia» for the period from 2011 to 2015 years, to compare and define of qualitative cause-effect relationships between failures and their structure for the given distance to improve maintenance.

Practical value. The main causes of the elements failures of railway automatics system are determined. The highest percentage of failures from all devices of railway automatics has track circuits (40.81 %) and control equipment (25.81 %). Predicting failures process of railway automatics elements based on the mathematical model of a complex system, performing regular repair works and introducing modern additional diagnostics and preventive actions will create the possibility of transition from planned preventive techniques to maintenance of railway automatics devices on requirement.

Scientific novelty. A mathematical model of the failures process of railway automatics elements is proposed as a complex system based on passive observations.

Results. On the basis of the developed structure of the mathematical model, a means of simplifying the management of the railway automatics devices maintenance system is proposed by the separation of subsystems: supports; signals; control equipment; switch pointers and electric drives; power supply systems. Improving operational coefficients of rail automatics elements can be achieved by the introduction of additional maintenance techniques and repair works for the track circuits, apparatuses, cable lines, protection devices and equipment of relay cabinets.

Ill. – 3, the table – 3, ref. – 12 names.

UDC 621.391:681.518

Bojnik, A. Flaw technical, technological and organizational support checkpoint ALSN motor-wagon depot / A. Bojnik, S. Zmij, A. Kameniev, O. Shcheblykina, V. Gajewsky // Electromagnetic compatibility and safety on railway transport. – 2017. – No 13. – Dnipro: DNURT, 2017. – P. 66–80.

A study in the article is devoted to basic flaw of all types of security checkpoint automatic locomotive signaling of continuous action of a Southern Railway depot multiple units within pre inspection of facilities.

During flaw logistics checkpoint was established that the technical parameters and testing method of laying cables along technological ditches motor-wagon depot does not meet the technical requirements. In particular this applies to the type of cable laid, its mode of attachment to the rails, no jam proof crossed, length and insulation.

Flaw technological support showed that the current technology maintenance and repair of automatic locomotive signaling motor-wagon rolling stock depot for full implementation of the excessive time required resources due to the method of laying cables slit testing process ditches. Thus the simple average of fixed parts depot functioning through checkpoint than two hours, leading to neglect of certain stages of verification of the automatic locomotive signal that, as a result, it degrades the quality of the service or maintenance.

Organizational Support flaw associated primarily with staffing specialist shop automatic locomotive signaling, Fashion Lo imperfect state staffing required to perform work on the maintenance and repair of the devices. Only personnel reserve formation capable of partially settle the problem.

The study established the need for correction of all types of security checkpoint in order to improve the quality of technical maintenance and repair lock automatic locomotive signal and as a consequence - increase in both operational reliability and safety of operation. To perform these adjustments should aim further research in the subject area.

Ill. – 6, the table – 4, ref. – 19 names.

UDC 656.259.12 : 656.256.3

Meleshko, V. V. Technical control of digital code autoblock system / V. V. Meleshko // Electromagnetic compatibility and safety on railway transport. – 2017. – No 13. – Dnipro: DNURT, 2017. – P. 81–87.

The purpose of the work is to identify the characteristic features of the technical control of the digital code autoblock system, their advantages and disadvantages, to analyze the possibility of using them to diagnose the condition of the autoblock devices and to set tasks for the development of new diagnostic complexes.

To achieve this goal, a theoretical analytical method and a method of functional analysis were used.

The analysis of existing and prospective means of remote control and technical diagnostics of auto-blocking devices showed that existing systems have insufficient information content, they are aimed mainly at controlling discrete parameters, which, in turn, does not allow them to build a subsystem of decision support on their basis. It was proposed to use the centralized-distributed principle of diagnostic data processing to develop a new system of technical diagnostics, to include a decision support subsystem in their structure, which would reduce the amount of effort required to service autoblock devices and shorten the time for recovery after the occurrence of damage.

As a result of the research, it was revealed that the existing means of automatic control of automatic blocking can't provide a full assessment of the condition of the distillation devices of signaling and blocking, and proposed criteria for the development of new systems of technical diagnostics with increasing the number of diagnostic information and its automatic analysis.

The results of the analysis can be used in practice to select the means for technical control of autoblock devices, as well as for the further development of autoblock diagnosis systems, which allows a gradual transition from a scheduled preventive maintenance model to maintenance according to the actual state of the monitored devices.

Ill. – 0, the table – 0, ref. – 14 names.

UDC 629.488:629.4.6

Shaposhnyk, V. New strategies of freight wagons repair and maintenance / V. Shaposhnyk // Electromagnetic compatibility and safety on railway transport. – 2017. – No 13. – Dnipro: DNURT, 2017. – P. 88–94.

The main target of repair and maintenance system (hereinafter referred to as RMS) is target reliability rate maintenance at all stages of rolling equipment technical operation. Development and implementation of improved reliability rate of new wagon generation, safety running indicator maintenance, present fleet of wagons maintenance in the context of long operating life, insufficient providing of repair depot with spare parts and other materials, infrastructure aging requires RMS efficiency upgrading. Current maintenance and freight wagons repair system requires changes that concern not only car-mileage optimization between scheduled repair, but also transition to new strategies of RMS.

This article concerns positive and negative aspects of different strategies of maintenance and repair, possibilities of their implementation in RMS of freight wagons. The algorithm of RSM strategy is suggested. It is based on integrated analysis of freight wagon reliability taking into account those construction units that limit the time between maintenance and repair. In addition crucial task is sufficient minimum number of controlled variable for obtaining the information about diagnosing object's current state. This task requires improvement of separate units technical condition diagnosis programs. Based on obtained data mathematical models for current operation process and RMS impact on freight wagon fault are developed.

Ill. – 4, the table – 0, ref. – 15 names.

UDC 625.4:622.235.63

Petrenko, V. D. Parameters and Technology of Experimental Blasts during Drilling of the Left Running Tunnel of the Metro in the City of Dnieper / V. D. Petrenko, E. M. Shataikin, A. M. Shtandarin, A. L. Tyutkin, V. P. Kupriy // Electromagnetic compatibility and safety on railway transport. – 2017. – No 13. – Dnipro: DNURT, 2017. – P. 95–102.

The problems of effective application of drilling and blasting operations during three experimental blasts in the Dnipropetrovsk subway tunnel are considered. The necessity of combined application of short-delay and delay blasting of the hole charges is substantiated to ensure a high level of basic indicators of driving and seismic safety for buildings and structures located near

the object of the underground blast. It is proposed to carry out experimental blasts of cutting charges with their division into three groups from two charges in each, which are detonated in 20 msec. In addition, to increase the efficiency of the blast, were used the location of 9 uncharging holes between the cutting and auxiliary charges is applied.

Calculations are given of the rates of displacement of soil particles and stresses arising in it during the blast, which do not exceed dangerous values on conditions of the seismic safety.

Ill. – 3, the table – 1, ref. – 11 names.

UDC 656.022

Pasichnyk, A. N. Problems of energy conservation and improvement of the methodology of calculating tariffs on electric energy / A. N. Pasichnyk, V. V. Kutyrev, V. A. Pasichnyk, L. V. Dunda // Electromagnetic compatibility and safety on railway transport. – 2017. – No 13. – Dnipro: DNURT, 2017. – P. 103–117.

Purpose. The aim of the article is to construct the most rational schemes and algorithms for their application to determine economically sound transparent prices for electricity and other goods in a market economy based on a system analysis of existing systems and pricing methods, as well as the definition of criteria for an objective assessment of the tariff level and the calculation of economically justified and socially oriented electricity prices on the basis of the proposed approach.

Methodology. A methodology for calculating economically justified electricity tariffs based on the classical pricing method (cost + profit) is proposed. To conduct a comparative analysis of Ukrainian tariffs for electricity with tariffs in European countries, a methodology for calculating the given tariff factors is proposed, taking into account the level of average wages and the level of GDP per capita.

Findings. As a result of the systematization of pricing methods, it is shown that all the methods presented are based on the classical approach (cost price + profit), and then, depending on the market conditions, they adapt to the change in the current situation. On the basis of the analysis it was established that the most rational method for calculating electricity tariffs is the use of the classical pricing method, taking into account the cost price and the economically justified level of profitability of its production.

A comparative analysis of electricity tariffs in Ukraine and European countries was carried out on the basis of the complex indicators proposed in the work: the given tariff coefficients for electricity, which determine the ratio of the tariff to the level of the average wage and the level of GDP per capita.

To liberalize the economic situation in the energy sector, it was suggested to choose the most effective method for determining the price of goods of strategic importance-the classical approach to pricing.

Originality. Scientific novelty consists in developing a methodology for calculating economically sound transparent prices for electricity and other goods in a market economy based on a system analysis of existing systems and pricing methods. For the first time, the methodology of conducting a comparative analysis of Ukrainian tariffs for electricity with tariffs in European countries is applied based on the quoted tariff factors, taking into account the level of average wages and the level of GDP per capita.

Practical value. The proposed approach makes it possible to determine economically feasible tariffs for electricity, taking into account the profitability of its production and to promote the establishment of civilized economic relations in the energy market of Ukraine.

Il. – 1, the table – 12, ref. – 18 names.

Наукове видання

**ЕЛЕКТРОМАГНІТНА СУМІСНІСТЬ ТА
БЕЗПЕКА НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ.
НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ**

№ 13, 2017

(українською, російською та англійською мовами)

Відповідальний за випуск – Т. М. Сердюк

Комп'ютерне верстання – Р. В. Рибалка

Літературна обробка – К. І. Ящук

Формат 60×84¹/₈. Ум. друк. арк. 15,8. Тираж 300 пр. Зам. № ____.

**Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна**

Адреса редакції, видавця:

вул. Лазаряна, 2, кім. 267, м. Дніпро, 49010, Україна

Тел.: +38 (056) 371-51-05

E-mail: lib@b.diit.edu.ua

Адреса дільниці оперативної поліграфії:

вул. Лазаряна, 2, кім. 1201, м. Дніпро, 49010, Україна

Тел.: +38 (056) 47-19-66, *факс:* +38 (056) 47-19-83



Научное издание

**ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ И
БЕЗОПАСНОСТЬ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ.
НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ**

№ 13, 2017

(на украинском, русском и английском языках)

Ответственный за выпуск – Т. Н. Сердюк

Компьютерная верстка – Р. В. Рыбалка

Литературная обработка – Е. И. Ящук

Формат 60×84¹/₈. Ус. печат. лист. 15,8. Тираж 300 экз. Зак. № ____.

**Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта
имени академика В. Лазаряна**

Адрес редакции, издателя:

ул. Лазаряна, 2, ком. 267, г. Днепр, 49010, Украина

Тел.: +38 (056) 371-51-05

E-mail: lib@b.diit.edu.ua

Адрес участка оперативной полиграфии:

ул. Лазаряна, 2, ком. 1201, г. Днепр, 49010, Украина

Тел.: +38 (056) 47-19-66, *факс:* +38 (056) 47-19-83



Scientific Edition

**ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY AND
SAFETY ON RAILWAY TRANSPORT.
SCIENTIFIC JOURNAL**

№ 13, 2017

(in Ukrainian, Russian and English languages)

Responsible for issue – Т. М. Serdiuk

Computer makeup – R. V. Rybalka

Redaction – K. I. Yashchuk

Format 60×84¹/₈. Conventional printed sheet 15,8. Circulation 300. Order no. ____.

**Dnipropetrovsk National University of Railway Transport
named after Academician V. Lazaryan**

Address of editor and editorial office:

Lazaryan St., 2, r. 267, Dnipro, 49010, Ukraine

Tel.: +38 (056) 371-51-05

E-mail: lib@b.diit.edu.ua

Address of small offset printing office:

Lazaryan St., 2, r. 1201, Dnipro, 49010, Ukraine

Tel.: +38 (056) 47-19-66, *Fax:* +38 (056) 47-19-83