

Дніпровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна
Міністерство освіти і науки України

Дніпровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна
Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису

ГОЛОЛОБОВА ОКСАНА ОЛЕКСІЇВНА

УДК 656.259.2 (043.5)

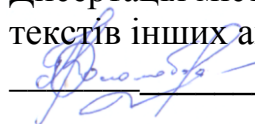
ДИСЕРТАЦІЯ

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ОБСЛУГОВУВАННЯ
АВТОМАТИЧНОЇ ЛОКОМОТИВНОЇ СИГНАЛІЗАЦІЇ**

спеціальність 05.22.20 – Експлуатація та ремонт засобів транспорту
галузь знань 27 – Транспорт

Подається на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і
текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

 /О.О. Гололобова/

Науковий керівник
Гаврилюк Володимир Ілліч,
доктор фізико-математичних наук, професор

Дніпро – 2020

АНОТАЦІЯ

Гололобова О.О. Удосконалення технології обслуговування автоматичної локомотивної сигналізації. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.20 «Експлуатація та ремонт засобів транспорту» (галузь знань 27 - Транспорт). – Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, Дніпро, 2021.

Дисертація присвячена вирішенню науково-прикладного завдання удосконалення технології обслуговування автоматичної локомотивної сигналізації шляхом розробки і наукового обґрунтування методу моніторингу сигнального струму з використанням спектрального вейвлет-аналізу для своєчасного виявлення дефектів кодового струму АЛС та методу і засобу автоматизованого контролю технічного стану локомотивних пристроїв АЛС на контрольному пункті.

В 1-му розділі дисертаційної роботи розглянуті системи безпеки руху поїздів, що експлуатуються в Україні та закордоном. Найбільш поширена серед них в Україні – автоматична локомотивна сигналізація неперервної дії (АЛСН). Система побудована на електромагнітних реле з використанням числового коду і, незважаючи на ряд модернізацій, має істотні недоліки. Проведений статистичний аналіз кількості збоїв і відмов всіх пристроїв залізничної автоматики. Серед них окремо проведено аналіз причин відмов та збоїв у роботі АЛС, кількість яких впродовж дослідних п'яти років залишається стабільно високою. На ділянках з підвищеними швидкостями руху поїздів спостерігається тенденція до зростання кількості збоїв та відмов у роботі системи. Проаналізовані та класифіковані основні причини, що впливають на передавальну та приймальну апаратуру системи і обумовлюють появу великої кількості завад, а також методи і засоби захисту від них.

В 2-му розділі дисертаційної роботи проведені експериментальні дослідження впливу високовольтних ліній електропередач (ЛЕП) на роботу АЛСН в місцях косого перетину залізниць. Зазначено, що проблема захисту від впливу ЛЕП особливо актуальна на ділянках з електричною тягою постійного струму та

автономною тягою, коли пристрої локомотивної сигналізації працюють на частоті 50 Гц і методи частотного розділення сигналу і гармонійної завади не застосовуються. Виявлено, що вплив ЛЕП умовно можна поділити на прямий і непрямий, і існуючі засоби захисту, як правило, нівелюють прямий вплив магнітного поля на котушки. Проведені експериментальні дослідження впливу ліній електропередач (750 кВ, 50 Гц) на сигнальний струм системи АЛСН в реальних умовах в місцях косоного перетину залізничних колій на перегоні Пришиб-Бурчацьк в Запорізькій області (електрична тяга постійного струму) та на перегоні Привільне-Слізарове Придніпровської залізниці (автономна тяга) засобами вагон-лабораторії і безпосередньо на рейкових лініях показали, що рівень завади визначається в основному непрямим впливом. Отримав подальший розвиток метод контролю впливу електромагнітних завад від ЛЕП на роботу локомотивних пристроїв АЛСН, який відрізняється від існуючих вимірюванням електричних завад в кодових сигналах АЛСН різного виду (З, Ж, ЧЖ) з одночасним вимірюванням електромагнітного поля вздовж залізничної колії на дільниці зближення з ЛЕП з наступним проведенням спектрального аналізу. Розглянуто структуру та визначені параметри кожного вузла системи АЛСН, проведено дослідження каналу передачі сигналу на локомотив та впливу неоднорідностей рейкової лінії на приймання сигналів АЛСН, проаналізовані фізичні процеси в системі індуктивного зв'язку приймальних котушок і рейок, розраховане значення взаємодуктивності між ними. Розроблена комплексна математична модель каналу зв'язку між рейковим колом та вхідними пристроями АЛСН в середовищі Simulink пакету MatLAB. Наведена математична модель сигнало-завадової суміші, що діє на вході локомотивного приймача системи, аналітично описані імпульсні завади від локальних магнітних неоднорідностей рейкової лінії, квазігармонічна завада від ліній електропередач і стаціонарна випадкова завада, які адитивним чином об'єднані між собою. Наведені результати комп'ютерного моделювання сигналу на виході фільтра системи АЛСН при подачі на її вхід різних кодових комбінацій без спотворень. Досліджено характеристики імітаційної моделі вхідних пристроїв системи під впливом трьох типів завад: намагнічування кінців рейок, адитивної завади, обумовленої близьким

розташуванням ЛЕП, а також адитивної стаціонарної випадкової завади, що має гауссівську щільність розподілу ймовірностей миттєвих значень. Достовірність одержаних результатів та висновків підтверджується задовільною відповідністю результатів математичного моделювання результатам експериментальних досліджень. Виконано оцінку функціональних можливостей моделі для подальшого розвитку методів кореляційного прийому кодів АЛСН за спектральною ознакою з метою отримання більш детальних досліджень, які будуть спрямовані на отримання практичних результатів. Створена модель імітує роботу і досліджує поведінку системи під дією різних за походженням завад, тому вона може бути використана для віртуальних випробувань з метою подальшого вивчення характеристик системи та при розробці захисних заходів по підвищенню завадостійкості. В якості дієвого інструменту, створену модель пропонується задіяти в процесі вибору методів і технічних засобів систем автоматичного регулювання, на базі яких буде організовано швидкісний рух, і якому повинні передувати відповідні дослідження електромагнітного середовища уздовж залізничної колії.

В 3-му розділі дисертаційної роботи розглянуто методи удосконалення аналізу сигнального струму АЛС з використанням комплексного перетворення Фур'є та короткочасного перетворення Фур'є (віконне Фур'є перетворення). Виконано порівняльний аналіз різновидів спектрального аналізу та сформульовані висновки щодо їх застосування при обробці даних, записаних вагоном-лабораторією, та при дешифрації сигналів АЛС, що надходять з колії в процесі руху поїзда. Розроблено і науково обґрунтовано новий метод моніторингу сигнального струму локомотивної сигналізації, в основу якого покладено дешифрацію сигналів з завадами за допомогою спектрального вейвлет-аналізу, що дозволяє оперативно виявляти дефекти кодового струму АЛС і надає можливість отримати інформацію про локальні особливості сигналу. Вейвлет-аналіз отриманих даних показав, що різні відхилення в роботі самої системи АЛС від норм внаслідок невиконання або недотримання технології обслуговування і ремонту, раптово виниклого пошкодження чи відмови безпосередньо в процесі руху поїзда впливають на часову залежність і спектральну складову струму, тим самим надаючи змогу їх

розпізнавання. Метод вейвлет-аналізу має всі переваги перетворень Фур'є і ряд власних переваг, тому вони доповнюють один одного, і не є взаємовиключними. Серед багатьох різновидів вейвлет-функцій пропонується використовувати дискретне вейвлет-пакетне перетворення з максимальним перекриванням (MODWPT), яке дозволяє чітко визначати наявність і локалізацію у часі електромагнітних завад у довготривалих сигналах АЛС. Використання запропонованого методу оптимізує процес обробки даних вагон-лабораторії і є перспективним для автоматичного аналізу сигнального струму АЛС в умовах підвищених швидкостей руху поїздів та розробці принципово нової автоматизованої системи перевірки працездатності локомотивної сигналізації. Метод вейвлет-аналізу може бути використаний для фільтрації кодів АЛС перед їх декодуванням з метою зменшення впливу завад на сигнальний струм, як додатковий метод обробки сигналу. Даний метод також може бути покладений в основу розробки динамічної моделі цифрового фільтра та дешифратора АЛС з підвищеною вірогідністю прийому зашумлених сигналів, що дозволить значно підвищити завадозахищеність локомотивних пристроїв АЛС і підняти показники надійності роботи системи на новий рівень.

В 4-му розділі дисертаційної роботи проведено аналіз технології обслуговування та контролю працездатності пристроїв системи АЛС, який показав, що передбачається використання морально і технічно застарілих методів і вимірювальних засобів. Якість перевірки АЛС пропонується підвищити шляхом удосконалення технічного обслуговування системи за рахунок автоматизації процесу реєстрації змін показань локомотивного світлофору та алгоритму перевірки каналу АЛС на контрольному пункті. Розроблено та науково обґрунтовано метод автоматизації періодичного контролю працездатності локомотивних пристроїв АЛС на контрольному пункті. Запропоновано спосіб контролю технічного стану локомотивних пристроїв АЛС, який забезпечує автоматичну реєстрацію фотоприймачем показань локомотивного світлофору, вимірює час горіння ламп світлофору, відповідну послідовність зміни показань та, завдяки ЕОМ, автоматично аналізує працездатність системи. Даний спосіб покладено в основу принципу дії

пристрою контролю технічного стану локомотивних пристроїв АЛС на контрольному пункті. Розроблено дослідний зразок даного пристрою, що являє собою автоматизований апаратно-програмний комплекс, який контролює достовірність передачі і декодування сигналів АЛС в кабіні машиніста на контрольному пункті шляхом порівняння їх з сигналами від колійних пристроїв та автоматизує процес перевірки зміни показань локомотивного світлофора при плановому технічному обслуговуванні локомотивних пристроїв на контрольному пункті. Пристрій також передбачає формування електронного протоколу, що засвідчує виконання перевірки та стан каналу АЛС, наявність якого виключає людський фактор впливу на висновок щодо працездатності системи і відповідно зменшує вірогідність появи відмов у роботі АЛС в процесі експлуатації через недбале виконання посадових обов'язків. Проведені експериментальні дослідження розробленого пристрою в спеціалізованій лабораторії кафедри «Автоматика та телекомунікації» Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна та в експлуатаційних умовах контрольно-вимірювальної ділянки локомотивного депо Дніпро-Головний. Визначення відповідності роботи локомотивних пристроїв шляхом автоматичного порівняння локомотивних показань та їх зміни з кодами у випробувальному шлейфі підтвердили, що застосування пристрою контролю дозволяє підвищити точність та достовірність вимірювань, автоматизує процес перевірки, усуває людський фактор, дає змогу накопичувати результати на електронному носії та зменшує загальний час, затрачений на виконання перевірки, що в свою чергу, призведе до скорочення числа затримок локомотивів через відмови, які виникають з причин неякісного обслуговування. Отримані результати застосування пристрою контролю технічного стану локомотивних пристроїв АЛС підтверджують значне підвищення рівня технічного обслуговування локомотивів на контрольному пункті. Пропонується удосконалення технології перевірки локомотивних пристроїв АЛС на контрольному пункті двома шляхами: повна заміна застарілої елементної бази, що використовується для перевірки показань локомотивного світлофора на контрольному пункті, на сучасну з використанням цифрових методів обробки

сигналів засобами обчислювальної техніки або часткова модернізація технології перевірки показань локомотивного світлофора на контрольному пункті, що дозволяє підвищити ефективність роботи електромеханіка контрольного пункту за рахунок включення в існуючі пристрої додаткових технічних засобів з удосконаленими методами обробки сигналів локомотивного світлофора. Пропонується використання розробленого способу контролю технічного стану локомотивних пристроїв автоматичної локомотивної сигналізації в період роботи системи в реальних умовах під час руху поїзда, що надає можливість автоматично фіксувати зміну показань локомотивного світлофору, включаючи проблиски вогнів світлофору при наявності збоїв кодів.

Основні результати досліджень дисертаційної роботи передані для використання в Запорізьку дистанцію сигналізації та зв'язку та впроваджені в навчальному процесі Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. Таким чином, в роботі запропоновано дієві методи удосконалення технології обслуговування автоматичної локомотивної сигналізації, які покращують якість обслуговування локомотивних пристроїв, збільшують продуктивність праці та вдосконалюють заводозахищеність системи, позитивно впливаючи на безпеку руху на залізниці, що стає особливо важливим в умовах підвищення швидкості руху поїздів.

Ключові слова: удосконалення технології обслуговування, автоматична локомотивна сигналізація, відмови, збої, спектральний аналіз, вейвлет-перетворення, пристрій контролю технічного стану локомотивних пристроїв, контрольний пункт.

ABSTRACT

Hololobova O. O. Improvement of service technology for the automatic locomotive signaling. – Qualifying scientific work on the manuscript rights.

The dissertation for obtaining a scientific degree of a Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), speciality 05.22.20 – maintenance and repair of transport means (Field of knowledge 27 - Transport). – Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Dnipro, 2021.

The dissertation is devoted to the solution of a scientific and applied problem of improvement of service technology for automatic locomotive signaling by development and scientific substantiation of a method for monitoring the signal current by the spectral wavelet analysis for the detection defects of code current ALS and method of automation periodic control the ALS locomotive devices at the checkpoint.

In the first section of the dissertation the traffic safety systems of trains operated in Ukraine are considered. The most common among them – automatic locomotive signaling of continuous operation (ALSN). The system is built on electromagnetic relays using a numerical code and, despite a number of upgrades, has significant drawbacks. A statistical analysis of the number of failures and malfunctions of all railway automation devices was performed. Among them, a separate analysis of the causes of failures and malfunctions in the ALS operation, the number of which, during five years of research, remains consistently high. In sections with increased train speeds, there is a tendency to increase the number of failures and system failures. The main defects which affect the transmitting and receiving equipment of the system and cause a large number of interferences, as well as methods and means of protection against them are analyzed and classified.

In the second section of the dissertation experimental research of the influence of high-voltage power lines (PL) on the ALSN operation in the locations of oblique crossing of railways are carried out in places of oblique crossing of railways are carried out. It is noted that the problem of protection against the influence of PL is especially relevant in areas with DC electric traction and autonomous traction, when locomotive signaling devices operate at a frequency of 50 Hz and methods of frequency separation and

harmonic interference are not used. It was found that the effect of PL can be divided into direct and indirect, and existing means of protection, as a rule, eliminate the direct effect of the magnetic field on the coils. There are experimental studies of the influence of PL (750 kV, 50 Hz) on the signal current of the ALSN system in real conditions in the locations of oblique intersection of railway tracks on the Pryshib-Burchatsk span in Zaporizhzhya region (electric traction of direct current) and on the Privilne-Elizarove Prydniprovskaya railway (autonomous traction) by means of a laboratory car and directly on the rail lines showed that the level of interference is determined mainly by indirect effects. The method of controlling the influence of electromagnetic interference from PL on the operation of locomotive devices ALSN received further development, which differs from existing methods by measuring electrical interference in different types of ALSN code signals (green, yellow, red-yellow) with simultaneous measurement of the electromagnetic field along the railway track at the convergence section with PL followed by spectral analysis. The structure and parameters of each node of the ALSN system are considered, the signal transmission channel on the locomotive and the influence of rail line inhomogeneities on ALSN signal reception are studied, the physical processes in the inductive communication system of receiving coils and rails are analyzed, and the value of mutual inductance between them is calculated. The complex mathematical model of the communication channel between the rail circuit and ALSN input devices in the Simulink environment of the MatLAB package has been developed. The mathematical model of the signal-interference mixture operating at the input of the locomotive receiver of the system is given, pulse interference from local magnetic inhomogeneities of the rail line, quasi-harmonic interference from PL and stationary random interference, which are additively combined with each other, are analytically described. The results of computer simulation of the signal at the output of the filter of the ALSN system when applying different code combinations to its input without distortion are presented. The characteristics of the simulation model of the input devices of the system under the influence of three types of interference are investigated: magnetization of rail ends, additive interference due to the close location of the PL, and additive stationary random interference with Gaussian probability density distribution of instantaneous values are studied. The reliability of the

obtained results and conclusions is confirmed by the satisfactory correspondence of the results of the mathematical modeling to the results of the experimental researches. The evaluation functionality of the model is performed for the further development of methods of correlating reception of ALSN codes on a spectral basis in order to obtain more detailed studies that will be aimed at receiving practical results. The created model simulates the work and investigates the actions of the system under the influence of interference of different origins, so it can be used for virtual tests for further study of the system characteristics and in the development of protective measures to improve immunity to interference. As an effective tool, the created model is proposed to be used in the process of choosing methods and technical means of automatic control systems, on the basis of which high-speed traffic will be organized, and which should be preceded by appropriate studies of the electromagnetic environment along the railway track.

In the third section of the dissertation the methods of improving the analysis of ALS signal current using complex Fourier transform and short-term Fourier transform (window Fourier transform) are considered. The comparative analysis of these two types of spectral analysis was performed and conclusions about their application in the processing of data recorded by the laboratory car, and during decoding of ALS signals that come from the track in the process of train movement were formulated. The new method of monitoring the signal current of locomotive signaling has been developed and scientifically substantiated. It is based on the decoding the signal-noise mixture by means of spectral wavelet analysis, which allows to quickly detect defects of ALS code current and provides information about local signal features. Wavelet analysis of the obtained data showed that various deviations in the operation of the ALS system from the norms due to non-performance or non-compliance with maintenance and repair technology, sudden damage or failure directly in the process of train movement affects the time dependence and spectral component of the current, making it possible to recognize them. The method of wavelet analysis has all the advantages of Fourier transforms and a number of its own advantages, so they complement each other and are not mutually exclusive. Among the many types of wavelet functions, it is proposed to use a discrete wavelet packet conversion with maximum overlap (MODWPT), which allows to clearly determine the presence and

localization in time of electromagnetic interference in long-term ALS signals. The use of the proposed method optimizes the data processing process of laboratory car and is promising for automatic analysis of ALSN signal current in conditions of increased train speeds and the development of a fundamentally new automated system for checking the performance of locomotive signaling. The wavelet analysis method can be used to filter ALS codes before decoding them in order to reduce the effect of interference on the signal current, as an additional method of signal processing. This method can also be used as a basis for developing the dynamic model of digital filter and ALS decoder with increased probability of receiving signals with interference, which will significantly increase the immunity to interference of ALS locomotive devices and bring the reliability of the system to a new level.

In the fourth section of the dissertation the analysis of service and efficiency control of the devices of ALS system is carried out, which has shown the use of technically obsolete methods and measuring means. It is proposed to improve the quality of ALS inspection by improving the maintenance of the system by automating the registration process of the changes in the readings of the locomotive traffic light and the algorithm for checking the ALS channel at the checkpoint. The method of automation of the periodic control of efficiency of ALS locomotive devices at the checkpoint is developed and scientifically substantiated. A method for monitoring the technical condition of ALS locomotive devices is proposed, which provides automatic registration of the readings of locomotive traffic lights by photo detector, measures the glowing time of traffic light lamps, the corresponding sequence of readings and, automatically analyzes the efficiency of system using a computer. This method is the basis of the operation principle of the device for monitoring the technical condition of ALS locomotive devices at the checkpoint. A prototype of this device was developed, which is an automated hardware and software complex that controls the accuracy of transmission and decoding of ALS signals in the driver's cab at the checkpoint by comparing them with signals from track devices. It also automates the process of checking changes in locomotive traffic lights during scheduled maintenance of locomotive devices at the checkpoint. The device also provides for the formation the electronic protocol certifying the performance of the

inspection and of the state of the ALS channel, the presence of which eliminates the human factor influencing the conclusion about the efficiency of system and thus reduces the probability of ALS failures during operation due to negligent performance of duties. Experimental studies of the developed device were carried out in the specialized laboratory of the Department of Automatics and Telecommunications of the Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan and in the operating conditions of the control and measuring section of the locomotive depot Dnipro-Holovnyi. . The confirmation of the compliance of the locomotive devices operation by automatically comparing locomotive readings and their changes with the codes in the test loop confirmed that the use of the control device improves the accuracy and reliability of measurements, automates the verification process, eliminates the human factor, allows to accumulate the results on electronic media and reduces overall time, spent for the inspection, which in its turn will reduce the number of locomotives delays that occur due to the poor service failures. The obtained results of the application of the control device for monitoring the technical condition of ALS locomotive devices confirm a significant increase in the level of maintenance locomotives at the checkpoint. It is proposed to improve the technology of testing ALS locomotive devices at the checkpoint in two ways: complete replacement of obsolete element base used to verify the readings of the locomotive traffic light at the checkpoint, with the modern base using computer methods of signal processing by computer or partial modernization of the technology for the readings control of the locomotive traffic light at the checkpoint, which allows to increase the efficiency of the checkpoint electrician by including in the existing devices of additional technical means with improved methods of processing signals of the locomotive traffic light. It is proposed to use the developed method for monitoring the technical condition of locomotive devices of automatic locomotive signaling during the system operation in real conditions during train movement, which allows to automatically record the change of locomotive traffic light readings, including flashes of traffic lights in case of code failures.

The main results of the research of the dissertation are transferred for use in the distance of signaling and communication in Zaporizhzhia and introduced in the

educational process of the Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan. Thus, the dissertation proposes effective methods for improvement of service technology of automatic locomotive signaling, which improve the quality of service locomotive devices, increase productivity and improve system immunity to interference, positively affecting railway safety, which becomes especially important in the conditions of the increased speeds of trains movement.

Keywords: improvement of service technology, automatic locomotive signaling, failures, malfunctions, spectral analysis, wavelet transform, device for monitoring the technical condition of locomotive devices, checkpoint.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

- в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. Oksana Hololobova, Serhii Buriak, Volodymyr Havryliuk, Ihor Skovron, & Oleksii Nazarov (2019). Mathematical modelling of the communication channel between the rail circuit and the inputs devices of automatic locomotive signalization. MATEC Web of Conferences Volume 294 (2019) 2nd International Scientific and Practical Conference “Energy-Optimal Technologies, Logistic and Safety on Transport” (EOT-2019). Retrieved from https://www.matec-conferences.org/articles/matecconf/pdf/2019/43/matecconf_eot18_03009.pdf.
2. Гололобова О.О. Моделювання індуктивного сполучення локомотивних пристроїв автоматичної локомотивної сигналізації неперервного типу з рейковим колом / О.О. Гололобова // Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті. – Д.: ДНУЗТ, 2019. – Вип. 17. – С. 99-108.
3. Buriak S. Modeling of electromechanical systems / S. Buryak, V. Navriliuk, O. Hololobova // Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті. – Д.: ДНУЗТ, 2018. – Вип. 16. – С. 43-50.
4. Hololobova O.O. Application of fourier transform and wavelet decomposition for decoding the continuous automatic locomotive signaling code / O.O. Hololobova, V.I. Navryliuk // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Д.: ДНУЗТ, 2017. – Вип. 1 (67). – С. 7-17.
5. Гололобова О.А. Исследование работы системы автоматической локомотивной сигнализации в условиях помех / О.А. Гололобова // Наука и транспорт. Вестник Белорусского государственного университета транспорта. – Беларусь: БелГУТ, 2016. – Вип. 2 (33). – С. 126-129.
6. Буряк С.Ю. Дистанционное диагностирование состояния стрелочных переводов по временной характеристике и спектральному составу токовой кривой / С.Ю. Буряк, В.И. Гаврилюк, О.А. Гололобова, М.А. Коврыгин //

Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Д.: ДНУЗТ, 2015. – Вип. 2 (56). – С. 39-57.

7. Hololobova O.O. Study of transmission lines effect on the system operationon of continuous automatic cab signalling / O.O. Hololobova, V.I. Havryliuk, M.O. Kovryhin, S.Yu. Buriak // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Д.: ДНУЗТ, 2014. – Вип. 5 (53). – С. 17-28.
8. Гололобова О.О. Математичне моделювання вхідних пристроїв системи автоматичної локомотивної сигналізації / О.О. Гололобова // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Д.: ДНУЗТ, 2014. – Вип. 2 (50). – С. 21-30.
9. Безнаритний А.М. Аналіз стану пристроїв автоблокування, методів його обслуговування та контролю / А.М. Безнаритний, В.І. Гаврилюк, О.О. Гололобова // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Д.: ДНУЗТ, 2014. Вип. 1 (49). – С. 22-32.
10. Пат. 107472 Україна, МПК В61L 25/06 (2006/01) Спосіб контролю технічного стану локомотивних пристроїв автоматичної локомотивної сигналізації на контрольному пункті / Гололобова О.О., Гаврилюк В.І., Буряк С.Ю. (Україна); заявник та патентовласник Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна. – № и 2015 11682 заявл. 26.11.15.; опубл. 10.06.16, Бюл. № 11.

- які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

11. Гололобова О.О. Дослідження перешкод АЛС. / Сучасні інформаційні та комунікаційні технології на транспорті, в промисловості і освіті: тези XIV Міжнародної науково-практичної конференції. Секція Автоматизовані системи

управління на транспорті і в промисловості (Дніпро, 15-16 грудня 2020 р.) – Д.: ДІТ. 2020. – С. 19-20.

12. Буряк С.Ю., Гололобова О.О. Причини збоїв автоматичної локомотивної сигналізації та методи боротьби з ними / Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту: тези 80 Міжнародної науково-практичної конференції. Секція 6 Автоматизовані системи управління на транспорті (Дніпро, 23-24 квітня 2020 р.) – Д.: ДНУЗТ, 2020. – С. 133-135.
13. Коваленко А.О., Гололобова О.О. Різновиди автоматичного контролю за рухом потяга та пильністю машиніста / Інформаційно-управляючі технології та системи на залізничному транспорті: тези Всеукраїнської конференції студентів та молодих вчених; за ред. ст. вик. Паніка Л.О. та Дзюби В.В. Дніпровського нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна (Дніпро, 23-27 березня 2020 р.) – Д.: Вид-во Дніпровського нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2020 – С. 41-42.
14. Міщенко М.О., Гололобова О.О. Вдосконалення перевірки роботи системи АЛС та їх подальші перспективи / Інформаційно-управляючі технології та системи на залізничному транспорті: тези Всеукраїнської конференції студентів та молодих вчених; за ред. ст. вик. Паніка Л.О. та Дзюби В.В. Дніпровського нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна (Дніпро, 23-27 березня 2020 р.) – Д.: Вид-во Дніпровського нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2020 – С. 49-50.
15. Гололобова О.О. Випробування математичної моделі роботи індуктивного зв'язку системи автоматичної локомотивної сигналізації / Сучасні інформаційні та комунікаційні технології на транспорті, в промисловості і освіті: тези XIII Міжнародної науково-практичної конференції. Секція Інформаційна безпека (Дніпро, 11-12 грудня 2019 р.) – Д.: ДІТ. – 2019. – С. 197-198.
16. Гололобова О.О., Буряк С.Ю., Гаврилюк В.І, Возняк О.М. Причини відмов пристроїв автоматичної локомотивної сигналізації / Енергооптимальні

технології, логістика та безпека на транспорті: матеріали 2-ї Міжнародної науково-практичної конференції (Львів, 19-20 вересня 2019 р.) – Львів: Львівська філія ДНУЗТ, 2019. – С. 21-22.

17. Гололобова О.А., Ямбург К.О. Повышение безопасности движения поездов путем улучшения систем мониторинга локомотивной бригады / Проблемы та перспективи розвитку залізничного транспорту: тези 79 Міжнародної науково-практичної конференції. Секція 6 Автоматизовані системи управління на транспорті (Дніпро, 16-17 травня 2019 р.) – Д.: ДНУЗТ, 2019. – С. 210-211.
18. Гололобова О.А. Повышение помехоустойчивости системы АЛС / Безпека та електромагнітна сумісність на залізничному транспорті: тези VIII Міжнародної науково-практичної конференції (Чернівці, 01-03 лютого 2017 р.) – Дніпро, Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2017. – С. 24.
19. Гололобова О.А. Повышение помехоустойчивости канала АЛС / Современные информационные и коммуникационные технологии на транспорте, в промышленности и образовании: тезисы X Международной научно-практической конференции. Секция 1 Автоматизированные системы управления на транспорте (Днепропетровск, 14-15 декабря 2016 г.) – Д.: ДИИТ. – 2016. – С. 34.
20. Буряк С. Ю., Гололобова О.А. Неисправности колесных пар и методы их обнаружения / Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: тезисы 76 Международной научно-практической конференции. Секция 6 Автоматизированные системы управления на транспорте (Днепропетровск, 19-20 мая 2016 г.) – Д.: ДИИТ. – 2016. – С. 149-150.
21. Буряк С.Ю., Гололобова О.О. Определение повреждений поверхности катания колес во время движения / Безпека та електромагнітна сумісність на залізничному транспорті: тези VII Міжнар. науково-практичної конф. (с. Розлуч, 16-19 лютого 2016 р.) – Д.: ДІТ. – 2016. – С. 17-18.
22. Гололобова О.А. Применение вейвлет-преобразования для дешифрации кода АЛСН / Современные информационные и коммуникационные технологии на

транспорте, в промышленности и образовании: тезисы IX Международной научно-практической конференции. Секция 2 Системы управления технологическими процессами, микропроцессорные системы (Днепропетровск, 16-17 декабря 2015 г.) – Д.: ДИИТ. – 2015. – С. 43.

23. Гололобова О.О. Автоматизация технічного обслуговування пристроїв автоматичної локомотивної сигналізації / Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: тезисы 75 Международной научно-практической конференции. Секция 7 Автоматизированные системы управления на транспорте (Днепропетровск, 14-15 мая 2015 г.) – Д.: ДИИТ. – 2015. – С. 196.

24. Гололобова О.А. Электромагнитная совместимость устройств автоматической локомотивной сигнализации / Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: тезисы 74 Международной научно-практической конференции. Секция 7 Автоматизированные системы управления перевозок (Днепропетровск, 15-16 мая 2014 г.) – Д.: ДИИТ. – 2014. – С. 224-226.

25. Гололобова О.А. Работа автоматической локомотивной сигнализации в условиях влияния токов линий электропередач / Інформаційно-управляючі технології та системи на залізничному транспорті: тези Всеукраїнської конференції студентів та молодих вчених. – Д.: ДНУЗТ. – 2014. – С. 62-63.

26. Гололобова О.А. Устройства автоматической локомотивной сигнализации в условиях отказов рельсовых цепей / Энергетика, енергозбереження на початку ХХІ століття: тези докладів Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених, спеціалістів, аспірантів (Маріуполь, 20 березня 2014 р.) – Маріуполь.: ДВНЗ «ПДТУ». – 2014. – С. 111-113.

27. Гололобова О.А. Исследование причин сбоев в работе рельсовых цепей и их влияния на устройства автоматической локомотивной сигнализации / Современные проблемы развития интеллектуальных систем транспорта:

тезисы Международной научно-практической конференции (Днепропетровск, 27-31 января 2014 г.) – Д.: ДИИТ. – 2014. – С. 29-30.

28. Гололобова О.О. Переваги використання математичної моделі при вивченні роботи АЛС / Інформаційно-управляючі технології та системи на залізничному транспорті: матеріали молодих вчених та студентської конференції; за ред. ст. вик. Дзюби В.В. та Паніка Л.О.; Дніпроп. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2013. – С. 83-84.
29. Гололобова О.А. Методы контроля помех в АЛСН / Безопасность и электромагнитная совместимость на железнодорожном транспорте: тезисы V Международной научно-практической конференции (пгт. Чинадиево, 14-17 февраля 2012 г.) – Д.: ДИИТ. – 2012. – С. 24-25.

- які додатково відображають наукові результати дисертації:

30. Пат. 146189 Україна, МПК В61L 25/06 (2006/01) Пристрій контролю технічного стану локомотивних пристроїв автоматичної локомотивної сигналізації на контрольному пункті / Гололобова О.О. (Україна); заявник та патентовласник Дніпровський національний університет залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна. – № u 2020 00066 заявл. 02.01.2020.; опубл. 27.01.2021, Бюл. № 4.
31. Samosvat V.O. Features of design of tied-arch bridges with flexible inclined suspension hangers / V.O. Samosvat, Zhang Rongling, O.O. Hololobova, S.Y. Buriak // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Д.: ДНУЗТ, 2017. – Вип. 5 (71). – С. 131-140.
32. Буряк С.Ю. Впровадження системи технічної діагностики стрілочних переводів / С.Ю. Буряк, В.І. Гаврилюк, О.О. Гололобова // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету

залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Д.: ДНУЗТ, 2015. – Вип. 3 (57). – С. 7-22.

33. Буряк С.Ю. Исследование диагностических признаков стрелочных электроприводов переменного тока / С.Ю. Буряк, В.И. Гаврилюк, О.А. Гололобова, А.М. Безнарытний // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Д.: ДНУЗТ, 2014. – Вип. 4 (52). – С. 7-22.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	24
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ПРИНЦИПІВ ІНТЕРВАЛЬНОГО РЕГУЛЮВАННЯ РУХУ ПОЇЗДІВ. ПОСТАНОВКА МЕТИ ТА ЗАВДАНЬ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	33
1.1. Огляд існуючих в Україні систем забезпечення безпеки руху поїздів.....	33
1.2. Огляд закордонних систем АЛС.....	36
1.3. Аналіз статистики відмов та збоїв у роботі АЛС	39
1.4. Класифікація причин появи збоїв та відмов у роботі АЛС.....	47
1.5. Аналіз причин виникнення завад в роботі АЛС.....	51
1.5.1. Вплив рейкових кіл.....	51
1.5.2. Вплив намагніченості рейкових кіл.....	53
1.5.3. Вплив великовагових поїздів.....	54
1.5.4. Вплив параметрів приймальних катушок.....	55
1.5.5. Вплив тягового струму.....	56
1.5.6. Вплив роботи дрезини.....	58
1.5.7. Вплив ЛЕП.....	58
1.6. Висновки до першого розділу, постановка мети та задач дослідження.....	59
РОЗДІЛ 2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ АВТОМАТИЧНОЇ ЛОКОМОТИВНОЇ СИГНАЛІЗАЦІЇ В УМОВАХ ЗАВАД. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ КАНАЛУ ЗВ'ЯЗКУ МІЖ РЕЙКОВИМ КОЛОМ ТА ВХІДНИМИ ПРИСТРОЯМИ АЛСН.....	62
2.1. Вплив ліній електропередач на роботу системи АЛС та способи захисту від нього.....	62
2.2. Дослідження впливу ліній електропередач 750 кВ на роботу системи АЛСН в реальних умовах.....	65
2.3. Дослідження роботи системи АЛСН за допомогою математичного моделювання.....	72

2.3.1. Загальні аспекти моделювання каналу зв'язку між рейковим колом та вхідними пристроями АЛСН в середовищі Simulink пакету MatLAB.....	72
2.3.2. Будова, параметри та функціональні особливості пристроїв системи АЛСН.....	73
2.3.3. Особливості каналу передачі сигналу та розрахунок взаємоіндуктивності між рейками та приймальними котушками.....	82
2.3.4. Математичне моделювання каналу зв'язку між рейковим колом та вхідними пристроями АЛСН.....	91
2.3.4.1. Математичне моделювання каналу зв'язку між рейковим колом та вхідними пристроями АЛСН в аналітичному вигляді.....	91
2.3.4.2. Комп'ютерне імітаційне моделювання каналу зв'язку між рейковим колом та вхідними пристроями АЛСН... ..	97
2.3.5. Результати моделювання.....	102
2.4. Висновки до другого розділу.....	110
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ ЗАВАД У СИГНАЛЬНОМУ СТРУМІ АВТОМАТИЧНОЇ ЛОКОМОТИВНОЇ СИГНАЛІЗАЦІЇ.....	113
3.1. Методи та засоби контролю параметрів кодового струму АЛС.....	113
3.2. Розробка методу автоматичного аналізу сигналів АЛС на основі спектрального складу виміряного струму.....	122
3.2.1. Використання спектрального аналізу для розпізнавання типів кодових сигналів.....	122
3.2.2. Застосування Фур'є перетворення для дешифрації коду АЛС.....	126
3.2.3. Застосування вейвлет-перетворення для дешифрації коду АЛС.....	133

3.3.	Результати експериментальних досліджень застосування Фур'є та вейвлет-перетворення для дешифрації коду АЛСН з завадами.....	143
3.4.	Висновки до третього розділу.....	151
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА СПОСОБУ ТА ПРИСТРОЮ КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЛОКОМОТИВНИХ ПРИСТРОЇВ АВТОМАТИЧНОЇ ЛОКОМОТИВНОЇ СИГНАЛІЗАЦІЇ НА КОНТРОЛЬНОМУ ПУНКТІ.....		
4.1.	Експлуатаційні вимоги та технічне обслуговування системи АЛС...	155
4.2.	Обслуговування системи АЛС на контрольному пункті.....	157
4.3.	Розробка пристрою контролю технічного стану локомотивних пристроїв автоматичної локомотивної сигналізації на контрольному пункті.....	163
4.4.	Результати експериментальних випробувань пристрою контролю технічного стану локомотивних пристроїв АЛС.....	168
4.5.	Висновки до четвертого розділу.....	175
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....		178
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....		181
ДОДАТОК А.АКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ.....		205
ДОДАТОК Б. СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ ТА ВІДОМОСТІ ПРО АПРОБАЦІЮ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЇ.....		208
ДОДАТОК В.ЗБОЇ АЛС ШВИДКІСНИХ ПОЇЗДІВ ПО ЗАЛІЗНИЦЯХ ТА СЛУЖБАХ.....		215

ВСТУП

Актуальність теми. Залізничний транспорт в Україні забезпечує перевезення десятки тисяч пасажирів і мільйони тон вантажів, являючи собою один з найпопулярніших видів транспорту. Безпека на залізничному транспорті та його безперебійна робота значно залежить від надійності роботи засобів залізничної автоматики та зв'язку [1-3]. При цьому особлива роль у забезпеченні ефективної та безпечної роботи залізниць належить системам інтервального регулювання руху поїздів (ІРРП), до складу яких входить автоматична локомотивна сигналізація (АЛС) [4-7]. Надійна робота системи АЛС виключає можливість зіткнення поїздів при порушенні інтервалів та перевищенні припустимих швидкостей руху. Проте на безперебійність функціонування системи АЛС впливає велика кількість електромагнітних завад різного походження, а також зношеність колійних і локомотивних пристроїв, що стає причиною появи збоїв та відмов у роботі [8-26]. При цьому на даний час, особливо на ділянках впровадження руху поїздів зі швидкостями вище 120 км/год, фіксується значне збільшення кількості завад і збоїв. Системи АЛСН, які найбільш розповсюджені на залізницях України, мають низьку надійність та інформативну здатність, що стає значною проблемою в умовах підвищення швидкості руху та впровадженні нових типів поїздів та локомотивів зі збільшеною потужністю та асинхронним тяговим приводом [27-31]. До того ж технічне обслуговування та контроль параметрів апаратури в багатьох технологічних процесах, що забезпечують експлуатацію системи АЛС, відбувається електромеханіками вручну, що потребує значних затрат часу, а на результати перевірки великий вплив має людський фактор [32, 33]. Зношеність апаратури та неякісне виконання робіт працівниками, як засвідчує аналіз статистики відмов, на даний час є однією з головних причин, що призводить до збоїв та відмов в роботі системи [34, 35]. Розробка та впровадження засобів та методів автоматизації процесів перевірки та обслуговування систем безпеки на залізничному транспорті може корінним чином змінити ситуацію [36-42]. Тому вирішення наукового

завдання удосконалення технології обслуговування автоматичної локомотивної сигналізації залишається актуальним.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана у відповідності з положеннями Стратегії розвитку залізничного транспорту України до 2020 року, яка була схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 16 грудня 2009 року. Обраний напрям дослідження відповідає Концепції комплексної програми розвитку залізничного транспорту України на 2007-2020 р. Дисертаційна робота пов'язана з результатами науково-дослідних робіт, що виконані Дніпровським національним університетом залізничного транспорту імені академіка В.Лазаряна, і в яких дисертант брала участь у якості виконавця та увійшла до числа авторів звітів: «Розробка системи безперервного автоматизованого діагностування стрілочних переводів централізованих стрілок в умовах експлуатації на станції» з номером державної реєстрації 0110U000330, «Дослідження і розробка інтегрованої комп'ютерної системи оптимізації перевезень, енергозбереження, безпеки руху та інтелектуалізація процедур управління залізничним транспортом України» з номером державної реєстрації 0114U005164, «Наукове обґрунтування підвищення функціональної безпеки пристроїв залізничної автоматики шляхом забезпечення електромагнітної сумісності з тяговою мережею» з номером державної реєстрації 0115U300280.

Метою дисертаційної роботи є вирішення наукового завдання удосконалення технології обслуговування автоматичної локомотивної сигналізації шляхом розробки і наукового обґрунтування методу моніторингу сигнального струму з використанням спектрального вейвлет-аналізу для своєчасного виявлення дефектів кодового струму АЛС та методу і засобу автоматизованого контролю технічного стану локомотивних пристроїв АЛС на контрольному пункті.

Завдання, які необхідно вирішити для досягнення поставленої мети:

–провести аналіз принципів побудови різних систем ІРПІ та визначити недоліки та переваги кожної з них в умовах експлуатації;

– провести аналіз причин виникнення збоїв та відмов у роботі АЛС, методів і засобів захисту від них;

– розробити комплексну математичну модель АЛС, що може бути покладена в основу дослідження роботи системи в умовах впливу різних завад та дестабілізуючих факторів;

– розробити та науково обґрунтувати метод для удосконалення моніторингу сигнального струму АЛС, що надасть змогу підвищити рівень завадозахищеності системи;

– провести аналіз існуючої технології обслуговування та перевірки працездатності системи АЛС на контрольному пункті з метою визначення недоліків у процесі обслуговування та напрямків їх вирішення;

– розробити і науково обґрунтувати спосіб автоматизованого контролю стану каналу АЛС на контрольному пункті, експериментально дослідити ефективність його застосування та запропонувати на цій основі удосконалену технологію перевірки стану каналу АЛС;

– розробити дослідний зразок автоматизованого апаратно-програмного комплексу для контролю стану каналу АЛС під час перевірки на контрольному пункті та дослідити його роботу в лабораторних умовах і при контролі технічного стану АЛС в локомотивному депо.

Об’єкт дослідження – процеси в автоматичній локомотивній сигналізації, які впливають на якість передачі сигнальної інформації в кабіну машиніста та технологія контролю технічного стану системи АЛС.

Предмет дослідження – засоби та методи автоматизації контролю технічного стану колійної та локомотивної підсистем АЛС.

Методи досліджень. Для отримання результатів дисертації були використані методи математичного моделювання, спектрального аналізу, числові, фізичного моделювання, натурного випробування, цифрової обробки сигналів, комплексне перетворення Фур’є та вейвлет-перетворення, статистичного аналізу, вимірювальні методи, теорія чотириполосника:

– математичне моделювання каналу зв'язку між рейковим колом та вхідними пристроями системи АЛСН використане з метою дослідження роботи системи АЛСН в умовах дії різних завад;

– числові методи для визначення частоти виникнення типових відмов та збоїв;

– комплексне перетворення Фур'є та вейвлет-перетворення використані для розпізнавання наявності завад в сигнальному струмі за спектральним складом під час декодування коду;

– методи статистичного аналізу появи збоїв та відмов у роботі системи АЛС використано для обґрунтування можливості вирішення задачі підвищення завадостійкості системи шляхом автоматизації технічного огляду та зменшення впливу людського фактору;

– комп'ютерні технології та програмне забезпечення для технічного визначення стану каналу АЛС на контрольному пункті, які виконують запис, відтворення і аналіз вимірювань за допомогою аналого-цифрового перетворювача (АЦП) результатів вимірювання тривалості та інтенсивності горіння ламп локомотивного світлофору та правильності показань на ньому;

– в експериментальних випробуваннях використовувалися методи фізичного моделювання, натурного випробування, цифрової обробки сигналів.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у розробці нових науково-обґрунтованих методів удосконалення технології обслуговування автоматичної локомотивної сигналізації шляхом використання методу аналізу сигнального струму за спектральним складом та подальшого розвитку існуючих засобів автоматизації виконання технічного огляду системи АЛС на контрольному пункті. Отримані наступні наукові результати:

– вперше розроблено і науково обґрунтовано метод моніторингу сигнального струму локомотивної сигналізації з використанням спектрального вейвлет-аналізу, що дозволяє оперативно виявляти дефекти кодового струму АЛС;

– вперше розроблено та науково обґрунтовано метод автоматизації періодичного контролю працездатності локомотивних пристроїв АЛС на

контрольному пункті дистанції сигналізації та зв'язку з використанням апаратно-програмного комплексу, який контролює достовірність передачі і декодування сигналів АЛС з кабіни машиніста порівнянням їх з сигналами від колійних пристроїв, що дозволяє усунути людський вплив, підвищити якість технічного контролю, зменшити час та матеріальні витрати на його проведення;

– удосконалено математичну модель каналу зв'язку між рейковим колом і вхідними пристроями АЛСН, яка на відміну від існуючих, враховує характеристики системи і зміни первинних параметрів рейкової лінії в процесі експлуатації та під дією різного роду зовнішніх дестабілізуючих факторів, що дозволяє оперативно виявляти причини виникнення збоїв АЛСН;

– отримав подальший розвиток метод контролю впливу електромагнітних завад від ЛЕП на роботу локомотивних пристроїв АЛСН, який відрізняється від існуючих вимірюванням електричних завад в кодових сигналах АЛСН різного виду (З, Ж, ЧЖ) з одночасним вимірюванням електромагнітного поля вздовж залізничної колії на ділянці зближення з ЛЕП з наступним проведенням спектрального аналізу.

Достовірність одержаних результатів та висновків підтверджується задовільною відповідністю результатів математичного моделювання з результатами експериментальних досліджень.

Практичне значення отриманих результатів. Наукові результати, здобуті в дисертації дозволили розробити новий автоматичний метод контролю технічного стану локомотивних пристроїв АЛС на контрольному пункті без необхідності використання ручної праці, результатом застосування якого є електронний протокол, що засвідчує проведення перевірки працездатності системи АЛС. Проведені дослідження надали змогу:

– розробити та створити спосіб контролю технічного стану локомотивних пристроїв АЛС на контрольному пункті;

– розробити пристрій та створити дослідний зразок автоматизованого апаратно-програмного комплексу контролю технічного стану локомотивних пристроїв АЛС на контрольному пункті;

– підвищити якість технічного обслуговування системи АЛС шляхом удосконалення технології перевірки працездатності каналу системи на контрольному пункті;

– використати розроблений спосіб контролю технічного стану локомотивних пристроїв автоматичної локомотивної сигналізації при розробці цифрового дешифратора АЛС нового покоління з покращеними характеристиками завадо захищеності.

Основні результати досліджень передані для використання в Запорізьку дистанцію сигналізації та зв'язку (АТ «Укрзалізниця» регіональна філія «Придніпровська залізниця») та впроваджені в навчальному процесі Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.

Використання результатів роботи дозволить удосконалити технологію обслуговування системи АЛС на контрольному пункті шляхом підвищення ефективності її технічного обслуговування завдяки застосуванню методу автоматизованого контролю.

Практичне впровадження результатів роботи підтверджується відповідними документами, які наведено в додатках до дисертаційного дослідження.

Особистий внесок здобувача. Всі основні результати теоретичних і експериментальних досліджень, наведені в дисертаційній роботі, отримані автором особисто або за його безпосередньої участі. Обробка отриманого матеріалу, формулювання наукових положень і висновків, підготовка публікацій і доповідей також проводились автором особисто. Постановку мети та задач дослідження виконано спільно з науковим керівником.

Усі положення та результати, що виносяться на захист дисертації, приведені в роботах [17, 40-42, 98, 107, 142-144, 148, 149, 160, 165, 182, 183], які надруковані у відкритій пресі. Дисертантом опубліковано особисто розробку математичної моделі вхідних пристроїв системи автоматичної локомотивної сигналізації [142], моделювання індуктивного сполучення локомотивних пристроїв АЛСН з рейковим колом [143] та виконані дослідження роботи системи в умовах завод [17].

В роботах опублікованих у співавторстві, дисертанту належать:

- побудова математичної моделі каналу зв'язку між рейковим колом і вхідними пристроями АЛСН [144];
- застосування розроблених методів моделювання в електромеханічних системах [148, 42];
- визначення методів удосконалення аналізу сигнального струму АЛС з використанням комплексного перетворення Фур'є та вейвлет-перетворення, виконано порівняльний аналіз застосованих різновидів спектрального аналізу та сформульовані висновки щодо їх застосування при обробці даних, записаних вагоном-лабораторією, або при дешифрації сигналів АЛС [165];
- використання спектрального аналізу складу струму при діагностиці стану стрілочних переводів [160, 42];
- дослідження впливу високовольтних ліній електропередач на появу збоїв та відмов у роботі АЛСН [98];
- проведення аналізу методів обслуговування та контролю пристроїв автоблокування [107];
- розробка способу контролю технічного стану локомотивних пристроїв автоматичної локомотивної сигналізації на контрольному пункті [182];
- розробка пристрою контролю технічного стану локомотивних пристроїв автоматичної локомотивної сигналізації на контрольному пункті [183];
- проведення аналізу існуючих шляхів підвищення безпеки руху поїздів [40];
- використання цифрових засобів у процесі технічної діагностики пристроїв [41, 42];
- застосування розроблених методів визначення діагностичних ознак відмов для пристроїв залізничної автоматики [149, 42].

Апробація результатів дисертації. Основні результати досліджень доповідалися і були схвалені на ІХ, Х, ХІІІ, ХІV міжнародних науково-практичних конференціях «Сучасні інформаційні та комунікаційні технології на транспорті, в промисловості і освіті» (Дніпро, ДНУЗТ, 2015, 2016, 2019, 2020); 74, 75, 76, 79, 80

міжнародних науково-практичних конференціях «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» (Дніпро, ДНУЗТ, 2014, 2015, 2016, 2019, 2020); всеукраїнських конференціях студентів та молодих вчених «Інформаційно-управляючі технології та системи на залізничному транспорті» (Дніпро, ДНУЗТ, 2013, 2014, 2020); 2-й міжнародній науково-практичній конференції «Енергооптимальні технології, логістика та безпека на транспорті» (Львів, Львівська філія ДНУЗТ, 2019); V, VIII міжнародних науково-практичних конференціях «Безпека та електромагнітна сумісність на залізничному транспорті» (сmt. Чинадієво, Чернівці, ДНУЗТ, 2012, 2017), VII Міжнародній науково-практичній конференції (с. Розлуч, ДНУЗТ, 2016), всеукраїнській науково-практичній конференції молодих учених, спеціалістів, аспірантів «Енергетика, енергозбереження на початку XXI століття» (м. Маріуполь, ДВНЗ «ПДТУ» 2014), міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні проблеми розвитку інтелектуальних систем транспорту» (Дніпро, ДНУЗТ, 2014).

В повному обсязі дисертація доповідалась на міжкафедральному науковому семінарі кафедр «Автоматика та телекомунікації», «Автоматизований електропривід», «Електропостачання залізниць», «Електрорухомий склад», «Локомотиви», «Станції та вузли», «Управління експлуатаційною роботою», «Фізика» Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна 26.06.2020 р.

Публікації. За результатами досліджень опубліковано 33 наукові праці, з них 1 наукова стаття у закордонному електронному виданні, що входить до наукометричної бази Web of Science, 1 наукова стаття в іноземному фаховому виданні (без співавторів), 10 наукових статей у фахових виданнях, які входять до переліку Міністерства освіти і науки України та включені до міжнародних наукометричних баз (з них 2 без співавторів), 2 патента на корисну модель, 14 тез доповідей на міжнародних наукових конференціях, 4 тези доповідей на всеукраїнських конференціях студентів та молодих вчених та 1 теза доповіді на

всеукраїнській науково-практичній конференції молодих учених, спеціалістів, аспірантів.

Структура й обсяг дисертації. Повний обсяг викладено на 215 сторінках, і включає 156 сторінок основної частини, 93 рисунки та 10 таблиць. Дисертаційна робота складається з анотації, змісту, вступу, 4 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел (187 найменувань на 23 сторінках), додатків.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ПРИНЦИПІВ ІНТЕРВАЛЬНОГО РЕГУЛЮВАННЯ РУХУ ПОЇЗДІВ.

ПОСТАНОВКА МЕТИ ТА ЗАВДАНЬ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Огляд існуючих в Україні систем забезпечення безпеки руху поїздів

Основним засобом регулювання руху поїздів на магістральних лініях є система автоблокування. Однак використання однієї системи автоблокування не задовольняє вимогам безпеки руху поїздів через те, що машиніст у кабіні може не побачити показання колійного світлофора через погану видимість світлофорних вогнів (через дощ, сніг, туман, яскраве зустрічне сонце) або через втрату пильності [43-53]. До того ж в умовах підвищення швидкості руху поїздів на залізницях України правильне сприйняття сигналів ускладнюється при будь-яких погодних умовах. Тому для забезпечення умов ведення поїздів та безпеки руху пристрої автоблокування обов'язково доповнюються системами автоматичної локомотивної сигналізації (АЛС). Окрім того системи АЛС виключають аварійні ситуації при наближенні поїздів, запобігають перевищенню допустимої швидкості руху, дозволяють підвищити пропускну здатність ліній та покращити умови роботи локомотивних бригад [54, 55]. Проаналізуємо конструктивні і функціональні особливості різних систем забезпечення безпеки руху поїздів, існуючих в Україні.

Будь-яка система АЛС містить передавальні (колійні) і локомотивні (поїзні) пристрої. Передавальні пристрої на основі обробки інформації про вільність блок - ділянок, показання колійних світлофорів, завдання маршруту та інших умов виробляють сигнали, призначені для передачі на локомотив. Ці сигнали сприймаються локомотивними приймальними пристроями, дешифруються і використовуються для керування поїздом. При цьому пристрої локомотивної сигналізації обладнуються автостопом і пристроями перевірки пильності машиніста та контролю швидкості руху поїзда [56].

Для передачі на локомотив інформації про показання колійних світлофорів, до яких наближається поїзд, в АЛС застосовується група електричних сигналів. Кожен

сигнал колійного світлофора має свій код. Залежно від того, чим електричні сигнали (складові коду даної системи локомотивної сигналізації) відрізняються один від одного, розрізняють наступні коди: числовий, частотний, частотно-імпульсний, фазовий та ін. (рис. 1.1).

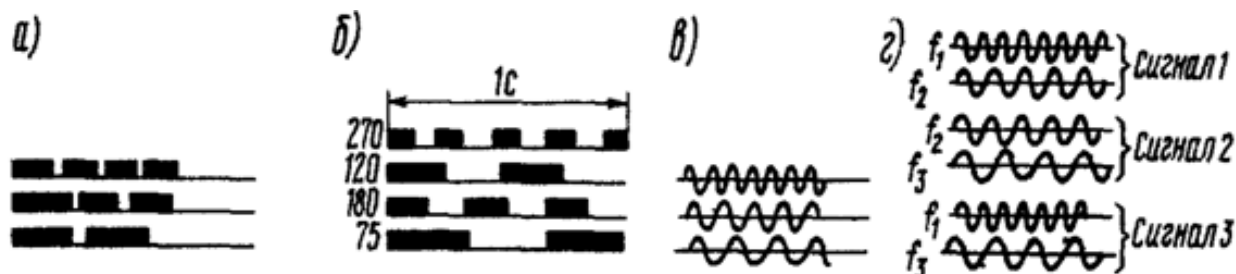


Рисунок 1.1 – Види кодів АЛС: а) числовий; б) імпульсно-частотний; в) частотний; з) комбінаційно-якісний

Розглянемо системи АЛС, які перебувають в експлуатації в Україні або представляють певний інтерес, зважаючи на свою перспективність. Класифікація систем АЛС наведена на рис. 1.2 [45]. За структурною схемою рис 1.2 видно, яким чином в окремих групах забезпечується шлях передачі інформації. Найбільш численну групу представляють АЛС з індуктивною передачею, де зв'язок між стаціонарною і рухомою частиною здійснюється за допомогою магнітного поля.



Рисунок 1.2 – Структурна схема класифікації систем АЛС

Автоматична локомотивна сигналізація буває *точкового типу (АЛСТ)* і *безперервної дії (АЛСН)*. У пристроях АЛСТ передача сигнальних показань здійснюється в окремих точках колії, зазвичай на відстані гальмівного шляху перед прохідним або вхідним світлофором. При системі АЛСН сигнальні показання колійних світлофорів автоблокування передаються безперервно під час руху поїзда по перегону. В *низькочастотних системах АЛСН* у якості лінії зв'язку використовуються рейкові нитки, по яких проходить сигнальний струм низької частоти (25 – 2000 Гц), що утворює навколо рейок магнітне поле. Цим забезпечується передача інформації одному поїзду незалежно від кількості поїздів на рейковому колі. *Система АЛСН високочастотна* використовує діапазон частот, в меншій мірі схильний до впливу електричної тяги, розташований вище 30 кГц. Для передачі сигналів в цьому діапазоні частот неможливо використання двухпровідної рейкової лінії, тому поруч з нею укладають ізольований провід у вигляді кабельного шлейфу. Також відомий досвід використання для цього повітряних ліній, прикріплених до опор контактної мережі. Автоматична локомотивна сигналізація може використовуватися як *основна система організації руху поїздів (АЛСО)*. В цьому випадку світлофори на перегонах не встановлюються, а розмежовуються роздільними пунктами або простором [43, 44, 46].

В експлуатаційному відношенні АЛСН характеризується кількістю локомотивних показань – *числова кодова* п'ятизначна *АЛСН* та *частотна багатозначна АЛСМ*. У числовій кодовій системі АЛСН сигнали колійних світлофорів передаються у вигляді різної кількості імпульсів змінного струму частотою 25, 50 або 75 Гц. У системі АЛСМ сигнали колійних світлофорів передаються на локомотив частотним сигналом, що представляє собою безперервний змінний струм з присвоєною йому частотою. В *уніфікованій частотній системі автоматичної локомотивної сигналізації (АЛСУ)* сигнальні показання кодуються різними частотами струму і розміщуються між гармоніками тягового струму: $f_2 = 125$ Гц; $f_3 = 175$ Гц; $f_4 = 225$ Гц; $f_5 = 275$ Гц; $f_6 = 325$ Гц і $f_7 = 375$ Гц. На ряду залізниць зі швидкісним рухом пасажирських поїздів більше 140 км/год впроваджена *автоматична локомотивна сигналізація єдиного ряду з*

безперервним каналом зв'язку (АЛС-ЕН) [47-50, 53]. У цій системі для передачі інформації з колії на локомотив використаний безперервний індуктивний частотний канал зв'язку (175 Гц), що в порівнянні з АЛСМ дозволяє в 5 разів зменшити діапазон використовуваних частот і тим самим спростити приймальні та передавальні пристрої системи [51, 52]. Хоча необхідно відзначити, що кількість збоїв АЛС-ЕН в кілька разів перевищує кількість збоїв системи АЛСН [57].

На даний час вже існує *мікроелектронна система АЛС-ЕН* підвищеної значності та завадозахищеності. АБ-Е1 забезпечує роботу цієї системи, а також суміщується з напільними пристроями системи АЛСН [58]. Також модернізовані локомотивні пристрої системи АЛС числового коду і локомотивні пристрої АЛС-ЕН можуть бути конструктивно виконані як один пристрій в *системі КЛУБ (комплексний локомотивний пристрій безпеки)*. Такими системами обладнали деякі локомотивні парки Укрзалізниці. Система КЛУБ дуже часто доповнюється *мікропроцесорними системами безпеки САУТ (система автоматичного керування гальмами)* і *ТСКБМ (телемеханічна система контролю за пильністю машиніста)*. У комбінованій системі АЛСЕ-САУТ передбачені більш жорсткі умови проїзду сигналів з червоним вогнем. А сама система має безперервні та точкові канали передачі інформації [59].

Більш досконалі системи забезпечення безпеки руху поїздів застосовують на лініях швидкісного руху закордоном. Нижче розглядаються системи ІРРП, що використовуються на залізницях різних країн [60-71].

1.2 Огляд закордонних систем АЛС

Росія. З 2002 року система КЛУБ вже використовується як основний бортовий пристрій забезпечення безпеки руху поїздів на мережі Російських залізниць. Він входить також в єдину комплексну систему (ЄКР) управління і забезпечення безпеки руху поїздів. До складу ЄКР, крім КЛУБ-У, входить також уніфікована система автоведення поїздів (УСАВП), система автоматичного управління гальмуванням (САУТ-ЦМ/485) і телемеханічна система контролю за *пильністю машиніста* (ТСКБМ). У наш час створюється спільна *російсько-італійська система*

керування та забезпечення безпеки руху поїздів ITARUS-ATC, що буде мати модульну архітектуру, яка забезпечить можливість адаптивної конфігурації та функціонального розширення. З 2013 року в Росії на електропоїздах DESIRO RUS у рамках спільного *російсько-німецького проекту* також встановлюється комплекс БЛОК, що експлуатується разом з системою інтервального регулювання поїздів GSM-R російського виробництва і вирішує ті ж самі задачі, що і окремі системи КЛУБ, САУТ і ТСКБМ при їх спільному використанні [60-62, 72, 73].

Німеччина та Австрія. На лініях залізниць Німеччини та Австрії для забезпечення безпеки руху поїздів при швидкостях руху вище 160 км/год фірма Siemens розробила нову систему інтервального регулювання ZUB-100 на основі процесора 8085 і розпочала впровадження системи АЛС неперервного типу (AUCH)-LZB (лінія Аугсбург-Мюнхен), у якій для передачі інформації на локомотиви використовуються індуктивні шлейфи, що укладаються вздовж колії. Наприкінці 90-х рр. фірма Siemens розпочала створення нового сімейства систем ZUB-200, що володіє розширеними функціональними можливостями та задовольняє високі вимоги з безпеки [74, 75]. У ZUB-242 і ZUB-262 обмін інформацією між колією і поїздом забезпечується на основі європейської системи управління рухом поїздів ETCS зі спеціалізованими модулями передачі. В даний час німецькі залізниці форсують розробку нової системи АЛС з розширеними функціональними можливостями з використанням для обміну інформацією каналу радіозв'язку (системи FZB).

Франція. У 80-ті рр. на мережі залізниць Франції (SNCF) з'явилися високошвидкісні лінії, де поїзди розвивали швидкість до 300 км/год. Основним засобом сигналізації на цих лініях є система АЛС безперервного типу TVM 300 (Transmission Voie-Machine, English: track-to-train transmission). У зв'язку з будівництвом "Північної" високошвидкісної лінії (максимальна швидкість руху поїздів 320 км/год, мінімальний інтервал попутного прямування 3 хв.) було створено більш досконалу систему сигналізації типу TVM 430 (скорочення мінімального інтервалу попутного прямування поїздів до 3 хв, зменшення довжини рейкових кіл до 1500 м).

Італія. На швидкісній лінії Рим-Флоренція (довжина 260 км, максимальна

швидкість 260 км/год) збільшена до 9 кількість команд існуючої системи АЛСН за рахунок використання другої несучої частоти 178 Гц [76, 77].

Іспанія. На швидкісній залізничній магістралі Мадрид-Севілья безпека руху забезпечується системою АЛСН типу LZB. Для передачі використовуються індуктивні шлейфи, укладені між рейками. Система індуктивного зв'язку з поїздом дозволяє забезпечувати надійний обмін інформацією з поїздом при швидкостях руху більше 300 км/год.

Фінляндія і Норвегія. У зв'язку з підвищенням швидкостей до 220 км/год на фінських залізницях було прийнято рішення про збільшення числа показань (до 21), що передаються з колії на поїзд. Сама система являє собою АЛС точкового типу EB1СAB-900 розробки Шведської фірми АВВ.

Японія. На високошвидкісних лініях (ВШЛ) Японських залізниць застосовуються системи АЛС неперервного типу, що використовують рейкові кола для передачі на поїзд частотних сигналів. Так, базова система АЛС типу 1А функціонує на першій ВШЛ лінії Токайдо. На ВШЛ наступних років системи сигналізації модернізовані. На лініях Сан-Іо (довжина 554 км, швидкість руху до 260 км/год), Дзеецу (довжина 270 км, швидкість руху до 260 км/год), Тохоку (довжина 496 км, швидкість руху до 260 км/год) експлуатуються модифікації IS, ІВ та ІD системи АЛС [78-81].

Загальноєвропейська система. На Європейських залізницях є ділянки, обладнані апаратурою Європейської системи керування поїздами ETCS, у якій передача сигнальної інформації на поїзд здійснюється за допомогою Євробаліз [74].

Нідерланди. Система GENERAL ELECTRIC COMPANY на Голландських залізницях, електрифікованих на постійному струмі 1,5 кВ, експлуатується з автоматичним контролем швидкості.

США і Канада. На лініях зі швидкостями вище 160 км/год в США і Канаді використовуються системи АЛС неперервного типу фірми UNION SWITCH (СІЛА), інформація в яких передається по рейковим колам. А на ділянці Північно-Східного коридору (Бостон-Нью-Йорк-Вашингтон) впроваджена 9-значна система АЛС [70, 71, 82].

Як показує досвід інших держав, заміна аналогової техніки на цифрову дозволяє зменшити розміри апаратури, скоротити її енергоспоживання та знизити собівартість системи. Але враховуючи ряд економічних проблем, в Україні найбільш широке застосування на практиці знайшли аналогові неперервні системи АЛСН з використанням рейок, як лінії зв'язку. Далі проаналізуємо надійність роботи системи АЛС. Для цього розглянемо статистику відмов та збоїв за п'ять років. Визначимо причини, що призводять до появи завад у роботі, а також методи і способи захисту від них.

1.3 Аналіз статистики відмов та збоїв у роботі АЛС

Серед порушень дії пристроїв АЛС можна виділити:

- короточасні порушення (збої), основна частина яких відбувається при зміні показань локомотивних світлофорів, а також на некодованих ділянках;
- порушення дії пристроїв АЛС, що призвели до вимкнення її під час прямування поїздів (відмови);
- випадки збоїв АЛС поїздами швидкісного руху (які проаналізовані окремо).

Проведемо аналіз статистики відмов та збоїв у роботі АЛС в сучасних умовах, що характеризуються з одного боку збільшенням швидкості руху та потужності нових типів поїздів, появою нового типу поїздів та локомотивів з асинхронним тяговим приводом, а з іншого боку – значним моральним і фізичним старінням парку локомотивів і поїздів залізниць України, більшість з яких відпрацювала свій ресурс. Аналіз проведено на основі даних з шести залізниць України за 2015-2019 роки в порівнянні з аналогічними дослідженнями, наведеними в літературі за минулі роки [34, 35].

Кількість транспортних подій за дослідні п'ять років наведена на рис. 1.3. Аналіз динаміки показує, що у 2015 році загальна кількість подій, що сталася, складає 9 випадків, у 2016 р. – 11, 2017 р. – 11, 2018 р. – 12, 2019 р. – 10. З загальної кількості 10 інцидентів, які віднесені за господарствами сигналізації та зв'язку у 2019 році, з вини дистанцій сигналізації та зв'язку допущено 8 або 80 % від загальної кількості.

Причинами цих інцидентів є:

- порушення технології виконання робіт (неоперативна організація усунення відмов, недотримання вимог технологічних карт та керівництв з експлуатації). Ця причина призвела до виникнення 5 інцидентів, що становить 63% від загальної кількості;

- невиконання робіт, передбачених планами технічного обслуговування пристроїв СЦБ, інструкціями та керівними вказівками. З цієї причини допущено 3 інциденти, що становить 37%;

- інші причини (вплив грозових та комутаційних перенапруг, ожеледиця, повінь та інші). З цієї причини в 2019 році не були встановлені інциденти.

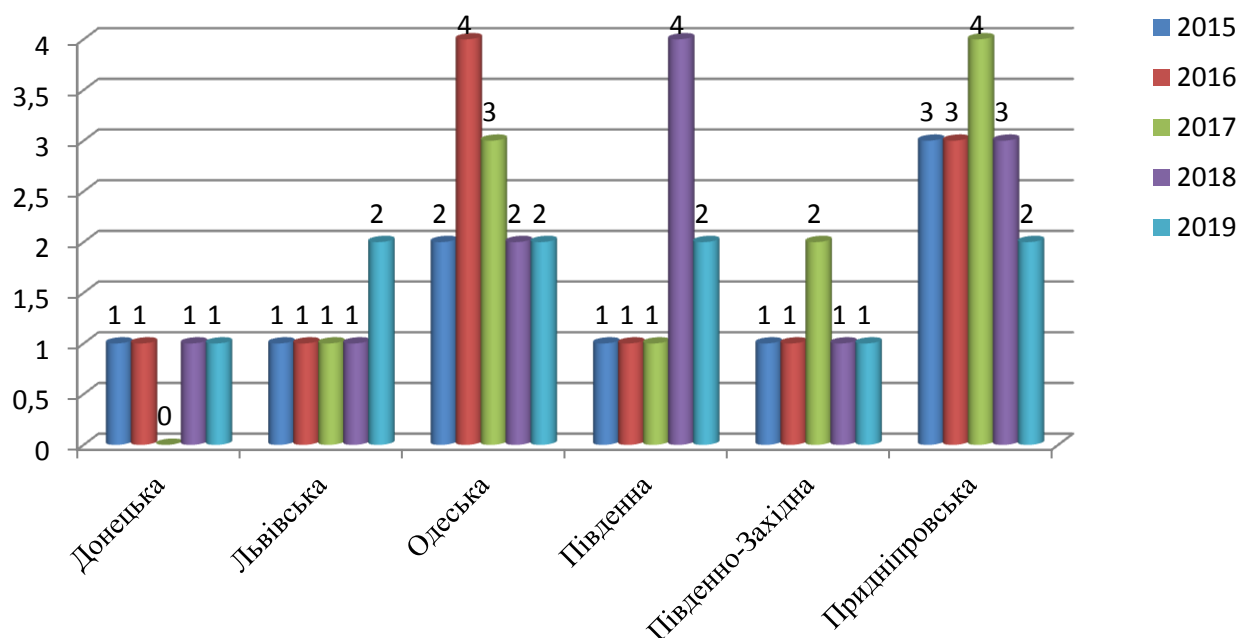


Рисунок 1.3 – Кількість транспортних подій за період 2015-2019 років

Окремо проаналізуємо надійність роботи пристроїв СЦБ (рис. 1.4). Кількість відмов пристроїв СЦБ у 2019 році в порівнянні з аналогічним періодом 2018 року збільшилась на 23,6% і склала 5310 проти 4296 у 2018. А загальна кількість відмов за останні 5 років склала 23472 випадків.

Якщо розглянути відмови пристроїв СЦБ, віднесених за господарством сигналізації та зв'язку в 2019 році, то основними об'єктами даних відмов є (рис. 1.5):

1. Вихід з ладу реле, блоків, трансформаторів, трансмітерів, конденсаторів та конденсаторних блоків, випрямлячів, безконтактної апаратури, пристроїв захисту –

482 відмови або 36,2%. Найбільша кількість відмов апаратури на регіональній філії «Одеська залізниця» – 156 відмов. Основними причинами відмов апаратури є обрив обмоток та монтажних проводів в приладах, коротке замикання проводів, втрата ємності конденсаторів, які виникали через неякісне виконання робіт при технічному обслуговуванні ремонтних пристроїв, фізичне старіння, вплив грозових та комутаційних перенапруг. Основні типи приладів, які найбільше виходили з ладу, – трансформатори, трансмітери, конденсатори та конденсаторні блоки.

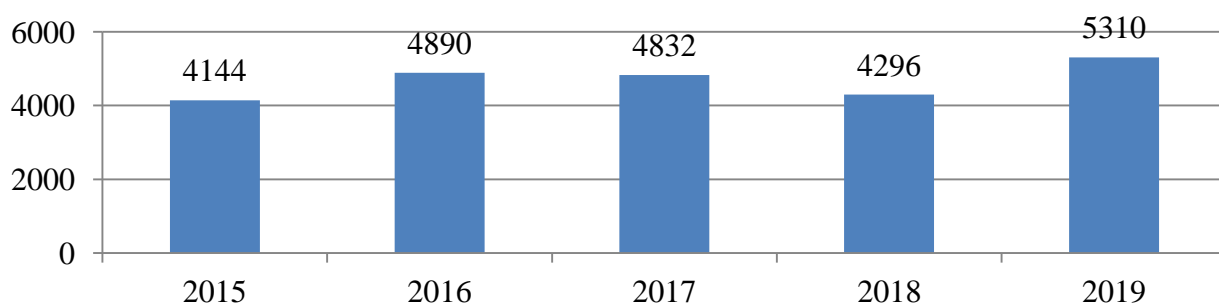


Рисунок 1.4 – Кількість відмов пристроїв СЦБ за період 2015-2019 років

2. Порушення роботи рейкових кіл – 195 відмов або 14,6%. Найбільша кількість відмов рейкових кіл на регіональній філії «Львівська залізниця» – 61 відмова. Основні причини відмов в рейкових колах – обрив або відсутність рейкових з'єднувачів.

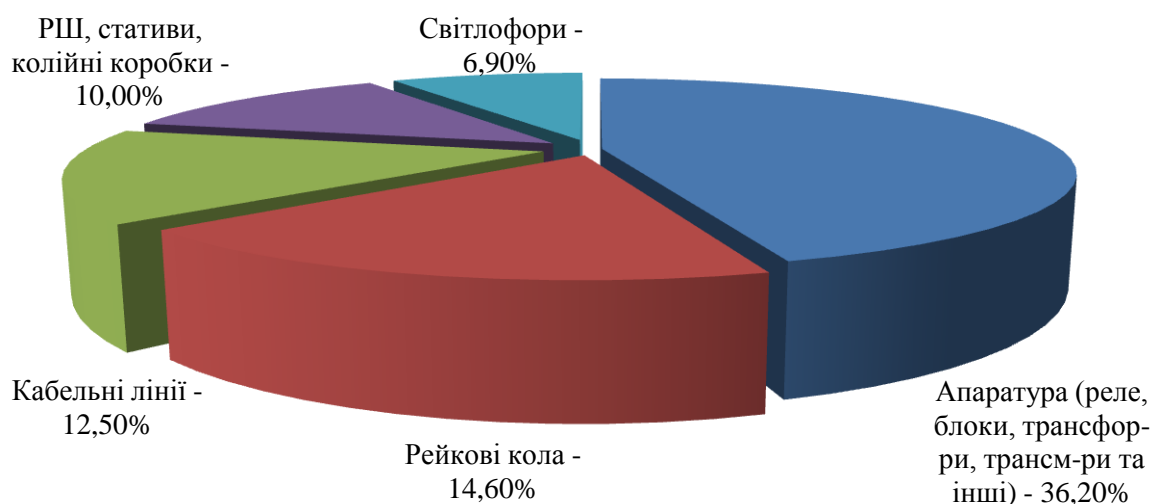


Рисунок 1.5 – Відмови пристроїв СЦБ, віднесених за господарством сигналізації та зв'язку в 2019 році

3. Порушення роботи кабельних ліній – 166 відмов або 12,5%. Найбільша кількість відмов кабельних ліній на регіональній філії «Одеська залізниця» – 49

відмов. Основні причини відмов кабельних ліній – внутрішній обрив жил в кабелі, обрив жил на клеммах, зниження опору ізоляції.

4. Несправність в релейних шафах, на стативах, в колійних коробках – 133 відмови або 10,0%. Найбільша кількість відмов цих пристроїв на регіональних філіях «Одеська залізниця» – 46 відмов. Основні причини відмов – несправність штепсельних плат, клем, роз'ємів, колодок, монтажу.

5. Несправність світлофорів – 86 відмов або 6,9%. Найбільша кількість відмов цих пристроїв на регіональній філії «Придніпровська залізниця» – 27.

6. Несправність стрілочних електроприводів, гарнітури, замків Мелентьєва – 68 відмов або 5,1%. Найбільша кількість відмов цих пристроїв на регіональній філії «Одеська залізниця» – 23 відмови. Причинами відмов є несправність електродвигунів, втрата контакту в автоперемикачі та несправність монтажу в електроприводі.

Основними причинами відмов пристроїв СЦБ на всіх залізницях є:

1. Експлуатаційні – 1135 відмов або 85,3%. З них:

1.1. Порушення технології виконання робіт (недотримання вимог технологічних карт та керівництв з експлуатації) при технічному обслуговуванні та ремонті пристроїв СЦБ – 560 відмов або 42,1%. Найбільша кількість таких відмов на регіональній філії «Придніпровська залізниця» – 147 відмов.

1.2. Вихід з ладу приладів, пристроїв із-за фізичного старіння – 399 відмов або 30,0%. Найбільша кількість таких відмов на регіональній філії «Одеська залізниця» – 216 відмов.

1.3. Неякісний ремонт та перевірка приладів в РТД СЦБ – 35 відмов або 2,6%. Найбільша кількість таких відмов на регіональній філії «Придніпровська залізниця» – 22 відмови.

1.4. Причина не виявлена – 129 відмов або 9,7%. Найбільше відмов з не виявленою причиною на регіональній філії «Південно-Західна залізниця» – 68 відмов.

2. Інші – 195 відмови або 14,7%. З них:

2.1. Вплив грозових та комутаційних перенапруг – 103 відмови або 7,7%. Найбільше таких відмов на регіональній філії «Південна залізниця» – 56 відмов.

2.2. Конструктивно-заводський недолік – 79 відмов або 5,9%. Найбільше таких відмов на регіональній філії «Одеська залізниця» – 49 відмов.

Якщо проаналізувати кількість порушень дії пристроїв АЛС, що призвели до вимкнення сигналізації АЛС під час прямування поїздів, то отримаємо, що за 2015 рік на залізницях України допущено 1030 порушень, 2016 р. – 807, 2017 р. – 832, 2018 р. – 840, 2019 р. – 1011. Розподілення порушень дії пристроїв АЛС в період з 2015-2019 рр., віднесених за різними службами, зображено на рис. 1.6.

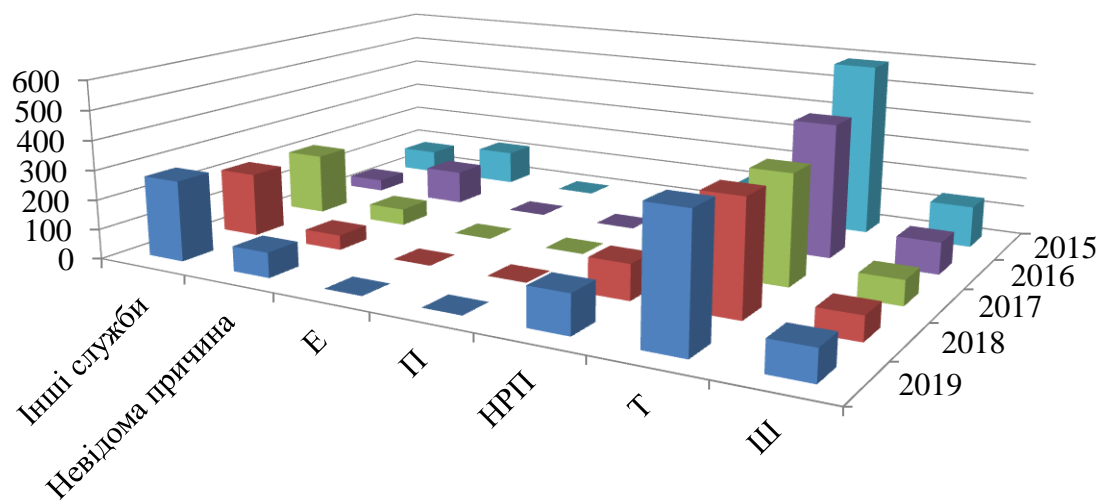


Рисунок 1.6 – Розподілення кількості порушень дії пристроїв АЛС, що призвели до вимкнення її під час прямування поїздів за службами

На прикладі, показаному на рис. 1.7, зображено співвідношення об'єктів, що стали причиною відмов пристроїв АЛС і призвели до вимкнення її під час прямування поїздів у період з 2018-2019 рр. Виділимо основні з них, де зросла кількість відмов:

- дешифратор – 42/36 (2019/2018 рр. відповідно; причинами, як правило, є злам контактних пружин реле, втрата контакту та підгоряння контактів реле);
- підсилювач – 28/26 (причини – відмова конденсатора, транзистора);
- локомотивний фільтр – 10/5 (причини – котушка дроселя, механічні пошкодження, відмова конденсатора).

А також потрібно відмітити, що кількість відмов дещо зменшилась у загальних ящиках – 11/12 (причини – відсутність контакту на клеммах або контактних пружинах).

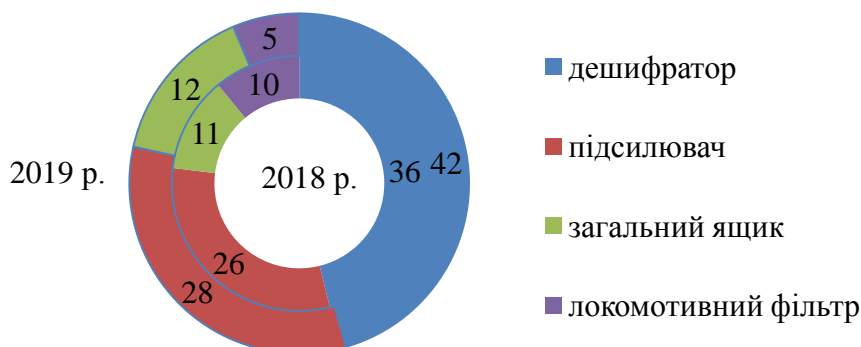


Рисунок 1.7 – Співвідношення об'єктів відмов пристроїв АЛС по службі сигналізації, централізації та блокування, що призвели до вимкнення її під час прямування поїздів

Потрібно зауважити, що основною причиною відмов локомотивних пристроїв АЛС і надалі залишається зношеність апаратури та людська недбалість в процесі перевірки та поточного обслуговування.

Також проаналізуємо загальну кількість короточасних порушень (збоїв) у роботі локомотивної сигналізації, вважаючи такими лише ті, що повторювались тричі за 3 доби на одному і тому ж місці (ізолювана секція, блок-ділянка тощо). За 2015 рік відбулось 4215 випадків, 2016 р. – 2075, 2017 р. – 1408, 2018 – 1457, 2019 р. – 779. Розподіл збоїв у роботі АЛС в період з 2015-2019 рр., віднесених за різними службами, зображено на рис. 1.8.

Аналіз показав, що основними причинами збоїв, віднесених за наступними службами є:

- за службою Ш – несправність приладів кодування, спотворення часових параметрів коду, занижений струм кодування та порушення в схемах кодування, несправність гарнітур або кабеля, вплив ЛЕП. Серед яких постійно повторюваними є саме збої від впливу ЛЕП з причини неможливості уникнути місць перетину;
- за службою П – намагніченість рейок, несправність або відсутність з'єднувачів на перегонах, рейки, укладені поряд з залізничними коліями або усередині них;
- за службою Е – нестабільне живлення.

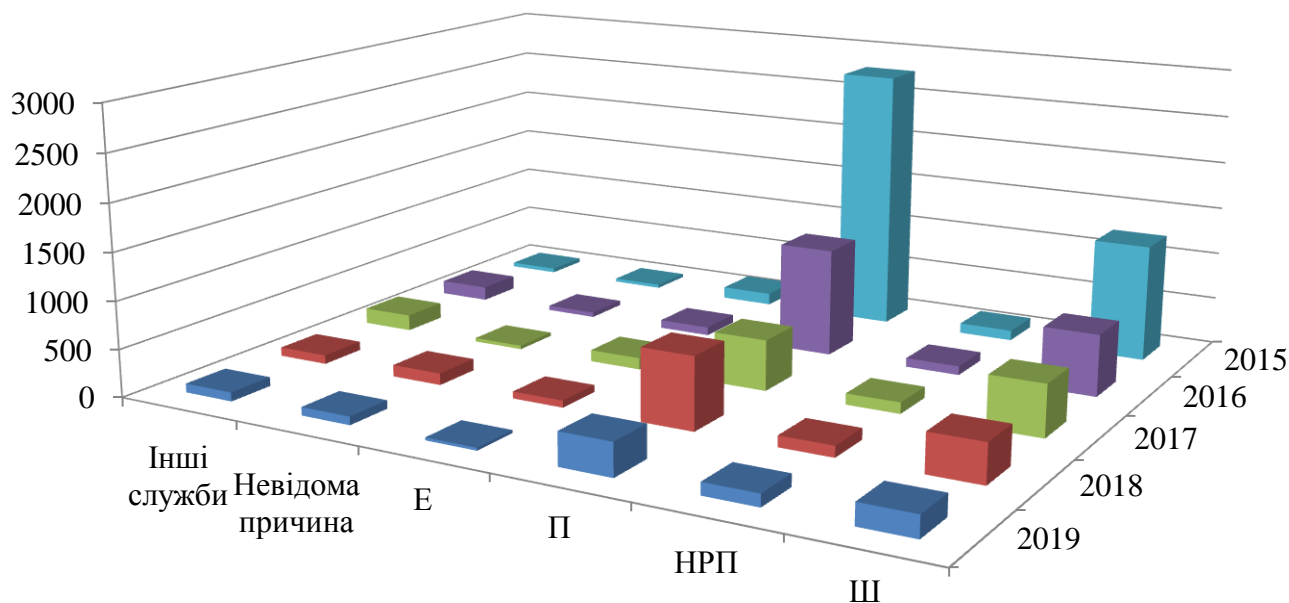


Рисунок 1.8 – Розподіл збоїв у роботі АЛС, віднесених за різними службами

Аналіз відмов у роботі пристроїв СЦБ та збоїв у роботі пристроїв АЛС, які вплинули на рух швидкісних поїздів «ІНТЕРСІТІ» та «ІНТЕРСІТІ+», показав деякі особливості в статистичних даних. Розподіл збоїв АЛС по залізницях та службах наведений на рис. 1.9 та у додатку В. Загальна кількість випадків збоїв становить у 2015 р. – 543, 2016 р. – 441, 2017 р. – 379, 2018 р. – 336, 2019 р. – 551.

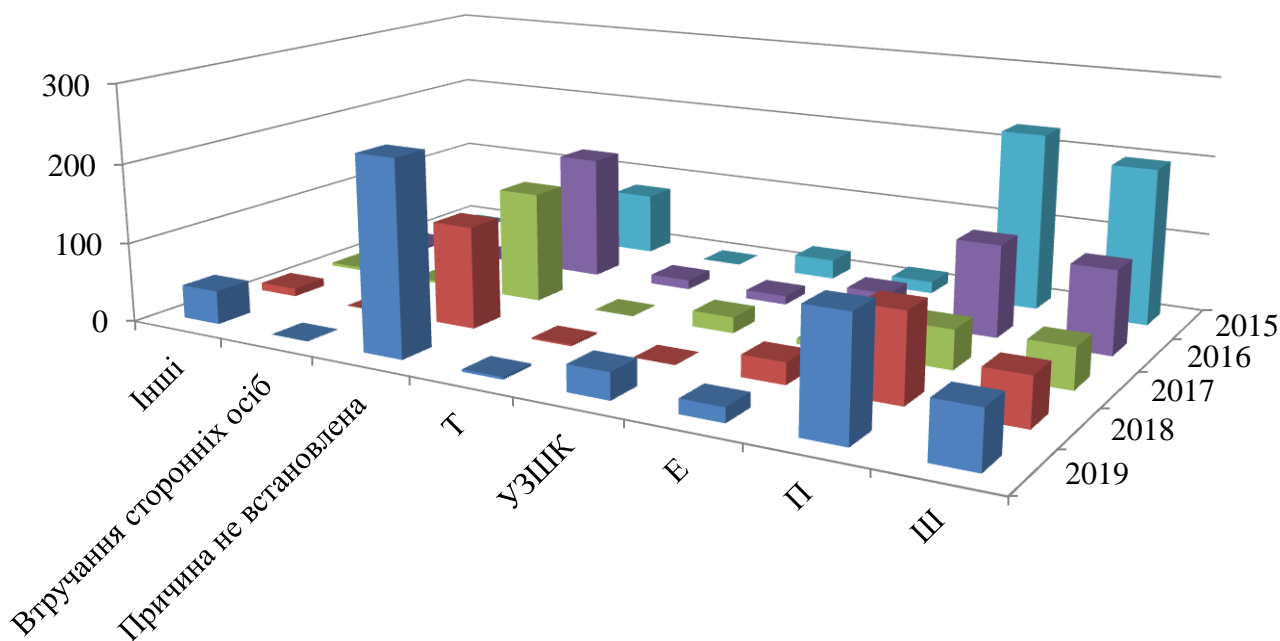


Рисунок 1.9 – Розподіл збоїв АЛС по залізницях та службах, які вплинули на рух швидкісних поїздів «ІНТЕРСІТІ» та «ІНТЕРСІТІ+»

Для скорочення кількості збоїв в роботі АЛС велике значення має оперативність надходження первинної інформації. Найбільш оперативним шляхом «машиніст – ДСП – ШН (ШНС) і ШЧД» передається 1% збоїв АЛС, 99% повідомлень про збої АЛС надходять від розшифровувачів швидкостемірних стрічок (АСУ-НБД і телеграми), 0,3% повідомлень надходить з АСУ-ЗМ (АСУ – зауваження машиністів).

Усі збої в роботі пристроїв АЛС залежно від результатів розслідування причин виникнення можна класифікувати за категоріями:

- перша категорія – збої в роботі пристроїв, віднесені за певним господарством, що виникли в результаті допущених відступів від норм утримання колійних і локомотивних технічних засобів, порушення правил виконання робіт, ремонту та інших вимог нормативних документів;

- друга категорія – збої, віднесені за результатами розслідування до «поодиноких». Збій відноситься до розряду одиночних в разі, коли забезпечується виконання трьох необхідних умов:

- а) в результаті розслідування причина збою не встановлена, а параметри локомотивних і колійних пристроїв відповідають встановленим вимогам;

- б) на даному конкретному місці збої були відсутні протягом 2 діб до даного збою і 2 доби після нього;

- в) на даному конкретному локомотиві відсутні збої з невстановленою причиною протягом 1 доби до даного збою і 1 доби після нього. Інформація про зазначені збої накопичується, узагальнюється і систематизується, після чого, отримані статистичні дані підлягають додатковому аналізу за тривалий проміжок часу (за півроку, за рік в порівнянні з аналогічним періодом попереднього року);

- третя категорія – технологічно обгрунтовані збої в роботі пристроїв АЛС. Виконання заходів щодо їх усунення (мінімізації) здійснюється в плановому порядку.

1.4 Класифікація причин появи збоїв та відмов у роботі АЛС

Передача сигналів в локомотивній сигналізації відбувається в специфічних властивих тільки їй умовах [55, 56]. По-перше, на кожному рейковому колі перегону або станції незалежно від її довжини передача сигналів колійними пристроями локомотивної сигналізації кожен раз починається від власного джерела й рівень сигналу в рейках по мірі просування поїзда безперервно зростає. У довгих рейкових колах струм сигналів, що приймаються на локомотиві, в кінці кола збільшується в порівнянні зі струмом на початку в 10-15 разів. Крім того, перехід локомотива з одного рейкового кола на інше супроводжується короткочасним переривом в прийомі сигналів з колії, різким зменшенням сигнального струму в рейках, можливим збігом за часом припинення прийому зі зміною сигналу.

По-друге, специфіка полягає в тому, що рейкові кола, що зв'язують рухомий локомотив з передавачем сигналів, одночасно використовуються в системі автоблокування, а на електрифікованих дорогах і для пропуску тягових струмів.

По-третє, за своєю структурою електричні сигнали локомотивної сигналізації числового коду дискретні, що складаються з імпульсів і інтервалів між ними, з елементами трьох різновидів [54]. Інформаційне значення має число імпульсів в сигналі, а захисне по достовірності – відносно велика тривалість кінцевого інтервалу кодового електричного сигналу. Виходячи з цього, спотворення сигналів, які можуть призводити до неправильного прийому, складаються з укорочення або подовження імпульсів і інтервалів, заповнення довгого інтервалу і числових порушень. В процесі перетворення кодових комбінацій в електричні сигнали і передачі їх кожен елемент може піддаватися викривленням. Причинами спотворень електричних сигналів і їх елементів можуть бути нестабільність параметрів передавальних і приймальних приладів, самих рейкових кіл, локомотивних приймачів, а також зовнішні завади. При значних викривленнях, що перевищують допустимі, передача зазвичай стає нестійкою або в рідкісних випадках повністю порушується. Нестійкість виявляється у вигляді збоїв в прийомі сигналів, що викликають короткочасні проблески білого, жовтого або жовтого вогню з червоним

замість зеленого вогню, тобто тимчасова поява менш дозволяючого вогню або зникнення сигналу на локомотивному світлофорі. Таким чином короткочасні збої і відмови автоматичної локомотивної сигналізації безперервної дії (АЛСН) пов'язані з великою кількістю причин. Спробуємо їх систематизувати і наглядно представити у вигляді рис. 1.10 [83].

Закономірні дестабілізуючі фактори, обумовлені конструктивними особливостями верхньої будови колії та функціональними характеристиками самої системи, можуть привести до перерви в надходженні сигналів і короткочасним проблескам вогнів локомотивного світлофора. Але робота АЛС побудована таким чином, що пристрої розпізнають новий електричний сигнал не раніше, ніж через 5-6 с (час уповільнення на відпускання реле відповідності (СР)), що в більшості випадків дозволяє захистити систему від збоїв. Крім того, існують деякі заходи попередження:

- прискорена і попередня посилка сигналів в рейкові кола, декодування дешифратором сигналу жовтого вогню з червоним після другого надходження, суміщення початку шайб в трансмітері;

- фіксація дешифратором сигналів зеленого вогню з зайвим імпульсом протягом часу уповільнення реле контролю надходження кодових комбінацій (ПКР), застосування на станціях кодових трансмітерів з меншою тривалістю кодових комбінацій – 1,6 с, розташування ізолюючих стиків в перехідних кривих стрілочних переводів, а не по головній колії [24].

Зовнішній вплив, в свою чергу, розрізняють за характером впливу. З усього його різноманіття на передачу сигналів локомотивної сигналізації, в першу чергу, впливають імпульсні і гармонічні завади.

Імпульсні завади складаються з коротких імпульсів струму, що наводяться в приймальних котушках локомотива. Вони мають довільну форму і момент їх появи, амплітуда і тривалість носять абсолютно спорадичний характер [20, 22, 23]. Неможливо визначити, як часто імпульси будуть слідувати один за одним, немає закономірності в їх інтенсивності, формі і тривалості (рис. 1.11). Дія імпульсних завад на електричні сигнали локомотивної сигналізації може призводити до кількісних

помилки (в числі прийнятих імпульсів) і якісного спотворення імпульсів. Характер цих завад залежить від їх джерел. Основними джерелами імпульсних завад в системі передачі електричних сигналів повідомлень на локомотиви, як показала багаторічна практика, є самі локомотиви. Причинами, що викликають імпульсні завади, зазвичай є комутаційні процеси при струмозніманні, а також в колекторах машин, перетворювальних установках та інших елементах електричної схеми локомотива. Також імпульсні завади виникають, як правило, в результаті різких змін значень тягового струму в рейках, на локомотиві, а також намагніченості рейок.

До джерел гармонійних завад відносяться: тяговий змінний струм промислової частоти, гармоніки постійного тягового струму, струми рейкових кіл з відмінною сигнальною частотою, струми ліній електропередачі, що індуктивно впливають на рейкові кола та ін. У появі гармонійних завад визначається певна закономірність, тому захист від них часто побудований на частотній селекції із застосуванням електричних фільтрів, що попереджають вплив коливань з частотою, відмінною від частоти сигнального струму локомотивної сигналізації на приймальні пристрої.

Окремо треба відмітити причини, що призводять до перерви в надходженні сигналів АЛС:

- відсутність сигнального струму між точками з'єднання дросельних перемичок з рейками або перемичок з кабельними стійками та ізолюючими стиками в той момент, коли над ними проходять приймальні котушки (близько 1 м);
- недостатній струм локомотивної сигналізації в рейковому колі до шунтування її першою колісною парою;
- зміна фази струму локомотивної сигналізації в суміжних рейкових колах;
- затримка прийому сигналів на час автоматичного відновлення чутливості підсилювача до номінальної після прийому в кінці попереднього рейкового кола сигналів при більшому струмі;
- затримка посилки електричних сигналів після вступу локомотива на рейкові кола, що працюють без попереднього включення кодування.

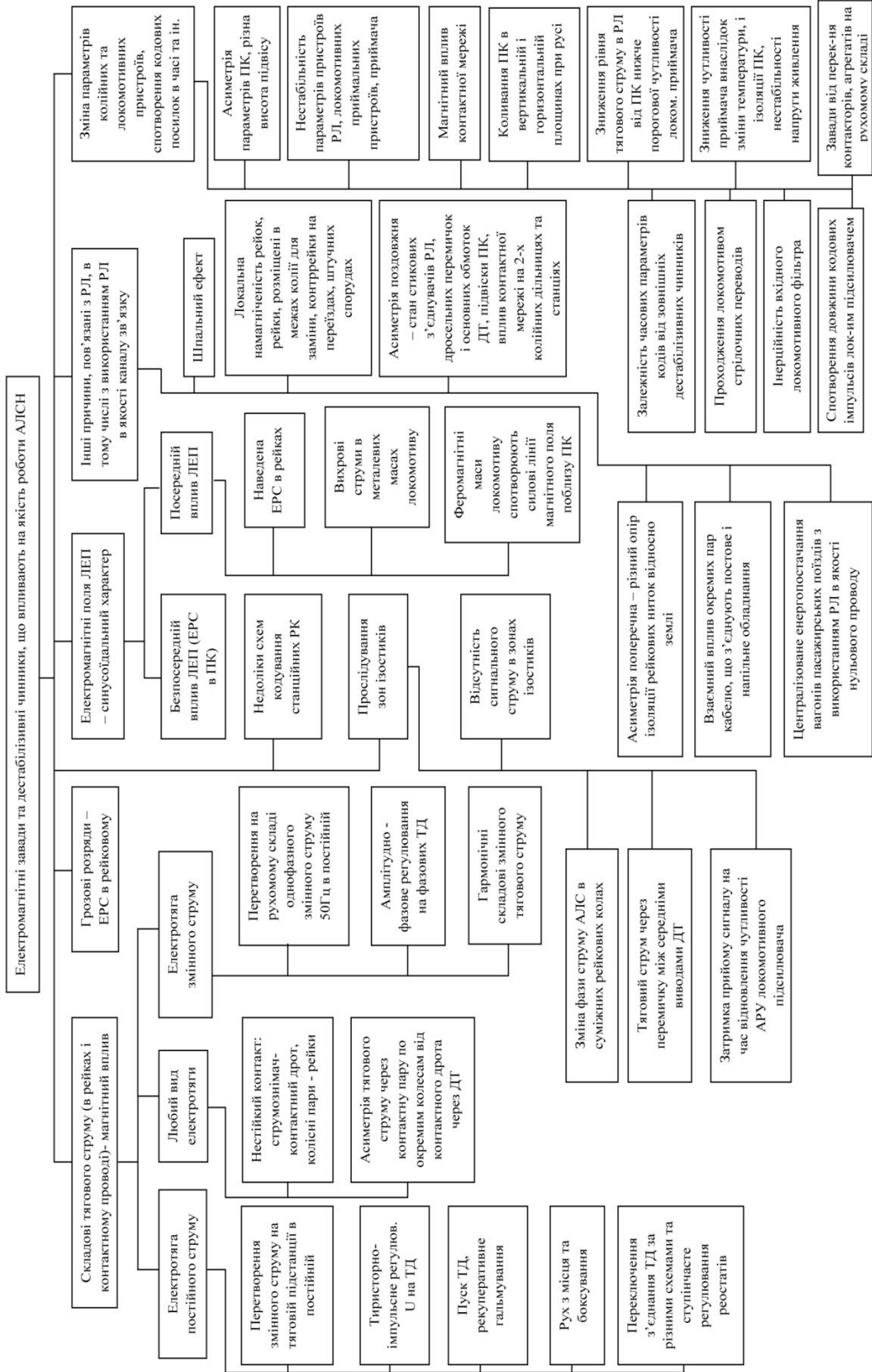


Рисунок 1.10 – Класифікація основних причин виникнення збоїв і відмов в роботі АЛС

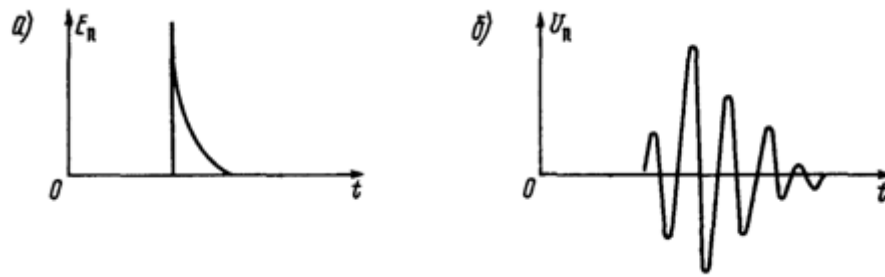


Рисунок 1.11 – Форма імпульсних завад: а) в котушках АЛС; б) на виході фільтра

1.5 Аналіз причин виникнення завад в роботі АЛС

1.5.1 Вплив рейкових кіл

Часті відмови рейкових кіл безпосередньо впливають на роботу АЛС. Причиною цього є цілий ряд факторів, пов'язаних з фізичними властивостями елементів рейкових кіл (РК) і їх взаємодією з приймальними котушками [83, 84]. До них відносяться: забруднення баласту в результаті втрат перевезеного в вагонах струмопровідного вантажу (наприклад, вугілля, сіль і т.і.), обриви шунтуючих з'єднань (шунта) на стиках, несправність ізолюючих стиків, нелінійність узгоджувальних колійних трансформаторів, намагніченість елементів верхньої будови колії, окислення контактів колійних трансформаторів, асиметрія опору рейкових ниток [85].

Найпоширенішими причинами виникнення збоїв АЛС з причини впливу рейкових кіл є *несправність ізолюючих стиків*. Однією з основних причин відмови ізолюючих стиків є закорочення стику металевою стружкою унаслідок дії магнітного поля, що створюється намагніченими торцями рейок, розділених ізолюючим стиком. Ще однією вагомою причиною збоїв АЛС, що носить масовий характер, є відсутність або *несправність рейкових стикових з'єднувачів*, а також втрата електричного контакту в з'єднаннях штепсель – рейка перемичок рейкових кіл. Основними причинами, що призводять до відмов стикових з'єднувачів всіх типів, є їх пошкодження при колійних роботах, корозія і неякісне приварювання [84].

Для того, щоб забезпечити стабільну роботу рейкових кіл і АЛС працівниками господарства сигналізації, централізації і блокування допускаються випадки

збільшення величини живлячої напруги в рейковому колі. Хоча збільшення напруги неминуче спричиняє за собою перевищення норми струму кодування, який у свою чергу є причиною підгоряння контактів трансмітерних реле і виходу їх з ладу [85]. Тому причинами збоїв АЛС нерідко стають *несправності апаратури РК*, а саме приладів кодування, зокрема кодового колійного трансмітера КПТШ і трансмітерних реле ТШ. Ефективним вирішенням проблеми електромеханічних приладів в сучасних умовах на мережі доріг Укрзалізниці – є заміна їх на безконтактні електронні прилади (БКТ, БКПТ).

Також на роботу пристроїв АЛС істотно впливає *асиметрія опору РК*. Асиметрія опору рейкових ниток може з'являтися через відсутність або поганий стан стикових з'єднувачів і зміну опору стиків. Асиметрія опору ниток по відношенню до землі створюється головним чином через приєднання металевих опор контактної мережі та інших металевих конструкцій, розташованих поблизу колії, до однієї з рейок. Найбільша асиметрія опору рейкових ниток по відношенню до землі з'являється при низькій провідності ізоляції (взимку), коли заземлена нитка має високу провідність ізоляції, а інша – низьку (від 0,02 до 0,033 Сим/км). У цьому випадку струм проходить від передавача до приймача через рейки і заземлення контактних опор, минаючи місце обриву нитки, що може привести при несприятливих поєднаннях параметрів до значного зниження чутливості кола або пошкодження рейки і шунта [86-88].

Необхідно також відзначити, що свого часу була допущена стратегічна помилка – *перехід на кодування рейкових кіл частотою 25 Гц*. В результаті господарство автоматики і телемеханіки не може справитися з лавиною збоїв кодів АЛС, обумовлених асиметрією зворотнього тягового струму в рейкових колах і наявності опор контактної мережі із заниженим опором ізоляції, слідством чого є значні струми витоку на землю. Всі такі збої кодів АЛС, що повторюються, поповнюють список збоїв в графі «причина не з'ясована» [16, 24-26].

1.5.2 Вплив намагніченості рейкових кіл

Однією з причин збоїв в роботі АЛС на ділянках автоблокування з рейковими колами частотою 25 Гц є *нерівномірна намагніченість рейок* з об'ємним загартуванням, що при транспортуванні на рейкопрокатних заводах намагнічуються після роботи електробаластера, та накладки, які вантажили за допомогою електромагнітів [89]. Якщо швидкість руху понад 80 км/год, то частота цих завод знаходиться в межах смуги пропускання каналу 25 Гц. Природно, що таке ритмічне і часте проходження завод веде до чисельного спотворення електричних сигналів, збоїв їх прийому з появою білого вогню, не виключаючи можливості появи інших вогнів, які не відповідають сигналам в рейках. Найбільш поширеним видом впливу, що заважає, викликаним нерівномірною залишковою намагніченістю, є імітація коду ЧЖ за наявності певного співвідношення між швидкістю проходження локомотива і відстанню між точками рейок, в яких змінюється полярність магнітного поля. Крім того прийняття завод локомотивними котушками відбувається в моменти прийому кодових імпульсів або інтервалів, що в свою чергу викликає "засмічення" інтервалів і збої в роботі АЛС [90]. Треба відмітити, що велика кількість збоїв АЛС з цієї причини також відбувається: на ділянках укладання 800-метрових рейок після завершення робіт колійної машини, коли зварюють стики без розмагнічування цієї зони; при порушеннях однорідності укладання шпал – наявність декількох дерев'яних шпал в колії із залізобетонними шпалами; внаслідок намагніченості на мостах, де рейки покладені в колії, місці розташування магнітних педаль КТСМ, а також в зоні жолобів переїзних настилів. Існує метод розмагнічування рейок з об'ємним загартуванням. Для цього виконують магнітну обробку колії, при якій згладжування пучків намагнічування відбувається за допомогою електромагнітів вагона-дефектоскопа. Хоча інколи після роботи вагона-дефектоскопа відзначається також збій кодів – нерівномірно підвищується амплітуда впливаючого сигналу магнітного поля [18-22].

Крім того заважаючий вплив часто виявляють в горловинах станції, де на стрілочних переводах створюються завади в зв'язку з нерівномірністю магнітних

гостряків і хрестовин або має місце неоднорідна намагніченість станційних рейкових ниток із пучинним сплеском на кінцях рейок (найбільш виражено ця причина проявляється при установці полімерних ізостиків та швидкостях 80 км/год і більше), одиночні спорадичні імпульсні завади, пов'язані з короткочасною втратою шунтової чутливості, стрибками напруги, які самі по собі не небезпечні і практично не призводять до збоїв, але при збігу з вищевказаними причинами обтяжують їхні негативні наслідки. Завади в каналі АЛС, що пов'язані з проходженням поїздом горловин станцій, практично "не існували" і не викликали занепокоєння при незначних швидкостях руху (до 70-80 км/год), але зі зростанням швидкості руху поїздів (100 км/год і вище) в окремих місцях колійного розвитку вони динамічно збільшуються за рахунок порушення в РК умов квазістаціонарності струмів і магнітного поля. При цьому зростає ЕРС завади, яка індукується в приймальних котушках, при незмінному значенні ЕРС корисного сигналу, обумовленого величиною струму АЛС, що протікає в рейках [91, 92]. Найбільша кількість збоїв припадає на станційні рейкові кола довжиною від 60 до 200 м, які на швидкостях 60-140 км/год створюють імпульсні завади з часовими характеристиками, що лежать у діапазоні кодів АЛСН. Асиметрія тягового струму є негативним чинником для декодування кодів АЛСН при будь-яких швидкостях руху, але в сукупності з імпульсними завадами, що з'являються в станційних рейкових колах, призводить до більшої кількості збоїв у роботі локомотивних пристроїв АЛСН, особливо в умовах підвищення швидкості руху поїздів.

1.5.3 Вплив великовагових поїздів

Інтенсивність збоїв АЛС вище на ділянках, де обертаються великовагові поїзди, особливо на гірських ділянках, тобто при підвищених тягових струмах в рейковій тяговій мережі [93, 94]. Вважається, що тональні рейкові кола краще захищені від впливу гармонік тягового струму. Однак при випробуваннях електровозів змінного струму ВЛ80ТК і 2ЕС5К рівень завад на частотах 4545 і 5555 Гц в зворотньому тяговому струмі перевищував допустимі межі для рейкових кіл ТРЦ4. Ці струми є одним з головних джерел завад, які впливають на рейкові кола та пристрої

автоматичної локомотивної сигналізації (АЛС). Тому необхідна модернізація захисних фільтрів або розробка нових, більш ефективно послаблюючих гармоніки змінного тягового струму.

З ростом величини тягового струму збільшується абсолютне значення різниці тягових струмів в рейкових нитках під котушками АЛС (асиметрія тягового струму) при однаковій якості експлуатації рейкової лінії. В результаті рівень завад в приймачах АЛС, прямо пропорційний величині асиметрії тягового струму, істотно підвищується. При русі великовагових і швидкісних поїздів сильніше спотворюється і синусоїдальність тягового струму, тобто зростає частка вищих гармонік в тяговому струмі. Отже, збільшується заважаючий вплив відразу двох факторів. При великих змінних тягових струмів додатково з'являються завади від непарних гармонік сигнального струму 25 Гц через насичення сердечників дросель-трансформаторів.

1.5.4 Вплив параметрів приймальних котушок

При аналізі параметрів приймальних котушок виявляються характерні відступи від норм утримання: різниця в наведеній ЕРС вище або нижче норми, активний опір приймальних котушок вище норми, індуктивність та добротність приймальних котушок нижче норми. Усі перераховані недоліки в утриманні приймальних котушок при звичайних швидкостях руху безумовно позначаються на якості роботи АЛСН, але із зростанням швидкостей це вже стає серйозною завадою в нормальній роботі [56]. Оскільки із зростанням швидкостей збільшуються поздовжні й поперечні коливання кузова локомотива щодо осі колії, крім того, зростають і вертикальні коливання [95]. Це призводить до зсуву котушок щодо осі протікання сигнального струму і, як наслідок, до порушення взаємної індуктивності між рейками та приймальними котушками локомотива. Збільшення висоти підвісу котушок одночасно знижує вплив вертикальних і горизонтальних коливань кузова локомотива на якість прийому сигналів. При даному способі з'являється ще один позитивний момент – спектр завади зміщується в низькочастотну область, що дозволяє підвищити швидкість руху при тій же якості прийому. Однак це зажадає

коригування норм на порогові чутливості приймачів в сторону їх зниження. Зміна конструкції приймальних котушок і введення додаткових елементів, що вирівнюють повздовжню складову магнітного поля поблизу сердечника приймальної котушки, так само дозволить поліпшити співвідношення сигнал/завада, особливо при високих швидкостях руху. І, нарешті, перехід на частотний канал 75 Гц, який дозволить практично повністю виключити вплив даного виду завад. Хоча, розглядаючи дану тенденцію, слід мати на увазі, що крім магнітних полів, створюваних струмом в рейках і намагніченими ділянками колії, на приймальні котушки і їх вихідні кабелі впливають електромагнітні завади від зовнішніх промислових джерел і струмів, що протікають по кузову локомотива. Як правило, їх рівень мало залежить від висоти підвісу котушок. Саме ці завади, а також конструктивні особливості конкретного локомотива обмежують допустиму висоту підвісу приймальних котушок, яка забезпечує необхідне співвідношення сигнал/завада.

1.5.5 Вплив тягового струму

В рейкових колах, при електричній тязі, відбувається модуляція сигнального струму тяговим. Це пояснює, чому збільшення сигнального струму не завжди дає позитивний ефект, а в деяких випадках може призводити до збільшення кількості збоїв АЛС [86]. Через підвищення тягового струму в рейкових лініях зростає абсолютне значення його асиметрії під приймальними котушками АЛС і в секціях основних обмоток дросель-трансформаторів ДТ-1 -150 і ДТ-1 -300. В результаті збільшується насичення сердечників цих дросель-трансформаторів, що додатково спотворює синусоїдальність тягового струму промислової частоти з непарними гармоніками і струму несучої частоти сигналів рейкових кіл і АЛС. Важливими чинниками, що впливають на асиметрію тягового струму, є обриви межстиківих з'єднувачів і підключення до однієї рейкової нитки ліній заземлення опор, щогл світлофорів та інших металевих споруд [96]. Необхідно відзначити, що з появою більш потужних локомотивів та електропоїздів зростає необхідність більш якісної перевірки і посилення норм на величини асиметрії рейкової лінії. Аналіз особливостей індуктивного впливу зворотніх тягових струмів на котушки АЛС

показав, що при русі електровозів в кривих додатково виникає асиметрія магнітної індукції. В результаті збільшується різниця ЕРС завад, створюваних в приймальних локомотивних котушках АЛС зворотними тяговими струмами, що протікають по рейковим лініям. Найбільш сильному впливу схильні рейкові кола автоблокування і приймальні пристрої АЛС в районі тягових підстанцій. По мірі віддалення від тягової підстанції і від навантаження (електровоза) струм в рейках експоненціально знижується. Захист приймальних пристроїв автоблокування і АЛС від гармонійних складових тягового струму у вигляді синусоїдальних коливань з ustalеними значеннями частоти і амплітуди здійснюється вибором відповідних характеристик загасання електричних фільтрів.

Крім зазначених вище гармонійних завад, локомотивні приймальні пристрої схильні до впливу імпульсних завад тягового струму, від яких захистити приймальні пристрої електричними фільтрами неможливо, так як при цьому в фільтрі виникають вільні коливання, що збігаються з частотою сигналу. Найбільший заважаючий вплив на приймальні пристрої АЛС викликають імпульсні завади, що виникають від перерозподілу тягового струму в ходових частинах локомотива і рейках та процеси комутації тягового струму при зніманні його з контактного проводу та рейок під час руху локомотива при наявності несиметричності опору в рейках або у приймальних котушках. Стрибкоподібний перерозподіл тягового струму між різними ходовими частинами електровоза і рейками, а також стрибки тягового струму через неякісне струмознімання струмоприймачем надають ударні впливи на вхід приймача АЛС. Захист від безперервних і імпульсних завад тягового струму здійснюється раціональним вибором частоти сигнального струму і його рівня, введенням пристроїв часової і частотної селекції, раціональною побудовою схеми приймача і іншими методами. При цьому є багато досліджень, результати яких показують, що найбільш захищеним для даного типу завад є канал 75 Гц. Але вибір ефективного способу боротьби з імпульсними завадами необхідно робити на підставі аналізу їх характеристик, які визначаються при дослідженнях в тих конкретних умовах, в яких відбувається передача сигналів [99].

1.5.6 Вплив роботи дрезини

Нерідко збої кодів АЛС на ділянках, оснащених автоблокуванням з тональними рейковими колами, відбуваються після технологічних вікон або робіт з обслуговування перегінних пристроїв залізничної автоматики з використанням дрезини [24-26]. Як правило, в таких випадках дрезина переміщується по перегону то в одному, то в іншому напрямку, тобто заняття рейкових кіл відбувається не послідовно. В результаті такого хаотичного руху порушується нормальна робота «Схеми від втрати шунта короткої рухомої одиниці» так званої схеми підрахунку, що в кінцевому підсумку призводить до збоїв кодів АЛС.

1.5.7 Вплив ЛЕП

Характерним недоліком, що постійно має вплив на роботу пристроїв АЛСН, є збій коду в місцях перетину залізничної колії високовольтною лінією електропередачі (ЛЕП). Завади від ЛЕП створюються її магнітним полем і впливають на локомотивні підсилювачі частоти, що нормально працюють від струму 50 Гц. Рівень завад залежить від кута перетину ЛЕП із залізницею, напруги ЛЕП, взаємного розташування проводів і висоти їх підвіски, розподілення навантаження по фазах ЛЕП.

Дослідження показали, що рівень завади визначається в основному непрямим впливом магнітного поля на котушки АЛСН, тобто є наслідком наведення в металевому корпусі локомотива вихрових струмів, магнітне поле яких безпосередньо і впливає на приймальні котушки. Для зменшення рівня завади існують активні і пасивні способи захисту. До активних належать збільшення висоти підвіски і зменшення відстані між проводами ЛЕП в місцях перетину та пристрій спеціальних замкнутих підвішених або укладених на землю шлейфів, в які подається струм частоти 50 Гц, зсунутий по фазі по відношенню до струму наведеної завади. До пасивних методів захисту відносяться компенсація струму завади спеціальним прокладеним на локомотиві контуром і збільшення сигнального струму в районі перетину [97].

1.6 Висновки до першого розділу, постановка мети та задач дослідження

За матеріалами, викладеними у розділі, зробимо такі висновки:

1. Найбільш розповсюджена і використовувана в Україні система інтервального регулювання руху поїздів – автоматична локомотивна сигналізація неперервної дії. Система побудована на електромагнітних реле з використанням числового коду і, незважаючи на ряд модернізацій, має істотні недоліки, що не дозволяють використати її в якості основного засобу регулювання руху на ділянках без прохідних світлофорів та в умовах підвищення швидкості руху поїздів: обмежена інформаційність системи (п'ять сигнальних показань на локомотивному світлофорі); показання локомотивного світлофора, які обмежують допустиму швидкість поїзда без урахування довжини блок-ділянки та гальмівного шляху; низька надійність локомотивних пристроїв з причини імпульсного режиму роботи електромагнітних реле (другого класу надійності), а також внаслідок впливу вібрацій та коливання напруги; застосування числового коду, що може мати значні зміни тривалості імпульсів і пауз, що призводить до появи збоїв та відмов у роботі системи; неможливість застосування на ділянках з підвищеними швидкостями рухом поїздів через низьку завадозахищеність та необхідність розширення значності локомотивної сигналізації, оскільки зростає гальмівний шлях і необхідно передавати інформацію про наближення потягів не за два, а за три або чотири блок-ділянки;

2. Статистика відмов всіх пристроїв залізничної автоматики, серед якої окремо проведено аналіз причин відмов та збоїв у роботі АЛС, показала, що система АЛС відноситься до числа найбільш вразливих до зовнішніх несприятливих факторів. Середня кількість транспортних подій, які відбуваються щороку на всіх залізницях України, становить близько 10 інцидентів. При цьому 60-80% інцидентів відбувається з вини дистанцій сигналізації та зв'язку. Головною причиною цього залишається порушення технології виконання робіт. Аналіз кількості відмов пристроїв СЦБ показав тенденцію до зростання. Основними об'єктами відмов найчастіше (у 36% випадків) стає елементна база систем СЦБ (реле, трансмітери, конденсатори і т.і.). При цьому потрібно зауважити, що серед головних причин

відмов так само виділяються експлуатаційні (85,3%), а саме неякісне виконання робіт при технічному обслуговуванні та зношеність апаратури. Враховуючи, що елементна база пристроїв СЦБ в багатьох випадках є передавальною апаратурою кодів АЛС на локомотив, то можна зробити висновок, що неякісне виконання робіт технічного персоналу негативно впливає на безперебійність роботи АЛС в цілому.

3. Аналіз роботи систем АЛС на залізницях України показав, що кількість порушень дії пристроїв, що призвели до вимкнення АЛС під час прямування поїздів, впродовж дослідних п'яти років залишається стабільно високою. Основними об'єктами, що призвели до цього, є несправність дешифраторів, підсилювачів і локомотивних фільтрів, а основною причиною залишається зношеність апаратури. При цьому кількість збоїв у роботі АЛС значно більша у порівнянні з кількістю відмов, а зі збільшенням швидкості руху поїздів спостерігається тенденція до зростання кількості збоїв у роботі системи. Це обумовлено наявністю великої кількості завад, що впливають на передавальну та приймальну апаратуру АЛС.

4. Проведена класифікація та аналіз причин виникнення відмов і збоїв в роботі АЛС і визначено фактори, що призводять до появи завад в роботі системи, а також способи та методи захисту від них. Збої, викликані впливом ЛЕП, постійно повторюються серед тих, що віднесені за службою сигналізації та зв'язку. Існуючі способи захисту не здатні повністю нівелювати негативний вплив ЛЕП на роботу АЛС.

5. Надійність та завадостійкість роботи АЛС в розглянутих умовах можливо підвищити шляхом своєчасного визначення проблемних місць на етапі зародження умов для порушення роботи сигналізації та впровадження розробок, що автоматизують процес регулювання та обслуговування системи, а також завдяки зменшенню наведень по спектру частот за рахунок розробки нових і модернізації тих, що знаходяться в експлуатації, локомотивних фільтрів.

Метою даної роботи є вирішення наукового завдання удосконалення технології обслуговування автоматичної локомотивної сигналізації.

Для досягнення цієї мети необхідно виконати наступні задачі:

- провести аналіз причин виникнення збоїв та відмов у роботі автоматичної локомотивної сигналізації;
- розглянути вплив ліній електропередач на роботу АЛС та запропонувати ефективний метод захисту від нього;
- розробити комплексну математичну модель каналу зв'язку між рейковим колом та вхідними пристроями АЛСН для експериментального дослідження роботи системи в умовах завад;
- розробити та науково обґрунтувати метод моніторингу сигнального струму з використанням спектрального вейвлет-аналізу для виявлення дефектів кодового струму АЛС;
- розробити метод автоматизації періодичного контролю працездатності локомотивних пристроїв АЛС на контрольному пункті;
- розробити дослідний зразок пристрою для періодичного контролю працездатності локомотивних пристроїв АЛС на контрольному пункті.

РОЗДІЛ 2

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ АВТОМАТИЧНОЇ ЛОКОМОТИВНОЇ СИГНАЛІЗАЦІЇ В УМОВАХ ЗАВАД. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ КАНАЛУ ЗВ'ЯЗКУ МІЖ РЕЙКОВИМ КОЛОМ ТА ВХІДНИМИ ПРИСТРОЯМИ АЛСН

2.1 Вплив ліній електропередач на роботу системи АЛС та способи захисту від нього

В процесі експлуатації на роботу АЛС впливає велика кількість дестабілізуючих факторів [8-26]. Підсумовуючи результати аналізу, що наведений в першому розділі, можна зробити висновок, що однією з найбільш поширених причин виникнення збоїв у роботі АЛС є електромагнітні завади. Серед яких окреме місце посідають високовольтні лінії електропередачі (ЛЕП), що перетинають залізничну колію, у зв'язку з відсутністю можливості уникнути дані ділянки колії електрорухомим складом. Тому постає вагома проблема захисту від цього виду завад [98].

Ступінь впливу ЛЕП на приймальні пристрої АЛС залежить від безлічі факторів [99]. До найбільш важливих з них відносяться: кут перетину ЛЕП з залізничною лінією, тип підвіски проводів на опорі, фазові струми і їх асиметрія, асиметрія приймальних котушок локомотива по відношенню до проводів впливаючої лінії та ін. Завади від ЛЕП проявляються в місцях зближення ЛЕП із залізницею у вигляді перетинів або взаємного паралельного розташування і мають синусоїдальний характер [100]. Зона заважаючого впливу невелика (приблизно 30 – 40 м по кожному сторону від осі ЛЕП). Однак на ряді доріг збої в районі перетину з ЛЕП значні (до 50% всіх збоїв АЛС). Лінії, які паралельні залізниці, зазвичай малопотужні, тому не вимагають особливих заходів захисту. А ось лінії, що перетинають під різним кутом колію, мають вирішальне значення на приймальну систему АЛС (рис. 2.1) [101, 102].

Заважаюча дія завад, створюваних ЛЕП, проявляється в разі прийому кодових сигналів і особливо в інтервалах між ними і спостерігається на всіх ділянках, де для

кодування використовується сигнальна частота 50 Гц [98]. З усіх різновидів найбільш часто використовуються ЛЕП з напругою 110 кВ, 220 кВ, 330 кВ і 750 кВ. Лінії електропередачі напругою 500 кВ і вище, що мають струми, які перевищують 600 А, і характерні несиметричності через великі відстані між фазними проводами і зростаючі струми навантаження, мають найбільший заважаючий вплив. Максимальна ЕРС завади, що наводиться ЛЕП в приймальних котушках, може, як показали вимірювання, досягати 800 мВ, що еквівалентно заважаючому струму приблизно 5,5 А в рейках. ЛЕП-220 кВ (струм до 500 А) з вертикальним розташуванням проводів більш симетричні і створюють значно менші завади в приймальних котушках. ЕРС, що наводиться в приймальних котушках, в першому випадку становить 400-500 мВ, а при вертикальному розміщенні 135-165 мВ. Інші ЛЕП зазвичай не надають відчутного впливу. Для визначення заходів захисту зручно ЕРС, наведену ЛЕП в приймальних котушках, представляти в формі еквівалентного струму в рейках (1 А наводить в котушках 165 мВ): при ЛЕП 220 кВ – 1,5-2,5 А, при 330 кВ – 2-3 А, при 500 кВ – 3,5-5 А, 750 кВ – 4-6 А [56, 99, 101].



Рисунок 2.1 – Місце перетину залізничної колії ЛЕП

Також треба враховувати правила безпечної експлуатації та улаштування електроустановок України, які регламентують норми перетину залізничних колій (пункт 2.5.207-2.5.211) [103-105]:

- кут перетину високовольтної лінії (ВЛ) з електрифікованими або такими, що підлягають електрифікації залізницями, а також кут перетину ВЛ 750 кВ із залізничними шляхами загального користування має становити приблизно 90° , але не менше 40° ;

- для неелектрифікованих залізниць відстань від проводу до головки рейки в нормальному режимі ВЛ по вертикалі має бути не менше 7,5 м – 20 м при напрузі 110 кВ – 750 кВ відповідно;

- проліт перетинання із залізницею обмежується анкерними опорами (рис. 2.2).

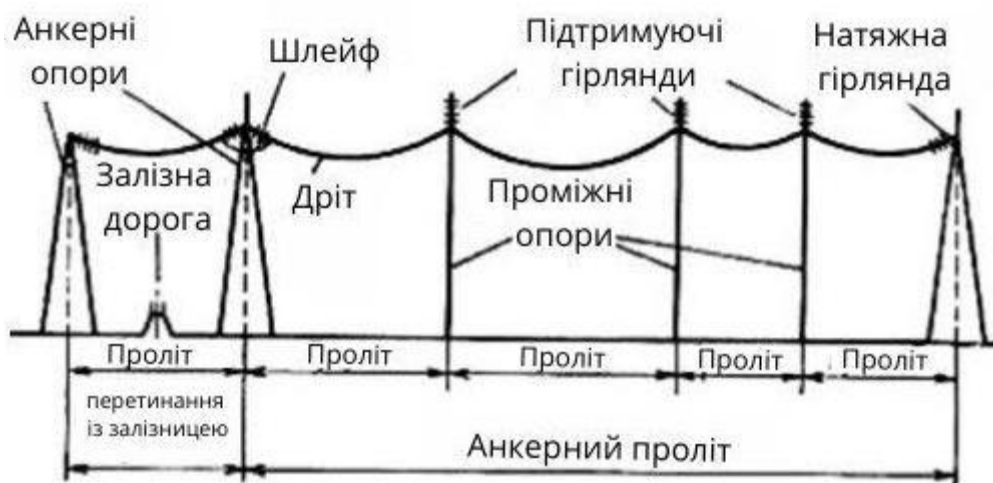


Рисунок 2.2. – Схема перетину прольоту ЛЕП із залізницею

Ступінь впливу ЛЕП на локомотивні приймальні котушки визначається несиметричністю приймальних котушок по відношенню до дротів лінії. Вплив ЛЕП на локомотивні приймальні котушки визначається безпосереднім впливом електромагнітного поля ЛЕП і близьким розташуванням електромагнітних мас (рама, візки, корпус і т. і.). Вплив феромагнітних мас при цьому проявляється двояко: у металевих масах під дією струмів ЛЕП виникають вихрові струми, які наводять в приймальних котушках ЕРС завади; феромагнітні маси спотворюють силові лінії поля поблизу приймальних котушок, і в котушках наводяться завади. Необхідні ефективні заходи захисту для зменшення рівня завад від ЛЕП. Певною мірою такий захист забезпечується ефективністю автоматичного регулювання посилення (АРУ) [54, 55]. Існують також інші способи захисту: збільшення висоти підвіски і зменшення відстані між проводами ЛЕП в місцях перетину, пристрій

спеціальних замкнутих підвішених або покладених на землю шлейфів, в які подається струм частоти 50 Гц, зрушений по фазі по відношенню до струму наведеної завади, компенсація струму завади спеціальним прокладеним на локомотиві контуром і збільшення сигнального струму в районі перетину [56], також розроблено багато захисних пристроїв від впливу ЛЕП, на які отримані відповідні патенти [106]. Так як вплив ЛЕП можна умовно розділити на прямий і непрямий, то необхідно враховувати, що більшість способів захисту нівелюють прямий вплив магнітного поля ЛЕП на котушки АЛС. А дослідження показують, що рівень завади визначається в основному непрямим впливом, тобто є наслідком наведення в електромагнітних масах локомотива вихрових струмів, магнітне поле яких безпосередньо і впливає на приймальні котушки.

Для того щоб визначитися з найбільш ефективним способом захисту, проведемо дослідження та аналіз роботи і функціонування системи автоматичної локомотивної сигналізації в умовах впливу ЛЕП в реальних умовах експлуатації.

2.2 Дослідження впливу ліній електропередач 750 кВ на роботу системи АЛСН в реальних умовах

Особливе місце займає проблема захисту від впливу лінії електропередачі на ділянках з електричною тягою постійного струму та автономною тягою, коли пристрої локомотивної сигналізації працюють на частоті 50 Гц, і тому методи частотного розділення сигналу і гармонійної завади не застосовуються [46-48, 56].

Були проведені дослідження впливу ЛЕП 750 кВ на АЛСН в місцях косоного перетину залізничних колій, де присутня автономна тяга та електротяга постійного струму. Виміри проводилися як засобами вагон-лабораторії, так і безпосередньо на рейкових лініях. У процесі досліджень вимірювалась напруженість електричного поля в діапазоні промислової частоти безпосередньо під ЛЕП і по мірі віддалення від неї по залізничній колії, а також тимчасові залежності кодів АЛСН з частотою сигнального струму 50 Гц безпосередньо під ЛЕП і на віддаленні від неї у відсутності поїзда і при його проходженні [102].

Практичні дослідження впливу ЛЕП проводилися на ділянці перетину з ЛЕП 750 кВ на перегоні Пришиб-Бурчацьк в Запорізькій області, Україна (рис. 2.3) [98]. Цей перегін електрифіковано на постійному струмі, вимірювання проводилися системою «Контроль» на базі вагона-лабораторії служби сигналізації та зв'язку Придніпровської залізниці.



Рисунок 2.3 – Перегін Пришиб-Бурчацьк

Розглянемо отримані результати експериментальних досліджень кодів автоматичної локомотивної сигналізації в рейкових колах, що знаходяться під впливом лінії електропередачі. Результати вимірювань сигнального струму коду зеленого вогню (З) вагоном-лабораторією служби сигналізації та зв'язку Придніпровської залізниці представлені на рис. 2.4.

Як показано на амплітудно-часовій залежності, завади в котушках, наведені ЛЕП 750 кВ, настільки сильні, що неможливо розрізнити наявність коду. Завади заповнюють короткі паузи, довгий інтервал між кодами, накладаються на імпульси коду. Величина найбільшої завади досягає понад 1 В, що приблизно еквівалентно заважаючому струму в рейках величиною 6 А.

Результати вимірювань сигнального струму коду жовтого вогню (Ж) вагоном-лабораторією представлені на рис. 2.5.

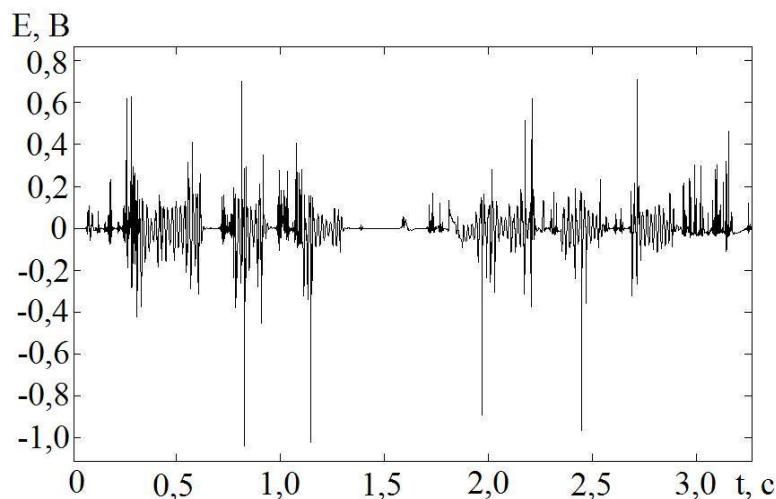


Рисунок 2.4 – Сигнальний струм коду З

На амплітудно-часовій залежності видно, що завади в локомотивних котушках спотворюють поспіль три цикли коду Ж. Величина найбільшої завади досягає близько 1 В, що також приблизно еквівалентно заважаючому струму в рейках величиною 6 А, як і в попередньому вимірі. У цих обох випадках сигнал через АЦП знімався безпосередньо з локомотивних котушок, тому тут ми можемо говорити про прояви як прямого, так і непрямого впливу ЛЕП.

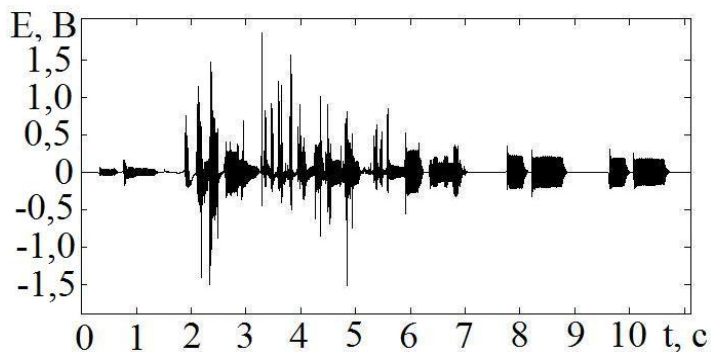


Рисунок 2.5 – Сигнальний струм коду Ж

Також практичні дослідження проводилися на ділянці перетину з ЛЕП 750 кВ на перегоні Привільне-Єлізарове Придніпровської залізниці (рис. 2.6).

Цей перегін обладнаний безстиківими рейковими колами з автономною тягою. Довжина рейкового кола між сигнальною точкою 1 і 18, де присутня ділянка перетину з ЛЕП, 839 м. Для дослідження використовувалися наступні прилади: вимірювач рівнів електромагнітних випромінювань ПЗ-41, ампервольтметр Ц-4380 з внутрішнім опором 0,06 Ом та пояс Роговського.



Рисунок 2.6 – Перегін Привільне-Єлізарово

Для вимірювання сигнального струму АЛС в рейках були проаналізовані наступні існуючі методи [107-111]:

1) вимір безперервного струму, що посилається в РК при перевірці замість імпульсного. Для цього необхідно перемичкою зашунтувати контакт трансмітерного реле для тимчасової посліжки безперервного струму;

2) вимір струму в імпульсах. При вимірі шунтують рейкове коло на вхідному кінці ампервольтметром зі спеціальним повідцем, забезпеченим зовнішньою голівкою, або за допомогою амперметра з внутрішнім опором не більше 0,06-0,08 Ом (наприклад Ц-56, Ц-760, Ц-4380, на шкалі 6А);

3) вимір струму в додатковій обмотці дросель-трансформатора. В цьому методі амперметр підключається паралельно цій обмотці без відключення навантаження. В даному випадку амперметр шунтує рейкове коло. Величину струму в рейках можна визначити, помноживши показання приладу на коефіцієнт трансформації. Недоліком цього методу є те, що тут важливу роль відіграє опір амперметра. Рекомендується використовувати амперметр Ц-4380, який має шкалу 0 - 1,5 А з опором 0,32 Ом;

4) вимір струму з шунтуванням рейкового кола випробувальним шунтом. Даний метод застосовується при відсутності амперметра з низьким вхідним опором.

Вимірюється напруга на шунті і ділиться на його опір (0,06 Ом), отримане значення – струм локомотивної сигналізації.

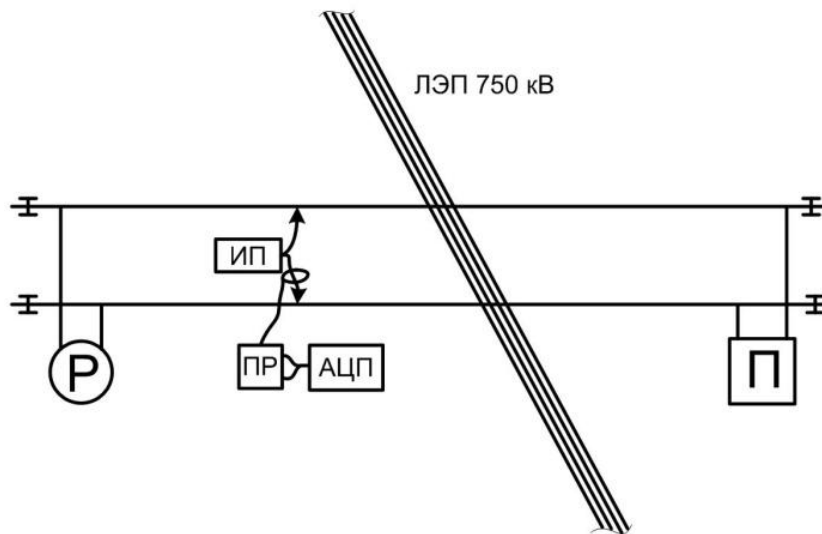


Рисунок 2.7 – Схема підключення для організації вимірювань: ИП – вимірювальний пристрій Ц4380; ПР – пояс Роговського; АЦП – аналого-цифровий перетворювач; Р – релейний кінець рейкового кола; П – живильний кінець рейкового кола.

У дослідженні перегону Привільне-Єлізарове був застосований другий метод з використанням амперметра Ц-4380 з внутрішнім опором 0,06 Ом. За допомогою щупів короткочасно було зашунтуване рейкове коло. На один з щупів був одягнений пояс Роговського, який підключався до аналого-цифрового перетворювача. Схема підключення представлена на рис 2.7. Крім того, так як зона заважаючого впливу ЛЕП приблизно дорівнює 30-40 м, були проведені вимірювання рівня електромагнітного випромінювання за допомогою приладу ПЗ-41 на даній відстані на висоті близько 20 см над рівнем головки рейки (з урахуванням висоти розташування приймальних котушок) і на висоті близько 2,5 м. Результати вимірювань сигнального струму коду Ж представлені на рис. 2.8. Досліджувана ділянка колії, розташована перед предвхідною сигнальною точкою.

Також, як і на рис 2.5, видно, що завади від ЛЕП 750 кВ заповнюють сигнальний код по всій довжині. Але на відміну від попереднього рисунку, величина заважаючого струму в рейках не більше 1 А. При цьому в реальних умовах експлуатації на даній ділянці існує проблема значних збоїв у прийомі коду АЛСН. При вимірах середне

положення стрілки приладу Ц-4380 при сталих коливаннях під дією вимірюваного струму показало силу струму в рейках рівну 8 А. На даній ділянці рівень сигнального струму сильно завищений у зв'язку з необхідністю захисту від завад, що наводяться високовольтними лініями. У цьому випадку ми можемо говорити про дослідження лише прямого впливу ЛЕП, так як значення знімалися безпосередньо з рейкового кола без наявності рухомого складу. Отже, можемо припустити, що значні збої в кодах АЛСН саме на цій ділянці відбуваються скоріше через непрямий вплив ЛЕП на приймальні котушки ніж з причини прямого впливу.

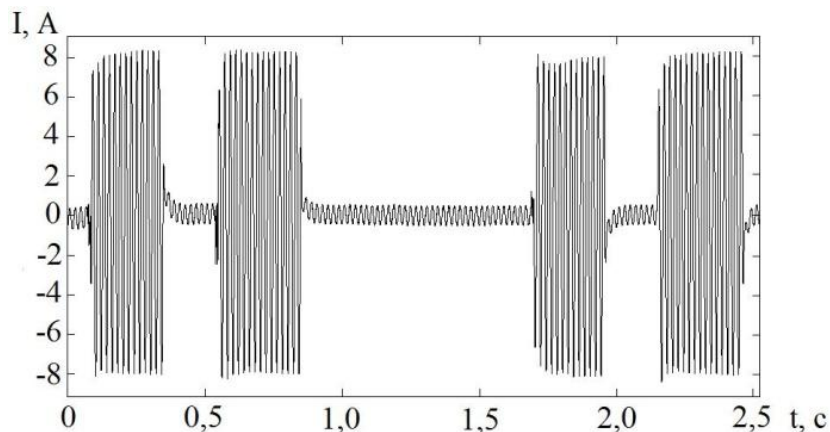


Рисунок 2.8 – Сигнальний струм коду Ж

Результати вимірювань приладом ПЗ-41 представлені в табл. 2.1. Звертає увагу, що напруженість електромагнітного поля на висоті 2,5 м в 2-3 рази більша, ніж на висоті 20 см від рівня головки рейки - висоті підвіски приймальних котушок. Необхідно також врахувати, що саме на цій ділянці рейкового кола були записані вищенаведені коди АЛСН, які значно засмічені. Тому можна зробити висновок, що виміри напруженості електричного поля підтверджують вагомий вплив електромагнітного поля лінії електропередачі на роботу АЛСН на цій ділянці рейкового кола.

На сьогоднішній день, беручи до уваги, наявність значного заважаючого впливу ЛЕП на роботу АЛСН та відсутності дієвих засобів захисту, можна зробити висновок про актуальність продовження вивчення цієї проблеми та необхідність розробки нових методів і засобів захисту. Існує два шляхи вирішення даної проблеми. Перший спосіб є зовнішнім по відношенню до системи і являє собою максимальне вилучення впливу ЛЕП шляхом екранування струмоведучих

елементів, або застосування електричних кіл з протифазними струмами захисту, які протікають в різних контурах з метою зменшення впливу електромагнітних завад ЛЕП на приймальні котушки. Другим способом захисту є внутрішньосистемний спосіб, який полягає в необхідності розробки такого механізму або алгоритму роботи системи, який би забезпечував передачу свідчень світлофорів на локомотив таким чином, щоб навіть малі зміни в формі, амплітуді, тривалості пауз і інтервалів розрізнялися, були виключені і не приводили до збою кодів. При цьому роботу над другим способом захисту вважаю більш перспективним напрямком розвитку системи АЛСН.

Таблиця 2.1 – Напруженість електромагнітного поля в зоні заважаючого впливу ЛЕП

Відстань від нульової точки-проекції на залізничну колію, м	Висота 20 см над рівнем головки рейки, В/м	Висота 2,5 м над рівнем головки рейки, В/м
-30	4,4	7,4
-27	5,3	8,0
-24	5,7	8,3
-21	6,1	8,5
-18	6,7	8,8
-15	8,5	9,6
-12	8,8	12,4
-9	9,9	17,9
-6	11,5	24,8
-3	12,3	27,0
0	12,6	35,0
+3	12,0	26,0
+6	11,7	24,9
+9	9,3	18,2
+12	8,3	13,4
+15	7,2	10,0
+18	6,5	9,1
+21	6,2	8,6
+24	5,4	8,0
+27	4,9	7,8
+30	4,2	7,6
Середня напруженість електромагнітного поля	7,98	14,35

Для виконання цієї роботи є доцільним застосування імітаційного комп'ютерного моделювання з використанням сучасного програмного забезпечення, що дає широкий спектр можливостей щодо математичного моделювання багатьох технічних процесів. Це, в свою чергу, надасть змогу вивчити принцип дії, вплив

зовнішніх факторів і спрогнозувати можливі збої і відмови в роботі АЛСН в лабораторних умовах, а також забезпечить можливість моделювання будь-яких складних ситуацій, що мають вірогідність появи в процесі експлуатації.

2.3 Дослідження роботи системи АЛСН за допомогою математичного моделювання

2.3.1 Загальні аспекти моделювання каналу зв'язку між рейковим колом та вхідними пристроями АЛСН в середовищі Simulink пакету MatLAB

Для моделювання каналу зв'язку між рейковим колом та вхідними пристроями АЛСН був обраний програмний пакет Simulink системи MatLAB з причин цілого ряду переваг [112-117]. По-перше, тому що він є найбільш сучасним програмним комплексом, який призначено для математичного моделювання лінійних і нелінійних динамічних систем та пристроїв. По-друге, Simulink автоматизує наступний, найбільш важкий етап моделювання: складає та вирішує складні системи алгебричних та диференційних рівнянь, що описують задану функціональну модель. По-третє, цінність Simulink полягає також у великій бібліотеці компонентів, яка включає джерела сигналів із практично будь-якими часовими залежностями, масштабуючі лінійні та нелінійні перетворювачі з різноманітними формами передатних характеристик, квантуючі пристрої, інтегруючі та диференціюючі блоки, реєструючі пристрої (від простих вимірювачів типу вольтметра або амперметра до універсальних осцилографів та аналізаторів спектру) тощо.

Сформулюємо основні вимоги до вигляду, функціональності, характеристик та складових, яким мають відповідати імітаційна модель каналу зв'язку між рейковим колом та вхідними пристроями АЛСН:

1. модель каналу зв'язку (КЗ) повинна мати наочний та зрозумілий вигляд, і по можливості найбільш наближено відповідати реальним характеристикам КЗ;
2. модель КЗ повинна бути працездатною при посиленні різних кодів сигнального струму (червоно-жовтого, жовтого, зеленого);

3. модель КЗ має працювати адекватно як при посилці одного коду сигнального струму, так і при зміні кодів, а також бути оснащеною всіма необхідними для фіксації результатів вимірювальними приладами;
4. модель вхідних пристроїв системи (ВхПр) АЛСН повинна містити у собі елементи з якомога найбільш реальними характеристиками і в якості вихідних параметрів моделі повинні бути імпульси сигнального струму з відповідними амплітудою та тривалістю, що відповідають кодам червоно-жовтого вогню, жовтого і зеленого.

Таким чином, проєктована модель КЗ між РК та ВхПр АЛСН, повинна надавати повний об'єм інформації, який необхідний для з'ясування впливу різних видів завад на роботу системи. Для цього необхідно:

- розглянути будову АЛСН і визначитися з параметрами, що має кожен окремий вузол системи [118, 119];
- розглянути особливості каналу передачі сигналу і розрахувати взаємодуктивність між рейками та приймальними котушками [120-127].

Це надасть нам змогу створити математичну модель, яка буде максимально близько відтворювати реальний аналог.

2.3.2 Будова, параметри та функціональні особливості пристроїв системи АЛСН

Усі пристрої, які входять до складу АЛСН можна поділити на колійні (ті, що передають кодовий сигнал) та локомотивні (ті, що сприймають кодовий сигнал). У склад колійних пристроїв входять: схема кодування, кодовий колійний трансмітер (ККТ), трансмітерне реле (Т), що має свій блок-контакт в первинному колі кодового трансформатора (КТ), вторинна обмотка якого підключена до рейкового кола через дросель-трансформатор ДТ1 [118]. Кодовий колійний трансформатор перетворює сигнальні показання колійного світлофора у відповідну комбінацію числового імпульсного коду, який складається з певного числа імпульсів та пауз різної тривалості (рис. 2.9).

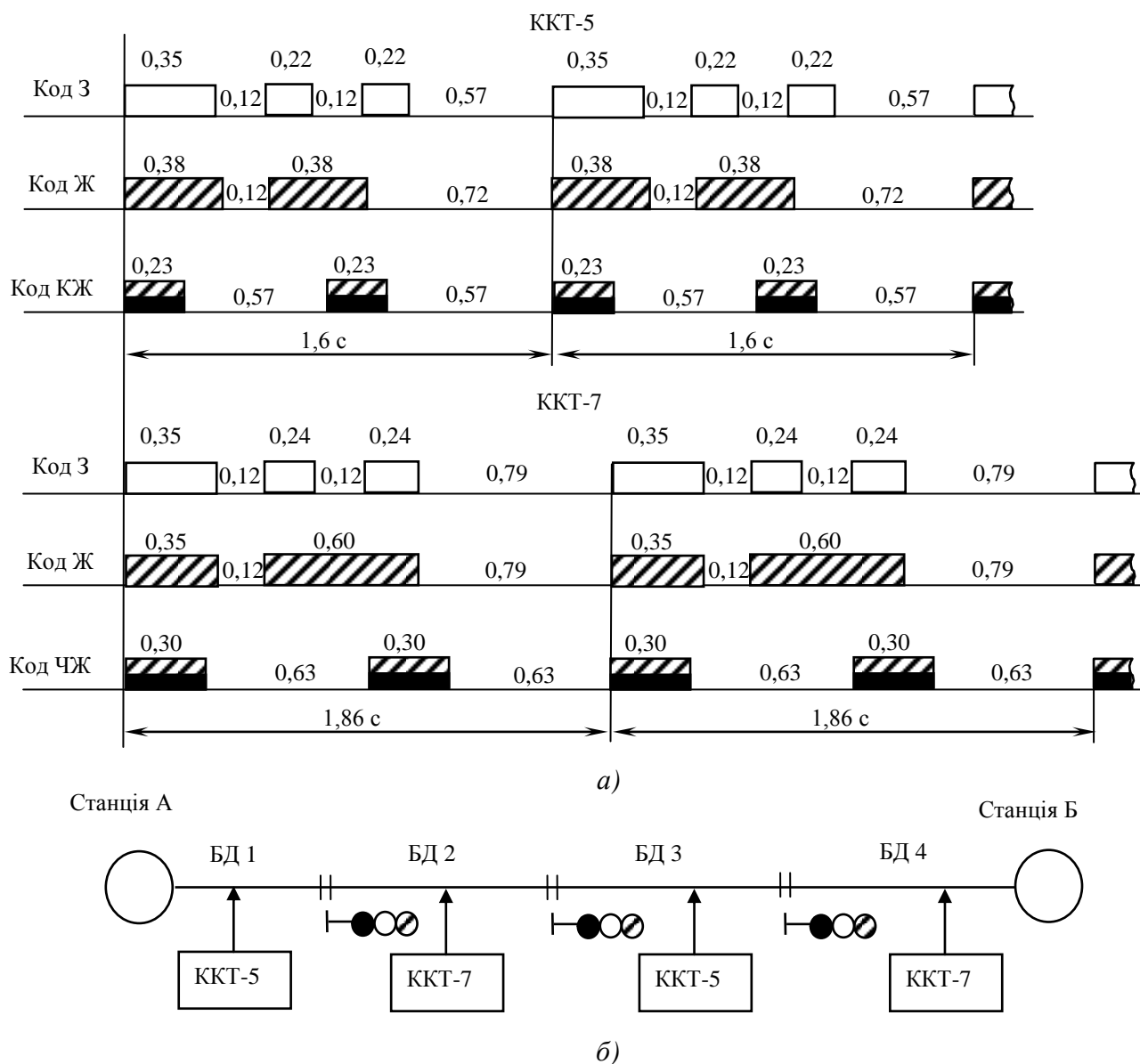


Рисунок 2.9 – Числовий код, що виробляється трансмітерами типів ККТШ-5 і ККТШ-7 та застосовується в АЛСН: а) часові характеристики; б) схема чергування типів ККТ по блок-ділянкам

У склад локомотивних пристроїв АЛСН входять: приймальні котушки (ПК), фільтр (Ф), локомотивний підсилювач (ЛП) з імпульсним реле (ІР), дешифратор (Д), електропневматичний клапан автостопа (ЕПК), локомотивний світлофор (ЛС), локомотивний швидкостемір (ШВМ), рукоятка (кнопка) пильності (РП), кнопка (ВК) для запалювання на локомотивному світлофорі білого вогню замість червоного, а також тумблер (перемикач) (ДЗ) для зміни інтервалу часу періодичної перевірки пильності машиніста [119].

Для передачі повідомлень від колійних пристроїв до локомотивних використовується лінія індуктивного зв'язку, що є сукупністю індуктивно-зв'язаних контурів, в якій один контур є лінією, довжина якої перевищує довжину хвилі струму в ній. Лінія індуктивного зв'язку широко використовується для обміну інформацією між колійними і локомотивними пристроями в системах автоматичної локомотивної сигналізації. В даному випадку вона складається з двохпровідної рейкової лінії і зв'язаної з нею локомотивної індукційної котушки (рис. 2.10).

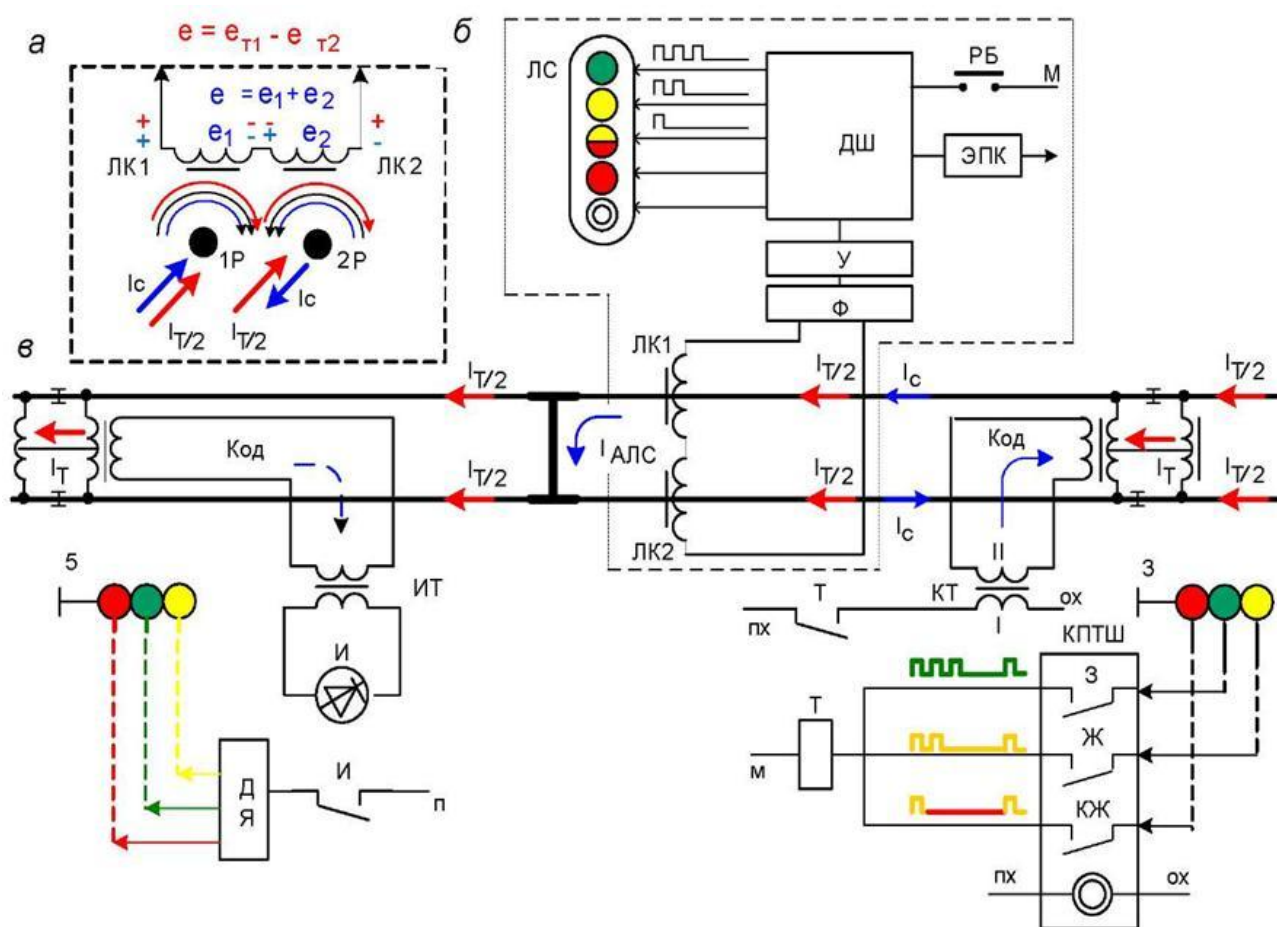


Рисунок 2.10 – Структурна схема АЛСН

Колійними пристроями АЛСН кодовий сигнальний струм по одній з рейкових ниток посиляється назустріч локомотиву, замикається через його першу колісну пару і по другій рейковій нитці повертається до джерела живлення. Протікання в рейках імпульсів змінного струму супроводжується утворенням навколо рейок змінного магнітного поля, в якому переміщуються приймальні котушки локомотива, які підвішені перед першою колісною парою з кожного боку по дві. Силкові лінії магнітного поля, перетинаючи витки ПК, наводять у них змінну електрорушійну

силу (ЕРС), величина якої залежить від величини кодового струму в рейках і висоти встановлення котушок. Так, при висоті ПК над рівнем головки рейки 150 мм і кодовому струмі в рейках 10 А величина ЕРС становить приблизно 0,65 - 0,75 В. Для додавання ЕРС обох котушок вони включаються послідовно. Наведена в ПК ЕРС надходить в ЛП через Ф, який призначений для захисту апаратури підсилювача від завад тягового струму частотою 50 Гц при живленні рейкових кіл струмом 25 і 75 Гц, а також пригнічує завади, створювані тяговим струмом та іншими джерелами завад.

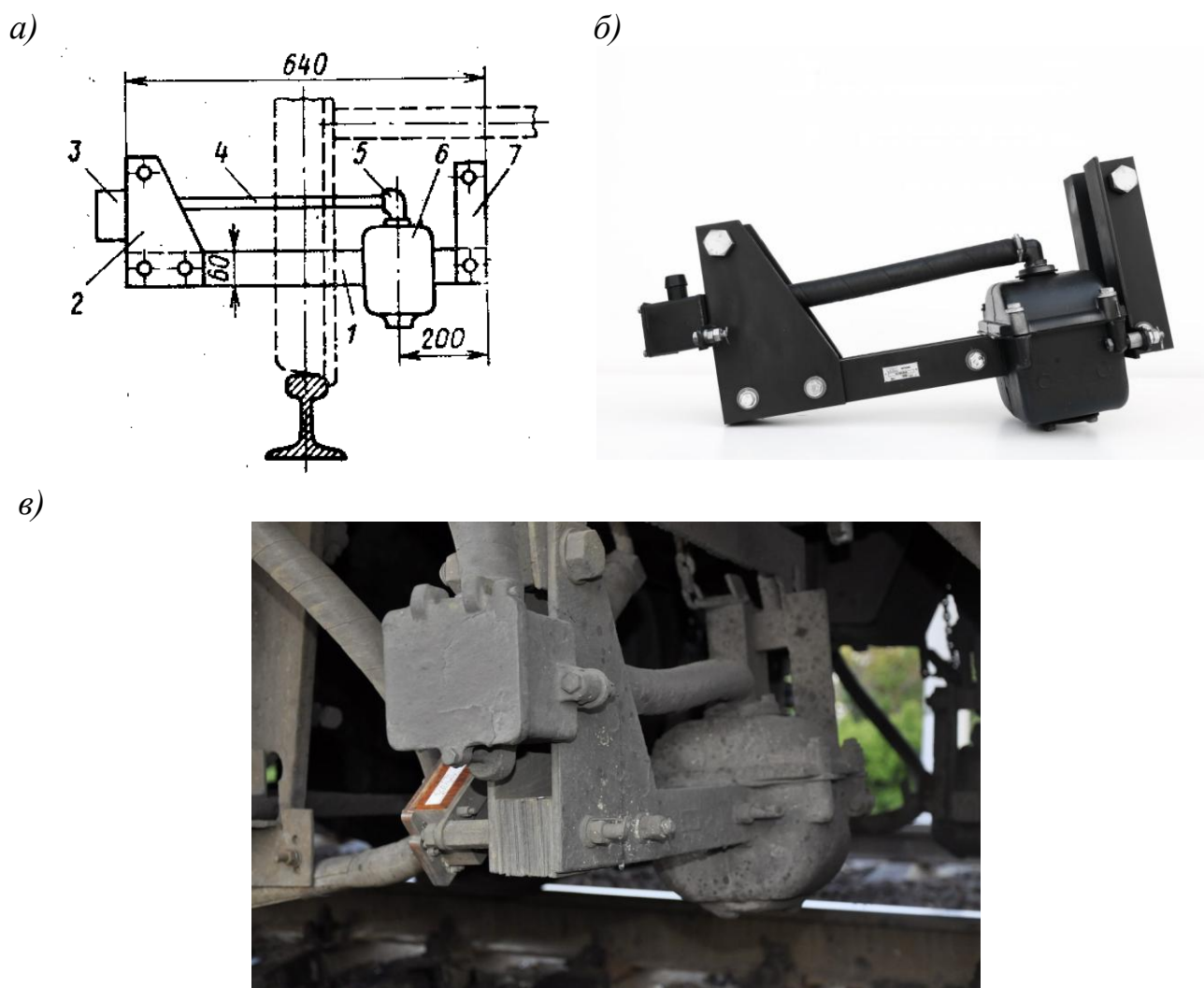


Рисунок 2.11 – Загальний вигляд пристрою кріплення і приймальної котушки АЛСН: а) принципова схема; б) загальний вигляд; в) у встановленому положенні

Кріплення та підвіска котушки (рис. 2.11, а) на осерді 1 виконуються за допомогою косинок 2 і кутників 7. Виводи від початку і кінця обмотки виведені через штуцер 5 і гумотканинний шланг 4 на клемну коробку 3

Приймальні котушки. Приймальні котушки (ПК) АЛСН призначені для прийому кодових імпульсів з рейкового кола і складаються з котушки 6 (рис. 2.11), одягненою на сердечник 1, зібраний з листів трансформаторної сталі [118]. Котушки підвішують перед передньою колісною парою так, щоб середина сердечника розташовувалася над віссю рейки. Для впевненого прийому сигналів висота підвіски котушки над рівнем головки рейки нормується з урахуванням зносу частин і прокату бандажів коліс згідно з вимогами (висота нижньої точки корпусу приймальних котушок над рівнем головки рейки повинна бути в межах від 100 до 180 мм, при цьому висота нижньої грані сердечника котушок над рівнем головки рейки - в межах від 200 до 280 м) [119]. Котушки не повинні опускатися нижче колієочисника, що захищає їх від механічних пошкоджень, та підвішуються в межах габариту рухомого складу з обох боків локомотива (рис.2.12).



Рисунок 2.12 – Місце розташування приймальних котушок на локомотиві

Приймальні локомотивні котушки по конструкції поділяються на електровозного типу ПЕ для електровозів, моторвагонного рухомого складу (вони ж використовуються для паровозів) і тепловозні типу ПТ. Характеристики приймальних котушок, підвішених на локомотивах, дещо відрізняються від встановлених технічними умовами на їх виготовлення. В табл.2.2 наведені електричні параметри котушок.

Локомотивний фільтр. До схеми підсилювача АЛСН входять 2 фільтра. Перший – для пропуску сигнального струму 50 Гц (застосовується на ділянках залізниць з електричною тягою на постійному струмі і з автономною тягою); другий - для пропуску сигнальних частот 25 і 75 Гц (застосовується на ділянках залізниць з електричною тягою на змінному струмі). Фільтри перемикає допоміжне реле В, яке включається машиністом за допомогою кнопки.

Таблиця 2.2 – Електричні параметри приймальних котушок

Параметри	ПЕ	ПТ
Добротність	≥ 3	≥ 4
Індуктивність, Гн	6,5-7,3	5,8-6,6
ЕРС на 25 Гц, мВ	≥ 52	≥ 45
ЕРС на 50 Гц, мВ	-	≥ 78
Опір ізоляції ПК по відношенню до її сердечника, Мом	≥ 5	
Опір ізоляції ПК з підвідними проводами по відношенню до сердечника, Мом	≥ 2	
Опір ізоляції кожухів, Ом	≥ 100	
Опір ізоляції стяжних болтів, кОм	≥ 10	
Висота підвіски (відсиань від головки рейки до нижньої точки корпусу котушки), мм	100-180	

Фільтр 50 Гц є складовою частиною локомотивного підсилювача типів УК25/50М, УК25/50 і УК-3Т (рис. 2.13). Він складається з двох індуктивно-зв'язаних між собою налаштованих в резонанс контурів. У перший контур входять як індуктивність приймальні котушки і первинна обмотка вхідного трансформатора Тр1, через яку здійснюється індуктивний зв'язок з другим контуром. Ємність першого контуру представлена конденсатором С1. В другому контурі, що включає конденсатор С2 і вторинну обмотку того ж трансформатора Тр1, резонансна частота дорівнює 50 Гц. Зв'язок між контурами, що забезпечується за допомогою трансформатора Тр1, вибирають таким чином, щоб смуга пропускання фільтра становила приблизно 14 Гц. Індуктивність зв'язку дорівнює 0,7 Гн. Для фільтра 50 Гц смуга пропускання знаходиться в межах 43 ... 57 Гц. Магнітопровід трансформатора має фіксований повітряний зазор 0,9 мм для стабілізації індуктивності його обмоток [54]. В табл. 2.3 наведені електричні параметри фільтра 50 Гц.

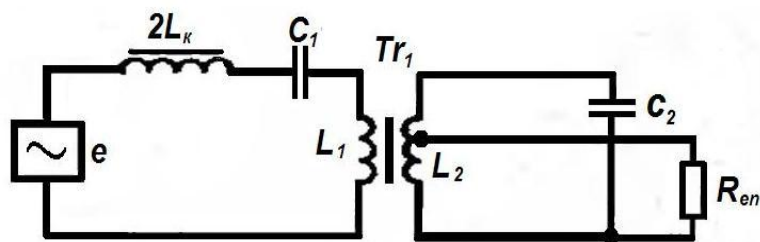


Рисунок 2.13 – Схема фільтру для частоти 50 Гц

Таблиця 2.3 – Електричні параметри фільтру 50 Гц

Сладові елементи будови вхідних локомотивних пристроїв			
Контур приймальних котушок		Вхідний контур фільтра	
Кількість витків первинної обмотки Tr1	Ємність конденсатора C1	Кількість витків вторинної обмотки Tr2	Ємність конденсатора C
820	0,75 мкФ ± 5%, 200 В	1700	4 мкФ ± 5%, 200 В

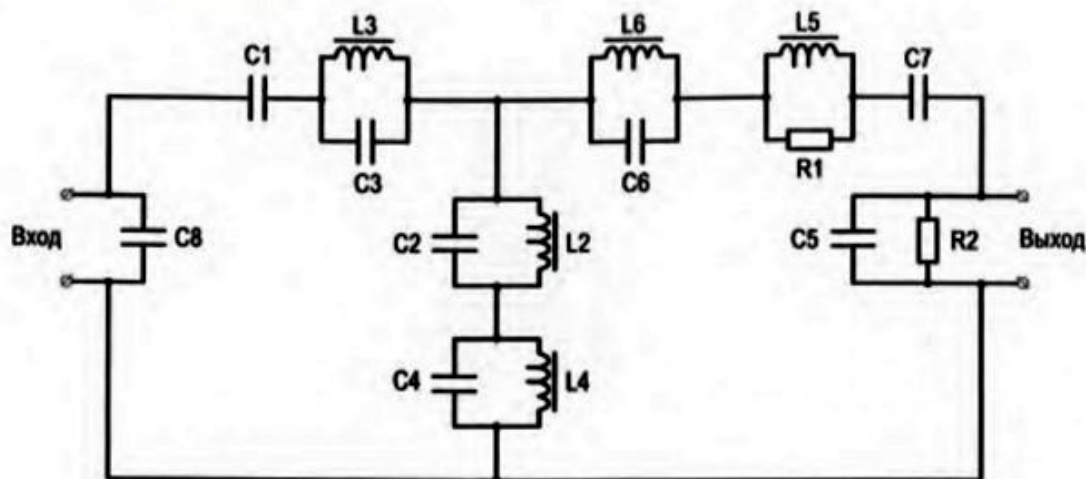


Рисунок 2.14 – Фільтр ФЛ-25/75М локомотивного приймача АЛСН

Фільтр для частот 25 і 75 Гц типу ФЛ-25/75М представляє собою конструктивно окремий блок (рис. 2.14), включений між підсилювачем і приймальними котушками. Він призначений для захисту підсилювача АЛС від завад тягового струму частотою 50 Гц при живленні рейкових кіл струмом частотою 25 або 75 Гц. Локомотивний фільтр типу ФЛ-25/75М є двохполосовим і розрахований для застосування на залізницях з електротягою змінного струму. Основні електричні параметри фільтру ФЛ-25/75М при підключенні на виході навантаження R2

наведені в табл. 2.4. Електричні параметри резонансних контурів фільтра ФЛ-25/75М наведені в табл. 2.5.

Таблиця 2.4 – Електричні параметри фільтрів ФЛ-25/75М

Частота, Гц	ЕРС на приймальних катушках, В	Напруга на виході, мВ	Ширина смуги пропускання на рівні 0,7 Гц
25	0,1	40...45	10...14
50	10,0	±10	–
75	0,3	40...45	20...25
100	0,8	±20	–
150	5,0	±10	–

Підсилювач. Локомотивні підсилювачі є електронними приладами, призначеними для посилення сигналів, які сприймаються з шляху, і перетворення їх в імпульси постійного струму для управління релейним контактним дешифратором [45].

Таблиця 2.5 – Електричні параметри резонансних контурів фільтра ФЛ-25/75М

Позначення контуру	Індуктивність, Гн	Ємність конденсаторів, мкФ	Резонансна частота налаштування, Гц	Напруга на контурі при налаштуванні, В	Добротність, не менше
L2-C2	5,1±5%	C2 = 8	25±0,5	0,1	6
L3-C3	12,3±5%	C3 = 0,02	50±0,5	1,0	9
L4-C4	1,0±5%	C4 = 4,2	75±1,0	0,2	10
L5-C5, C7	14,2±5%	C5 = 3,25 C7 = 2,0	37,5±0,5	0,02	8
L6-C6	14,2±5%	C6 = 0,72	50±0,5	1,0	10

Підсилювач має 2 входи. Один вхід Vx1 і Vx2 – для роботи при прийомі кодових сигналів частотою 50 Гц. Інший Vx2 і Vx3 – призначений для роботи при прийомі кодових сигналів частотою 25 і 75 Гц. Перемикає фільтри допоміжне реле В. У зв'язку з цим незалежно від роду тяги прийнятий єдиний тип підсилювача – ПЛ-25/50, що забезпечує роботу АЛСН на всіх ділянках (рис 2.15).

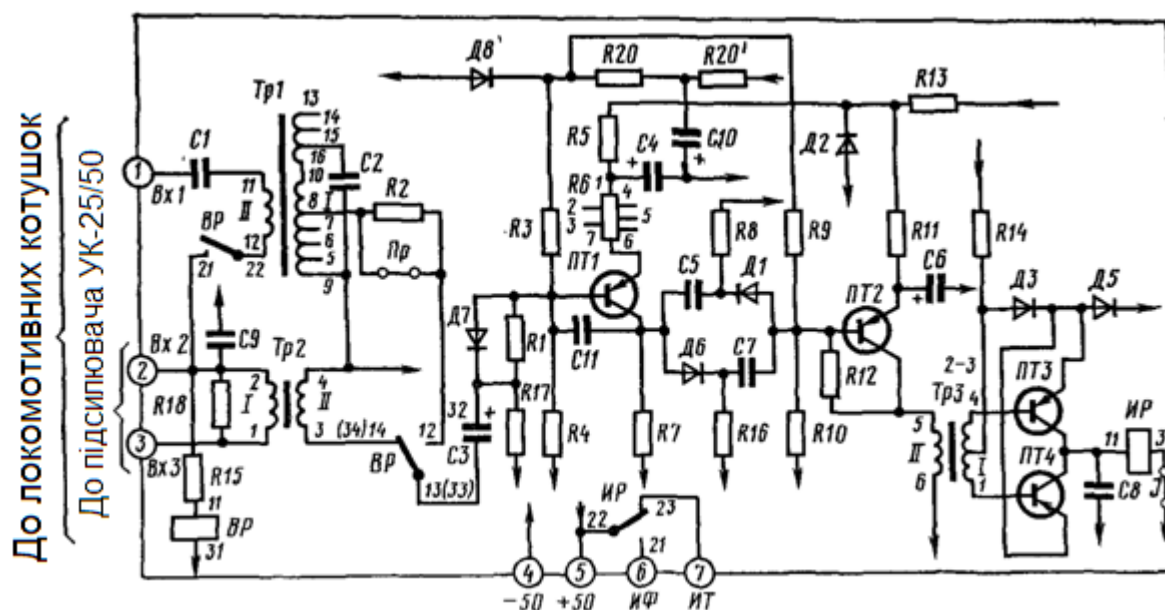


Рисунок 2.15 – Електрична схема підсилювача УК-25/50

Чутливість локомотивного підсилювача вимірюється мінімальною величиною кодового струму в рейках під приймальними котушками, при якому відбувається спрацьовування виконавчого органу – електромеханічного реле І (табл. 2.6).

Таблиця 2.6 – Залежність чутливості підсилювача від частоти сигнального струму

Частота сигнального струму, Гц	Чутливість підсилювача, мВ	Додаток
25	73,5±7	
75	220,5±21	
50	203±21	При електротязі
	119+14	При автономной тязі

Дешифратор. Призначений для розшифрування кодових сигналів і управління вогнями локомотивного світлофора і електропневматичним клапаном. Основні дешифратори, що експлуатуються, є дешифратори типу ДКСВ-1, ДКСВ-1-Д та ДКСА (модернізовані, більш ранніх випусків, взаємозамінні з ДКСВ-1). Дешифратор ДКСВ-1-Д призначений для спільної роботи з пристроєм контролю пильності машиніста УКБМ. Їх випускають в даний час замість знятих з виробництва дешифраторів ДКСВ-1.

Окрім вищеперерахованих пристроїв система АЛСН також має:

- електропневматичний клапан (ЕПК), який виконує екстрене гальмування по команді пристрою АЛС;
- локомотивний швидкостемір, який в схемі забезпечує дію автостопу у випадках перевищення контрольованих швидкостей, відповідних червоному і жовтому з червоним вогнів, а також реєструє на швидкостемірній стрічці свідчення сигнальних показань локомотивного світлофора і включення ЕПК;
- рукоятка пильності (РБ-70), яка служить для підтвердження машиністом своєї пильності і попередження примусового гальмування, що викликається автостопом;
- локомотивний світлофор (С2-5м), який дублює показання колійних світлофорів;
- генератор струму управління, який живить електроенергією кола АЛС;
- перемикач напрямку, який здійснює переключення пристроїв АЛС для роботи на першу або другу кабінку керування локомотивом [56].

2.3.3 Особливості каналу передачі сигналу та розрахунок взаємодуктивності між рейками та приймальними котушками

Для того, щоб проаналізувати канал передачі сигнального струму АЛСН, скористуємося схемою заміщення рейкового кола, яку найбільш часто використовують для розрахунку довгих ліній (рис. 2.16).

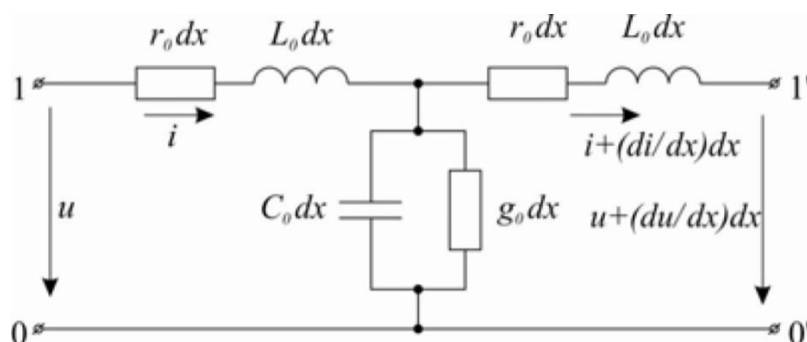


Рисунок 2.16 – Схема заміщення ділянки колії довжиною dx

Така схема описується системою диференціальних рівнянь, кількість яких визначається в залежності від довжини елементарної ділянки та довжини

розрахункової зони. Рейкова лінія має переріз у мідному еквіваленті 800...1000 мм². При проходженні змінного струму по ній густина струму неоднакова у різних перерізах рейок, бо має місце явище «поверхневого ефекту». Але в схемі заміщення не будемо передбачати таку обставину. Проте врахуємо взаємоіндуктивність, провідність та ємність між рейками.

Також розглянемо схематичне зображення блок-ділянки, розташованої між двома ізолюючими стиками ІС (рис. 2.17). Вважатимемо, що поїзд вступає на ділянку з боку ІС1 і рухається в бік ІС2 з поточною швидкістю $V_{п}$. Довжину ділянки позначимо як $l_{уч}$. Колійний передавач (генератор) розташований на відстані $l_{г}$ від ІС2 і створює певну електрорушійну силу (ЕРС) $e_{г}(t)$ [128, 129].

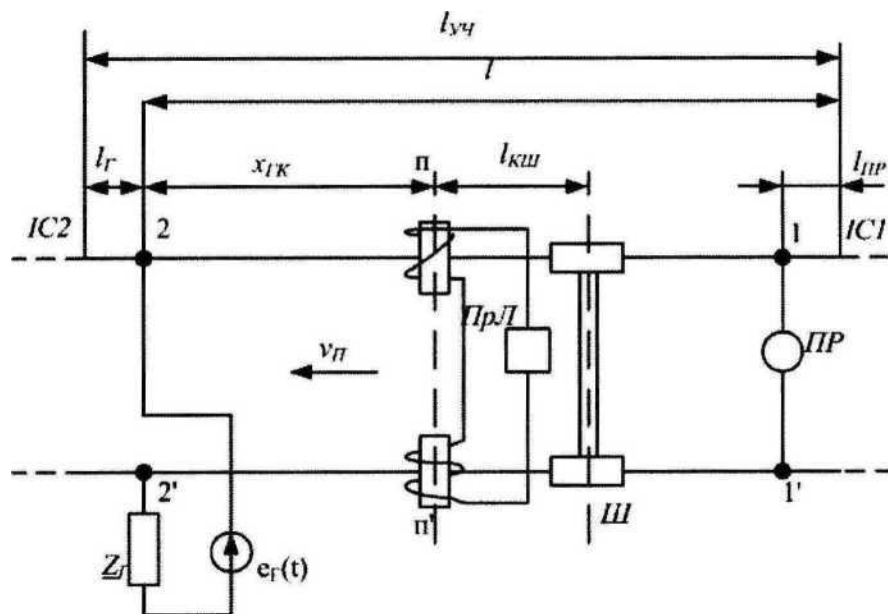


Рисунок 2.17 – Схематичне зображення блок-ділянки каналу передачі сигналів

Частотну залежність внутрішнього опору генератора позначимо як $e_{г}(t)$. Відстань між перерізом підключення генератора та перерізом, який перпендикулярний рейкам і водночас проходить крізь геометричну вісь її обох приймальних котушок (назвемо його «переріз приймання») позначимо як $X_{ГК}$ і будемо вести її відлік від генератора в бік котушок. Відстань між перерізом приймання та передньою віссю локомотива позначимо як $l_{кш}$. Локомотивний приймач скорочено позначимо як ПрЛ і відмітимо, що приймальні котушки ввімкнені узгоджено для сигнального струму і зустрічно – для тягового струму. Будемо також вважати, що всередині блок-ділянки, яка розглядається, відсутні

неоднорідності (стрілки, хрестовини і т. ін.), а також – що кузов локомотива не здійснює коливань і рухається суворо поступально. Власне рейкову лінію (РЛ) в подальшому вважатимемо однорідною. Для сигналів залізничної автоматики вона являє собою довгу лінію, оскільки довжини хвиль струмів і напруг є величинами відповідними до довжини РЛ. Струм і напругу запишемо в загальному випадку:

$$\begin{aligned} \frac{di}{dx} &= G_0 u + C_0 \cdot \frac{du}{dt} \\ \frac{du}{dx} &= L_0 \frac{di}{dx} + R_0 \cdot i \end{aligned} \quad (2.1)$$

де R_0 , L_0 , C_0 – первинні параметри РЛ, а відстань x відраховується від початку лінії (тобто генератора).

Виходячи з вищевизначених припущень, єдиними неоднорідностями, що залишаються в цій системі, є індуктивно-зв'язані з РЛ котушки, передня вісь і всі наступні вісі локомотива та поїзда. І треба враховувати, що окрім сигналів АЛСН, що передаються з рейкових ліній на локомотив з використанням індуктивного зв'язку, по рейкових лініях також протікають інші струми, що викликають появу ЕРС завад в локомотивних приймальних котушках. Це, передусім, змінний тяговий струм, гармоніки постійного і змінного тягових струмів, а також струми, що створюються в результаті впливу різних електричних мереж, в тому числі ЛЕП, що перетинають колію. Розподіл тягового струму по рейкових нитках і інтенсивність одночасної дії інших чинників, що були розглянуті в цій роботі в 1 розділі, досить швидко змінюються в часі навіть на одній ділянці дороги. У результаті отримані результати вимірів швидко застарівають. Усе це викликає необхідність проаналізувати фізичні процеси саме в каналі індуктивного зв'язку.

Геометричні параметри схеми кріплення однієї з приймальних котушок АЛСН в системі індуктивного зв'язку локомотиву з рейками розглянуті в роботі [127] і представлені на рис. 2.18. Котушка, закріплена симетрично над лівою рейковою ниткою, не показана, щоб не ускладнювати креслення. Рейку, розташовану ліворуч, вважаємо першою, а права рейка, над якою розташована приймальна локомотивна котушка, – другою.

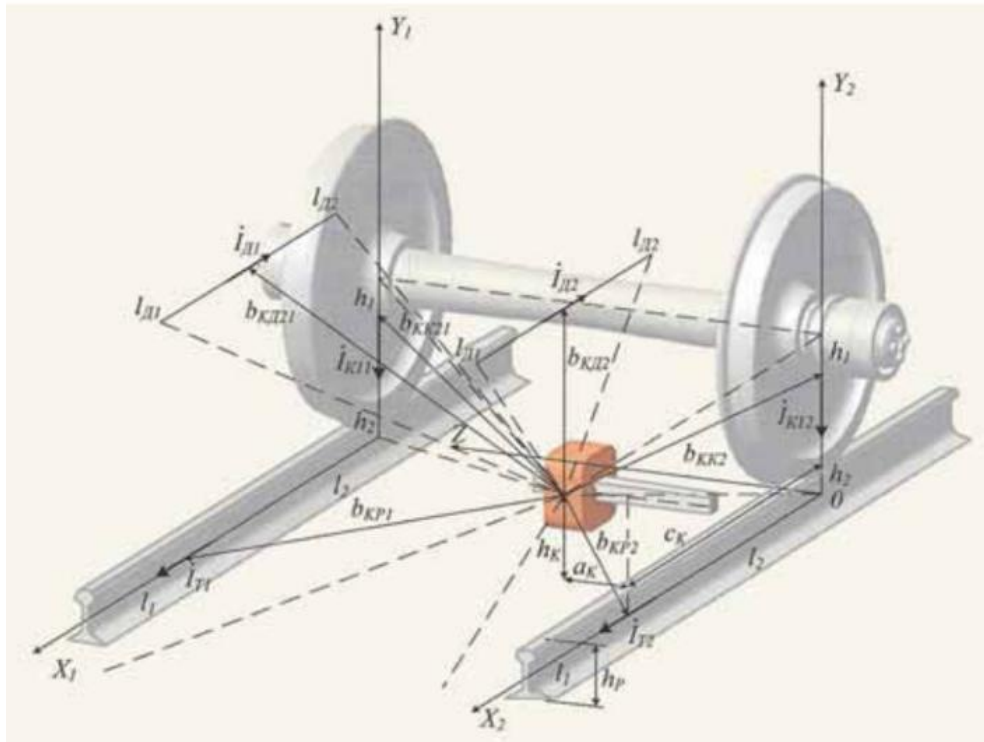


Рисунок 2.18 – Відстані впливу струмів різного походження на приймальну котушку АЛСН: a_K – від центру цієї котушки по горизонталі до середньої осі голівки ближньої рейки; h_K – від центру котушки по вертикалі до голівки цієї рейки; b_{KP2} – від центру котушки до осі, що проходить по середині ближньої рейки; b_{KP1} – від центру котушки до осі, що проходить по середині іншої рейки; b_{KK2} – від центру котушки до вертикальної осі, що проходить через середину найближчого колеса першої колісної пари; b_{KK21} – від центру котушки до вертикальної осі, що проходить через середину іншого колеса першої колісної пари; b_{KD2} – від котушки до днища електровоза; b_{KD1} – до днища електровоза над іншою котушкою; c_K – від поперечної вертикальної площини, що проходить через центральні осі сердечників локомотивних котушок, до місця контакту з рейкою ближнього колеса першої колісної пари; l_1 – від цієї вертикальної площини до передньої кромки шляхоприймача електровоза; h_P – висота рельси; i_{T2}, i_{T1} – тягові струми відповідно у ближньому до даної котушки і дальньому від неї ходових рейках; i_{K12}, i_{K11} – тягові струми, поточні по ближньому до даної котушки і далекому від неї колесам першої колісної пари; i_{D2}, i_{D1} – тягові струми, що протікають по днищу електровоза відповідно над другою і першою приймальними котушками.

Локомотивні котушки АЛСН на електровозах встановлюються на відстанях:
 $a_K = 120$ мм, $h_K = 275$ мм, $c_K = 1500$ мм.

Спочатку розглянемо ЕРС, яка наводиться в приймальних котушках, різними за складом завадами. Одні з найбільших завад на АЛСН наводяться змінним тяговим струмом, що змінюється за гармонійним законом, а також його гармоніками і гармоніками постійного тягового струму. Отже, кожна i -та гармонійна складова тягового струму $I_{Ti} = I_{Ti} \cos \omega_i(t)$ відповідно до формули (2.2) наводить в локомотивній приймальній котушці свою складову ЕРС завади:

$$e = -SdB / dt = -\mu_0 \mu SdH / dt = -\mu_0 \mu S k_M di / dt \quad (2.2)$$

де B та H – індукція і напруженість магнітного поля в сердечнику котушки АЛСН;

S – площа поперечного перерізу сердечника;

μ_0 – магнітна постійна в системі СІ, рівна $4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м;

μ – відносна магнітна проникність сердечника;

k_M – коефіцієнт перетворення струму $i(t)$ в магнітне поле, рівний $H(t)/i(t)$.

$$e_i = \mu_0 \mu S k_M \omega_i I_{Ti} \sin \omega_i t \quad (2.3)$$

Таким чином, із зростанням частоти струму збільшується його вплив, що заважає, на приймальну апаратуру АЛСН.

При незмінних значеннях площі поперечного перерізу S і магнітній проникності μ сердечника локомотивної котушки електровоза, що рухається, ЕРС завад на її виході, що виникає від нерівномірної намагніченості рейок по довжині рейкових ниток, відповідно до закону електромагнітної індукції Фарадея рівна:

$$\begin{aligned} e &= -d\Phi_p / dt = -d(SB_p) / dt = -d(\mu_0 \mu S H_p) / dt = \\ &= -\mu_0 \mu S dH_p / dl_{\Delta H} \cdot dl_{\Delta H} / dt = -\mu_0 \mu S V dH_p / dl_{\Delta H} \end{aligned} \quad (2.4)$$

де Φ_p , B_p и H_p – магнітний потік, індукція і напруженість відповідно від магнітного поля рейки в сердечнику котушки АЛСН;

$l_{\Delta H}$ – довжина відрізка рейки з одним періодом зміни напруженості магнітного поля;

V – швидкість потягу.

Змінна в часі взаємна індуктивність рейок та локомотивних котушок, навіть без урахування впливу завад, має суттєвий вплив на електрорушійну силу (ЕРС) [130, 131], а відтак - на вхідний сигнал локомотивного приймача системи АЛСН. Тому для спрощення розрахунків визначимо аналітичну залежність взаємної індуктивності окремої локомотивної котушки і відповідної їй рейки без ЕРС, що наведена будь-якою завадою. Миттєва величина ЕРС дорівнює [122-125]:

$$e(t) = -M(t) \frac{di(t)}{dt} - i(t) \cdot \frac{dM(t)}{dt} \quad (2.5)$$

де $M(t)$ – величина взаємної індуктивності між котушкою та рейкою.

З урахуванням малості поперечних розмірів котушки порівняно з довжиною блок-ділянки, а також з урахуванням припущень про однорідність РЛ та відсутність коливань кузова локомотива величина $M(t)$ дорівнює постійній величині M [130, 131]. А величина вхідної ЕРС локомотивного приймача дорівнює подвоєній ЕРС локомотивної котушки:

$$e_{ВХ-ПРЛ}(t) = 2e(t) = -2M \frac{di(t)}{dt} \quad (2.6)$$

З останнього виразу випливає, що для моделювання електричних процесів, які протікають в розглянутій ділянці і визначають вхідний сигнал локомотивного приймача, найвирогіднішим є побудова моделі струму в перерізі приймання.

Взаємна індуктивність кола “РЛ – ПК” визначається як [120-123]:

$$M_{РЛ-ПК} = \frac{w_{ПК} \cdot \Phi_{РЛ-ПК}}{i_{РЛ}} \quad (2.7)$$

де $w_{ПК} \cdot \Phi_{РЛ-ПК}$ – потокозчеплення в локомотивних ПК із кількістю витків $w_{ПК}$, що обумовлено струмом АЛС $i_{РЛ}$ в рейковій лінії.

Визначимо також фактори, що впливають на величину взаємної індуктивності $M_{РЛ-ПК}$, через магніторушійну силу $F_{РЛ} = i_{РЛ} \cdot w_{РЛ}$ та магнітну провідність шляхів замикання магнітного потоку:

$$\Lambda_M = \sum \frac{\mu_a \cdot S}{l};$$

$$M_{PL-ПК} = \frac{w_{ПК}(i_{PL} \cdot w_{PL} \cdot \Lambda_M)}{i_{PL}} = w_{ПК} \cdot \Lambda_M \quad (2.8)$$

Згідно з (2.8) величина $M_{PL-ПК}$ пропорційна добутку кількості витків $w_{ПК}$ приймальної котушки та магнітної провідності Λ_M колії загального магнітного потоку. В свою чергу Λ_M залежить від магнітної провідності середи та взаємного розташування системи індуктивно-зв'язаних елементів “РЛ – ПК”. В межах залізничної колії при переміщенні ПК вздовж рейок величина Λ_M в окремих точках колії змінюється, тому і $M_{PL-ПК}$ є величиною змінною. При підвищених швидкостях руху поїздів із порушенням умов квазістаціонарності струмів в рейках та магнітного поля навкруги рейки виникають завади (мультиплікативні та адитивні), які впливають на наведену ЕРС в ПК наступним чином [132]:

$$e(t) = -m(t) \cdot \frac{di(t)}{dt} - i(t) \cdot \frac{dm(t)}{dt} - m(t) \cdot \frac{di_T}{dt} - i_T(t) \cdot \frac{dm(t)}{dt} \quad (2.9)$$

де $i(t)$, $m(t)$ – відповідно миттєві значення сигнального струму АЛС в рейковій петлі й взаємної індуктивності контуру “РЛ – ПК”;

$i_T(t)$ – складова змінного тягового струму у відповідній рейці РЛ.

Як елемент схеми заміщення реального кола взаємна індуктивність M дозволяє враховувати при розрахунках явище взаємоіндукції та накопичення енергії у магнітному полі магнітозв'язаних котушок.

Для побудови математичної моделі у програмному середовищі MATLAB розрахуємо параметр взаємоіндукції двох приймальних котушок. Опір рейок має активно-індуктивний характер і складається з частотно-залежного активного опору рейкових ниток і індуктивних складових, обумовлених внутрішньою індуктивністю рейкових ниток, їх взаємною індуктивністю і зовнішньою індуктивністю рейкової петлі. При визначенні еквівалентного опору рейок також враховують активні й індуктивні опори стикових з'єднувачів. Електричні параметри рейок в загальному випадку залежать від величини струму, що протікає в них, який зменшує магнітну

проникність рейкової сталі і знижує внутрішню індуктивність рейкових ниток. Однак в практичних розрахунках цією обставиною можна знехтувати. Загальний кілометричний опір рейок визначається виразом:

$$Z_p = 2(R_a + N_c R_c) + j2\pi fL \quad (2.10)$$

де R_a – активний опір 1 км рейкової нитки;
 N_c – число стикових з'єднувачів на 1 км;
 $R_c = 0,0003$ Ом активний опір стикового з'єднувача;
 f – частота сигнального струму;
 L – кілометрична індуктивність рейок.

Кілометричний активний опір рейкової нитки складається з двох складових: опору постійному струму ; і опору змінному струму . Перша складова:

$$R_a^- = R_{20} [1 + \alpha(t - 20)] \quad (2.11)$$

де R_{20} – кілометричний опір при температурі + 20 °С;
 α – температурний коефіцієнт опору, для рейкового заліза становить 0,04611/град;
 t – температура рейки, град.

Активний кілометричний опір рейкової нитки змінному струму визначається виразом:

$$R_a = \frac{2,8\sqrt{\mu \cdot \rho \cdot \varphi}}{u} \quad (2.12)$$

де $\mu = 100$ відносна магнітна проникність рейкового кола;
 $\rho = 0,21 \cdot 10^{-6}$ Ом·м – опір заліза рейкового кола;
 φ – частота струму рейкового кола;
 u – периметр поперечного розрізу рельс.

Повна кілометрична індуктивність рейкової петлі:

$$L = L_B + 2(L_i + N_c L_c) \quad (2.13)$$

де L_e – повна зовнішня індуктивність рейкової петлі довжиною 1 км;
 L_i – внутрішня індуктивність рейкової нитки довжиною 1 км;

– індуктивність стикового з'єднувача (для приварних з'єднувачів становить $1,27 \cdot 10^{-9}$ Гн).

Повна зовнішня індуктивність рейкової петлі довжиною 1 км:

$$L_B = 2(L_B^* - M) \quad (2.14)$$

де L_B^* – зовнішня індуктивність однієї рейкової нитки довжиною 1 км;

M – взаємна індуктивність 1 км кіл, утворених рейковими нитками і землею.

Зовнішня індуктивність однієї рейкової нитки довжиною 1 км:

$$L_B^* = (12,982 - 2 \ln(b \sqrt{\sigma \cdot f}) - j \frac{\pi}{2}) \cdot 10^{-4} \quad (2.15)$$

де b – радіус кола довжиною рівною периметру поперечного перетину рейки;

σ – питома провідність землі.

Взаємна індуктивність 1 км кіл, утворених рейковими нитками і землею:

$$M = (12,982 - 2 \ln((a - b) \sqrt{\sigma \cdot f}) - j \frac{\pi}{2}) \cdot 10^{-4} \quad (2.16)$$

де $a = 1,6$ м – відстань між осями рейок.

Внутрішня кілометрична індуктивність рейкової нитки:

$$L_i \approx 0,0955 \cdot R_a / f \quad (2.17)$$

Опір ізоляції РК для практичних розрахунків зазвичай приймають чисто активним, однак на частотах вище 2 кГц воно має активно-ємнісний характер з аргументом порядку -10° . Коефіцієнт земляного тракту, який використовується при аналізі контрольного режиму, визначається виразом:

$$E = \sqrt{1 + 4j \cdot 2\pi fM / Z_p} \quad (2.18)$$

Для дослідження каналу передачі сигналу на локомотив зроблено виміри напруги та струму на приймальних котушках за допомогою амперметра та вольтметра. Отримані середні значення $I = 0,0091$ А, $U = 19,18$ В, які будемо підставляти в подальші розрахунки.

Визначимо активний кілометричний опір рейкової нитки змінному струму за формулою (2.12):

$$R_a = \frac{2,8 \cdot \sqrt{100 \cdot 0,21 \cdot 10^{-6} \cdot 50}}{0,070} = 1,296$$

Внутрішню кілометричну індуктивність рейкового кола розрахуємо за формулою (2.17):

$$L_i \approx 0,0955 \cdot \frac{R_a}{f} = 0,0955 \cdot \frac{1,296}{50} = 4,947 \cdot 10^{-4}$$

Визначимо взаємну індуктивність з формули:

$$M = \frac{1}{2l\omega} \cdot \left[\frac{U}{I} - R_a - R_K \right] + \frac{1}{2} L_i + \frac{1}{2} L_K \quad (2.19)$$

де $l = 7,0$ Гн індуктивність котушки АЛСН [133];

$R_K = 120$ Ом опір котушки АЛСН.

Підставивши в формулу (2.19) значення, які обчислені раніше, отримаємо:

$$M = \frac{1}{2l\omega} \cdot \left[\frac{19,18}{0,0091} - 1,296 - 120 \right] + \frac{1}{2} \cdot 4,947 \cdot 10^{-4} + \frac{1}{2} \cdot 7,0 = 3,16$$

Дослідивши параметри рейкового кола, властивості котушок, визначили значення взаємної індукції, яке в подальшому будемо використовувати для розробки адекватної математичної моделі системи передачі інформації з рейки на локомотив.

2.3.4 Математичне моделювання каналу зв'язку між рейковим колом та вхідними пристроями АЛСН

2.3.4.1 Математичне моделювання каналу зв'язку між рейковим колом та вхідними пристроями АЛСН в аналітичному вигляді

Спочатку визначимо математичну модель поодинокі гармоніки струму крізь переріз приймання сигнального струму локомотивного приймача числових кодів АЛСН за відсутності завад [134, 141]. Було побудовано схему заміщення блок-ділянки, що враховує рух поїзда. При надані їй компактного вигляду є можливість побудувати модель вхідного сигнального струму. Результуючу схему наводимо на рис. 2.19.

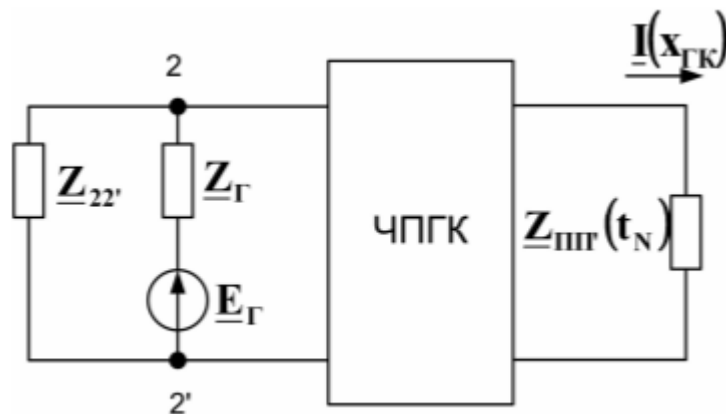


Рисунок 2.19 – Схема заміщення блок-ділянки, що враховує рух поїзда

Базовим виразом для моделювання струму є:

$$\underline{I}(X_{ГК}, t_N) = \frac{\underline{E}_Г}{\underline{Z}_Г + \underline{Z}_{ВХРЛ} t_N} \times \left\{ ch[\gamma \underline{X}_{ГК}(t_N)] - \frac{\underline{Z}_{ВХРЛ} t_N}{\underline{Z}_B} \cdot sh[\gamma \underline{X}_{ГК}(t_N)] \right\} \quad (2.19)$$

$$\underline{Z}_{ВХРЛ} t_N = \underline{Z}_{ВХРЛ} t_N \cdot \underline{Z}_{22'} / [\underline{Z}_{ВХРЛ} t_N + \underline{Z}_{22'}] \quad (2.20)$$

$$\underline{Z}_{ВХРЛ} t_N = \frac{\underline{A}(t_N) \cdot \underline{Z}_{ППГ'} t_N + \underline{B}(t_N)}{\underline{C} t_N \cdot \underline{Z}_{ППГ'} t_N + \underline{D} t_N} \quad (2.21)$$

Відмітимо, що при $Z_{22'} = \infty$ вираз (2.19) є зв'язком між вхідною ЕРС чотирьохполюсника (ЧПГК) та його вихідним струмом $I(X_{ГК}, t_N)$ і тому праву частину цього виразу можна записати як $E_G / Z_{ПРИВ}(t_N)$, де $Z_{ПРИВ}$ – приведений опір ЧПГК. В цьому випадку вираз (2,19) зведеться до відомого за структурою:

$$\underline{I}(X_{ГК}, t_N) = \underline{E}_Г / \underline{Z}_{ПРИВ}(t_N) \quad (2.22)$$

де

$$\underline{Z}_{ПРИВ}(t_N) = \underline{A}(t_N) \cdot \underline{Z}_{ППГ'}(t_N) + \underline{D}(t_N) \cdot \underline{Z}_Г + \underline{C}(t_N) \cdot \underline{Z}_Г \underline{Z}_{ППГ'}(t_N) + \underline{B}(t_N) \quad (2.23)$$

В виразах (2.22) та (2.23) враховано залежність членів формули від моменту t_N вступу чергової колісної пари на блок-ділянку.

Отже, маємо

$$\underline{I}(X_{ГК}, t_N) = I(X_{ГК}, t_N) \cdot e^{j\phi_1(X_{ГК}, t_N)} \quad (2.24)$$

де перший співмножник є діючим значенням струму в перерізі приймання, а показник експоненти – початковою фазою цього струму. Тоді миттєве значення даного струму виглядає наступним чином:

$$i(t, X_{ГК}, tN) = \sqrt{2} \cdot \underline{I}(X_{ГК}, tN) \cdot \sin[2\pi ft + \phi_1(X_{ГК}, tN)] \quad (2.25)$$

Порівнюючи (2.24) та (2.22) можна констатувати, що останнє з вказаних співвідношень забезпечує однозначний розрахунок діючого значення та початкової фази в перерізі приймання. З огляду на сталість $Z_{ПІІ}$ зникає залежність від tN в (2.25).

Перейшовши до схеми заміщення блок-ділянки, наведеної на рис. 2.23, приймемо, що ізолюючий стик ІС2 ідеальний і тому $Z_{22'} = \infty$.

Положення поїзда в досліджуваному випадку задається величиною $X_{ГК}$, а фактором, вплив якого досліджується, є припущення про кусково-сталу апроксимацію часової залежності А-параметрів ЧПГК. Тому залежність (2.23) $Z_{ПРИВ}(tN)$ слід замінити на залежність $Z_{ПРИВ}(X_{ГК})$, внаслідок чого вираз (2.24) набуде вигляду:

$$\underline{I}(X_{ГК}) = \underline{E}_Г / \underline{Z}_{ПРИВ}(X_{ГК}) \quad (2.26)$$

де $Z_{ПРИВ}(X_{ГК})$ розраховується за формулою (2.23) при опорі $Z_{ПІІ}'$ та при заміні аргументів усіх А-параметрів ЧПГК на $X_{ГК}$.

Далі, задавшись інтервалом ΔX , на якому ми будемо вважати А-параметри сталими [135, 136], знайдемо величину відносної похибки $\delta_I(X_{ГК})$ модельного розрахунку діючого значення струму $I(X_{ГК})$ та величину $\Delta \phi_1(X_{ГК})$ абсолютної похибки модельного розрахунку його початкової фази:

$$\delta I(X_{ГК}) = \left| \frac{I(X_{ГК} - \Delta X) - I(X_{ГК})}{I(X_{ГК})} \right| \quad (2.27)$$

$$\Delta \phi_1(X_{ГК}) = \phi_1(X_{ГК} - \Delta X) - \phi_1(X_{ГК}) \quad (2.28)$$

Величину $\Delta X_{ГК}$ вважатимемо такою, що знаходиться в межах від ΔX до 1 км. Приймемо також, що діюче значення ЕРС складає 100 В при початковій фазі 0° . Параметри рейкової лінії (РЛ) беремо такими, що дорівнюють нормативним на частоті 25 Гц, величина ж опорю генератора $Z_Г = 0,25 \cdot e^{i20^\circ}$ Ом. Результати моделювання наведені на рис. 2.20 та рис. 2.21 [137].

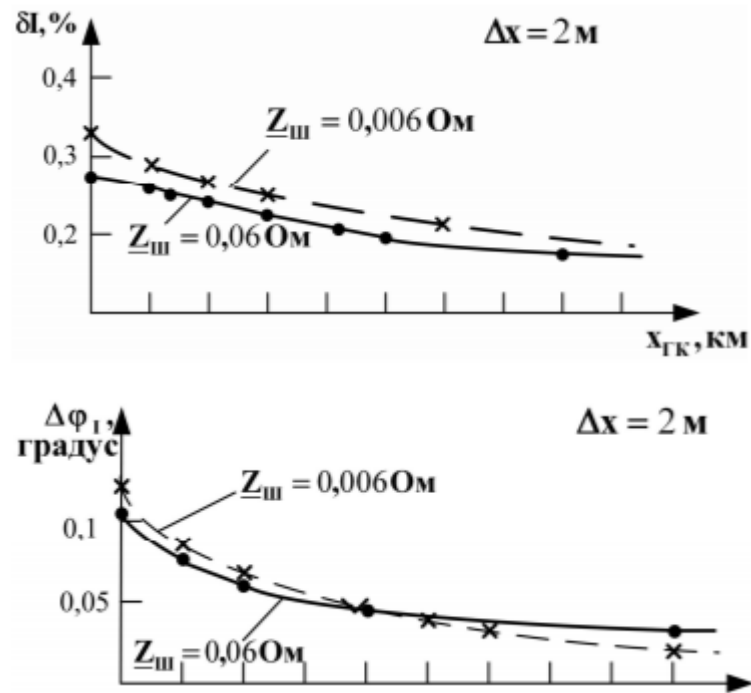


Рисунок 2.20 – Відносна похибка модельного розрахунку діючого значення струму сигналів АЛСН та величина абсолютної похибки модельного розрахунку його початкової фази при $\Delta X = 2$ м

Бачимо, що навіть при $\Delta X = 50$ м відносна похибка модельного розрахунку діючого значення струму складає менш ніж 10 % в широкому діапазоні величин опору шунта. Похибка розрахунку початкової фази не перевищує трьох градусів. Якщо ж ΔX має величину 2 м, яка є близькою до міжосьових відстаней реального рухомого складу, то δI не перевищує 0,4 %, а $\Delta \varphi_1$ не перевищує $0,12^\circ$.

У результаті побудови математичної моделі вхідного сигналу локомотивного приймача числових кодів АЛСН встановлено, що величина ΔX порядку 2 м забезпечує високу точність моделювання процесу формування поодинокі гармоніки в перерізі приймання. Можна очікувати, що такі величини ΔX забезпечать і високу точність моделювання сигнального імпульсу в перерізі приймання.

В подальшому ми приходимо до вирішення задачі виявлення одного з трьох можливих сигнальних показань світлофора – «зелений» (З), «жовтий» (Ж) або «червоно-жовтий» (ЧЖ). При цьому його визначення особливо важливе в умовах дії сукупності завад, що має невідомий склад і параметри компонентів. Амплітуда, початкова фаза і момент появи сигналу невідомі. Відомі лише його несуча частота і

закони амплітудної модуляції, що відповідають кожному сигнальному показанню світлофора [137].

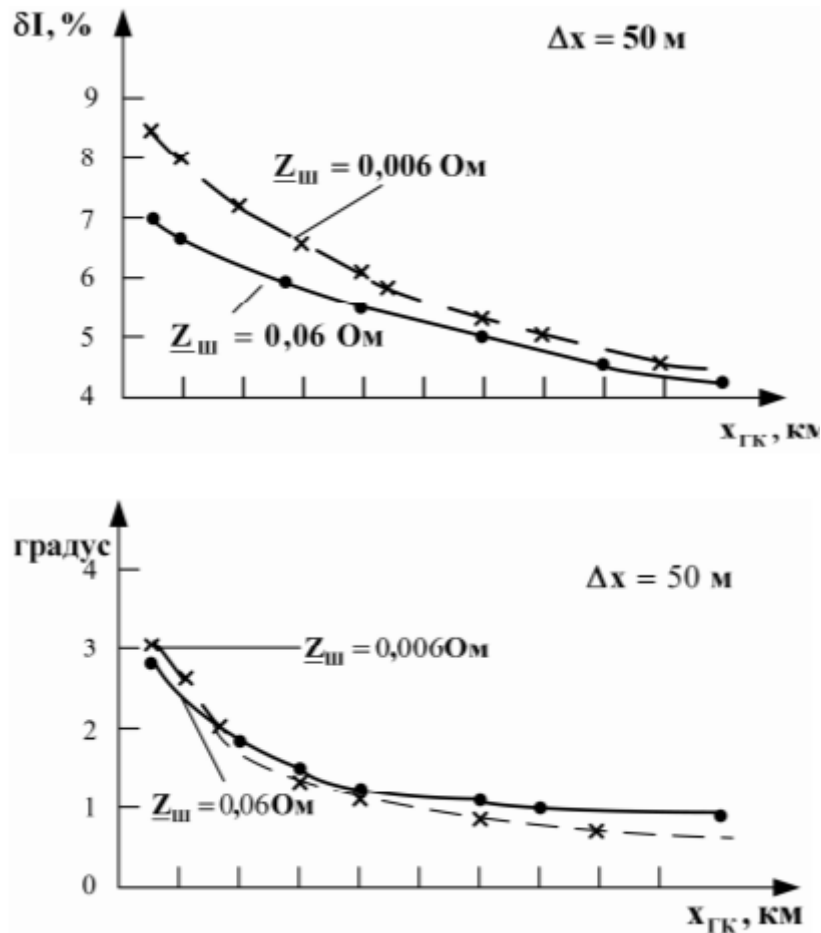


Рисунок 2.21 – Відносна похибка модельного розрахунку діючого значення струму сигналів АЛСН та величина абсолютної похибки модельного розрахунку його початкової фази при $\Delta X=50$ м

Щоб отримати доступні для огляду результати, обмежимося розглядом тих самих завад, що будуть розглянуті в роботі комп'ютерної імітаційної моделі вхідних пристроїв АЛСН: адитивних імпульсних завад на залізницях постійного струму, викликаних намагнічуванням кінців рейок і гостряків стрілок, адитивної завади, обумовленої близьким розташуванням залізничної колії і лінії електропередачі (ЛЕП), а також адитивної стаціонарної випадкової завади, що має гауссівську щільність розподілу ймовірностей миттєвих значень [138-140]. При цьому ми вважаємо, що ця адитивна суміш спостерігається нами у вигляді напруги $u(t)$ на затискачах приймальних локомотивних котушок (t – час):

$$u(t) = s(t) + v_p(t) + v_E(t) + n(t) \quad (2.29)$$

де $s(t)$ – корисний сигнал;

$v_p(t)$ – імпульсна завада;

$v_E(t)$ – завада від ЛЕП;

$n(t)$ – гауссівська стаціонарна випадкова завада.

Корисний сигнал АЛСН може бути представлений у наступному вигляді:

$$s(t) = U_{ms} \cdot f(t - \tau_s) \cdot \sin(\omega_s t + \phi_s) \quad (2.30)$$

де U_{ms} – амплітуда несучого синусоїдального коливання;

$f(t - \tau_s)$ – кодова огинаюча цього коливання;

τ_s – часове зрушення моменту появи сигналу по відношенню до точки початку відліку часу;

ω_s – кутова частота несучого синусоїдального коливання;

ϕ_s – початкова фаза цього коливання.

Величини U_{ms} , τ_s та ϕ_s невідомі, величина ω_s – відомий параметр конкретної системи АЛСН. Зауважимо, що величина ϕ_s автоматично враховує і невідоме часове зрушення t^{\wedge} несучої, так як $\sin[\omega_s(t - t^{\wedge}) + \phi] = \sin[\omega_s t + (\phi - \omega_s t^{\wedge})]$, де $(\phi - \omega_s t^{\wedge}) = \phi_s$, звідки приходимо до виразу (2.30).

Імпульсні завади, що виникають на затисках локомотивних приймальних котушок при проїзді ізолюючих стиків і при проїзді стрілок візуально різні, проте аналіз їх опублікованих властивостей показує, що їх можна описати виразом:

$$v_p(t) = U_{mp} \cdot e^{-a \cdot (t - \tau_p)^2} \cdot \sin[\beta \cdot (t - \tau_p) + \gamma\pi] \quad (2.31)$$

де U_{mp} – амплітуда завадового імпульсу;

α та β – відомі величини, що визначаються відомою швидкістю руху локомотива, а також конструкція котушок та елементів їх підвісу до локомотиву;

τ_p – зрушення середини завад по відношенню до точки початку відліку часу;

γ – коефіцієнт, який приймається 0,5 для завади, викликаной проїздом стрілки, та 1,0 для завади, викликаной проїздом ізолюючого стику

Невідомими величинами в виразі (2.31) є U_{mp} та τ_p , а величину γ можна вважати умовно відомою (наприклад, можна використовувати два канали обробки, кожен для своєї величини γ).

Завада від ЛЕП може бути описана наступним виразом:

$$v_E(t) = U_{mE} \cdot \sin(\omega_E t + \phi_E) \quad (2.32)$$

де U_{mE} – амплітуда завади;

ω_E – кутова частота напруги ЛЕП. Це відомий параметр;

ϕ_E – початкова фаза завади від ЛЕП.

Невідомими величинами в вираженні (2.32) є U_{mE} та ϕ_E .

Таким чином, вирази (2.30-2.32) визначають склад сукупності параметрів, що підлягають спільній оцінці в процесі прийому сигналу на фоні динамічної багатокомпонентної завадової обстановки.

Плідним вирішенням завдання завадостійкого приймання сигналу на тлі сукупності різних завад може служити спільна оцінка параметрів сигналу й завад з наступним винесенням рішення про вид прийнятого сигналу. Розглянуто ситуацію, коли сигнал спостерігається в адитивній суміші одночасно з трьома завадами найпоширеніших типів. Показано, що моделями двох з них можуть служити детерміновані функції часу з невідомими параметрами, а моделлю третьої завади – гауссівський стаціонарний випадковий процес.

2.3.4.2 Комп'ютерне імітаційне моделювання каналу зв'язку між рейковим колом та вхідними пристроями АЛСН

Для розуміння процесів, що проходять в системі АЛСН, побудуємо математичну модель каналу зв'язку між рейковим колом та вхідними пристроями системи за допомогою програмного середовища MATLAB та розширення Simulink [142-146].

Рейкове коло представимо у вигляді еквівалентної схеми заміщення наведеної у підрозділі 2.3.3 цього розділу. Для побудови вхідних пристроїв системи АЛСН скористаємося найбільш наглядним та простим для сприйняття варіантом

представлення схеми фільтру частотою 50 Гц (рис. 2.12). При цьому перший контур фільтра включатиме індуктивність двох приймальних котушок, а також індуктивність зв'язку L_1 , утворену вхідним колом трансформатора $TP1$ і конденсатором $C1$. Добротність цього контуру та обрані параметри всіх елементів схеми відображають реальні параметри фільтру, детально розглянуті в пункті 2.3.2 даної роботи. Також до цього контуру входить джерело e , яке генерує сигнали АЛСН. Другий контур складено іншою обмоткою трансформатора з індуктивністю L_2 та конденсатором $C2$ (ці елементи фільтру розміщені в блоці підсилювача). Добротність та обрані параметри всіх елементів схеми відповідають реальним параметрам підсилювача, детально розглянуті в пункті 2.3.2 даної роботи.

На рис. 2.22 зображена побудована в програмному середовищі MATLAB математична модель. Вона складається з наступних блоків:

- Pulse Generator - генератор коду «З», коду «Ж», коду «ЧЖ», який створює комбінації інтервалів та імпульсів певної тривалості, що точно відображають комбінації реальних кодових сигналів;
- Scope – осцилограф;
- AC Voltage Source – джерело змінної напруги;
- Ideal Switch – перемикач;
- Current Measurement – вимірювач струму;
- Kotushka 1, Kotushka 2 – приймальні котушки;
- C1, C2 – конденсатори;
- Pitayushchiy Transformator – POBS – живлячий трансформатор - ПОБС;
- Shunt – нормативний опір шунта (0,06 Ом);
- Linear Transformer 1 – лінійний трансформатор вхідного кола приймальних пристроїв автоматичної локомотивної сигналізації;
- Rizk – опір ізоляції колії;
- Rvx – навантаження підсилювача.

Задамо параметри кожному блоку математичної моделі відповідно до реальних параметрів всіх вузлів системи, розглянутих у пункті 2.3.2 цієї роботи. З розрахунків

взаємної індуктивності між рейками та приймальними котушками, проведеними вище, визначене значення $M = 3,16$ Гн також підставимо до параметрів блоку Mutual Inductance математичної моделі. Зведемо всі параметри математичної моделі в табл. 2.7.

Таблиця 2.7 – Складові елементи математичної моделі та їх параметри

№ п/п	Елементи будови системи АЛСН			Значення параметрів (одиниці вимірювань)	
	Назва	Складові елементи схеми	Позначення на схемі		
1.	Колійні пристрої АЛС	Джерело живлення	Generator	Pulse Generator	Ампл 1,2, пульс 50 %
				Ideal Switch	Отк/Закр 0,001/1000 (Ом)
				Carrent Measurement	Датчик амплітуди струму
				AC Volage Source	6 (В)
				Scoupe	Осцилограф (2 вікна)
				Carrent Measurement1	Амплітуда струму
2.	Живлячий трансформатор	Pitayushchiy Transformator	POBS 1, 2 (обмотки)	4,3218 (Ом) 0,55027 (Гн) 0,7938 (Ом) 0,10107 (Гн)	
3.	Рейкова лінія	Relsovaya liniya	Rk1	1 (Ом)	
4.			Rk2	1 (Ом)	
5.			Rizk	100 (Ом)	
6.			C1	$50 \cdot e^{-9}$ (Ф)	
7.			Shunt	0,06 (Ом)	
8.	Локомотивні пристрої АЛС	Вхідні пристрої локомотива	Приймальні котушки локомотива	Kotushka 1	7,0 (Гн)
9.				M1	3,16 (Гн)
10.				Kotushka 2	7,0 (Гн)
11.				M2	3,16 (Гн)
12.		Вхідний контур фільтра	Цифрові вимірювачі струму	C2 2	0,75 (мФ)
13.				R vx	1,0 (кОм)
14.				Linear Transformer 1	0,002 (Ом), 0,08 (Гн)
15.		Загальні прилади	Керуючий блок	Carrent Measurement 3	Датчик амплітуди струму
16.				Carrent Measurement 4	Датчик амплітуди струму
17.				Carrent Measurement 5	Датчик амплітуди струму
18.	Загальні прилади	Керуючий блок	Powergui	Системні налаштування	
19.			Multimetr	Системні налаштування	
20.			Scope1	Осцилограф (5 вікон)	
21.	Блок генерації перешкод	Схема формування сигналів	Controlled Current Source	Амплітуда струму	
			Timer	Інтервал часу	

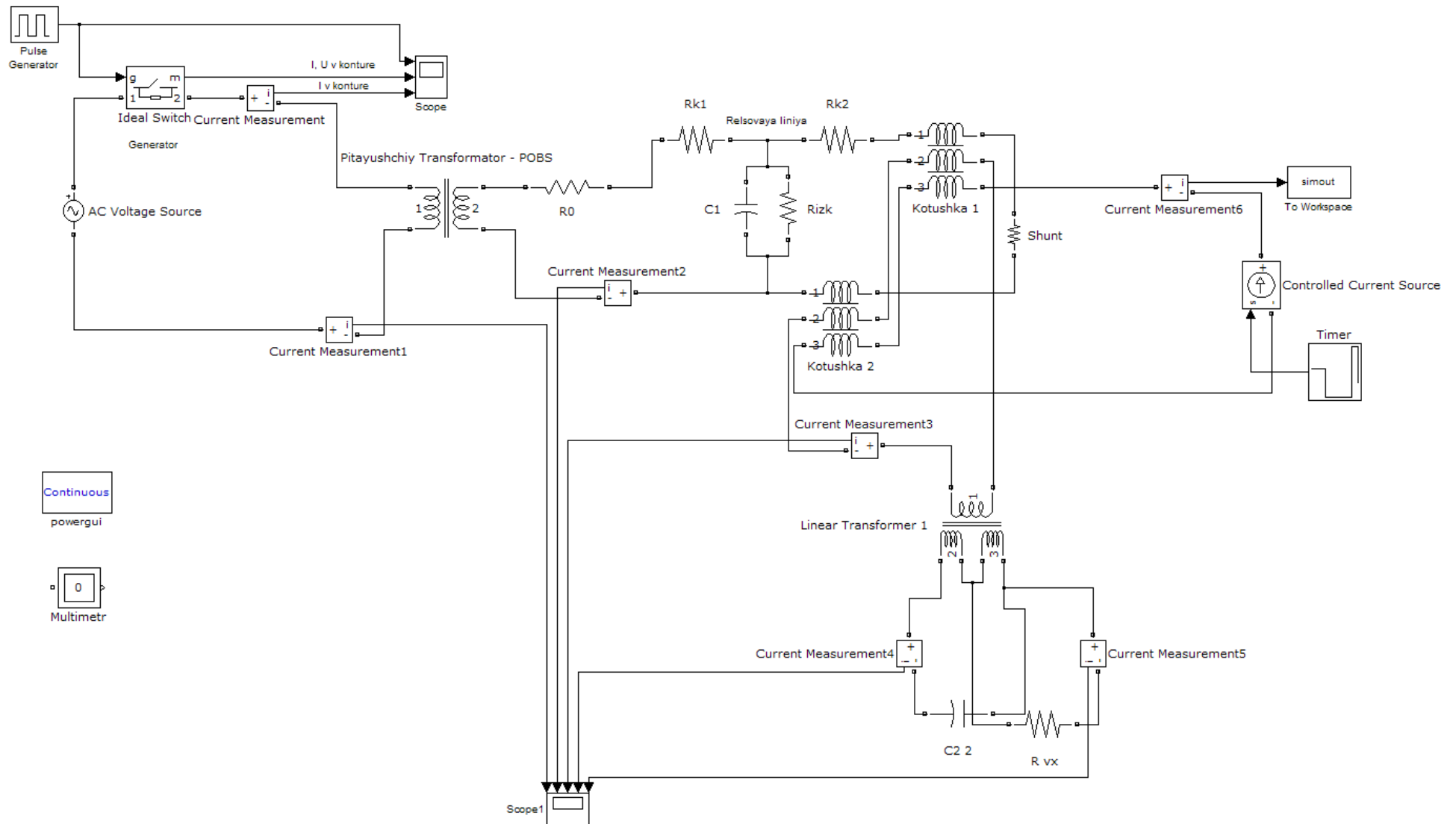


Рисунок 2.22 – Математична модель каналу зв'язку між рейковим колом та вхідними пристроями АЛСН

Джерелом живлення рейкового кола кодовим струмом виступають блоки: AC Voltage Source, Pulse Generator та Ideal Switch. На первинну обмотку живлячого трансформатора Pitayushchiy Transformator – POBS надходить кодовий сигнал з електричного перемикача Ideal Switch, що являє собою результат взаємодії блоків AC Voltage Source та Pulse Generator, які є джерелом неперервного живлення змінного струму та генератором пульсуючого сигналу відповідно. При цьому у блоці Pulse Generator задається значення часових змін виробленого у блоці AC Voltage Source змінного струму і таким чином виробляється кодовий сигнал, який і надсилається у рейкове коло.

З вторинної обмотки живлячого трансформатора POBS кодовий сигнал надсилається до рейкової лінії, представленою схемою заміщення. Кодовий струм індукуюється з рейкової лінії на приймальних котушках (Kotushka 1, Kotushka 2) та замикається первинною обмоткою трансформатора Linear Transformer 1. Від частини вторинної обмотки трансформатора Linear Transformer 1 прийнятий сигнал подається в перший каскад підсилювача з навантаженням. Завдяки індуктивному зв'язку і налаштуванню контурів в резонанс вони створюють фільтр, який пропускає з невеликим затуханням лише певну смугу частот, тобто є сукупністю, що мають фільтруючі властивості. Такий фільтр електрично еквівалентний двом послідовно з'єднаним контурам: послідовному з елементів першого контуру (приймальних котушок і конденсатора C1) і паралельного контуру (з індуктивним опором зв'язку і конденсатором C2). Подібна система з контурів має дві частоти послідовного і одну паралельного резонансу.

Для вимірювання значень і візуалізації виду сигналів в моделі на кожному блоці застосовано власний осцилограф Score, який під'єднується до електричних кіл за допомогою спеціального вимірювального датчика Current Measurement. Для вимірювання різних значень сигналів додано блок Multimetr. Powergui – це загальний блок, який необхідний для роботи усієї схеми. За необхідності впливати на якість прийому кодів котушками шляхом створення завад передбачено блок Controlled Current Source, який керується за допомогою блока Timer.

Комп'ютерна модель фільтру, так само як і реального, має смугу пропускання приблизно 14 Гц і пригнічує завади з частотою нижче 10 Гц, індуковані в результаті коливань приймальних котушок у магнітному полі тягового струму при русі локомотива, а також в результаті впливу гармонік з частотою 100 Гц і вище, наявних в контактній мережі.

2.3.5 Результати моделювання

Спочатку розглянемо вигляд амплітудно-часових параметрів кодів АЛСН. Для цього представимо часові залежності кодових струмів ідеальних кодів «З», «Ж», «ЧЖ» у вигляді графіків (рис. 2.23).

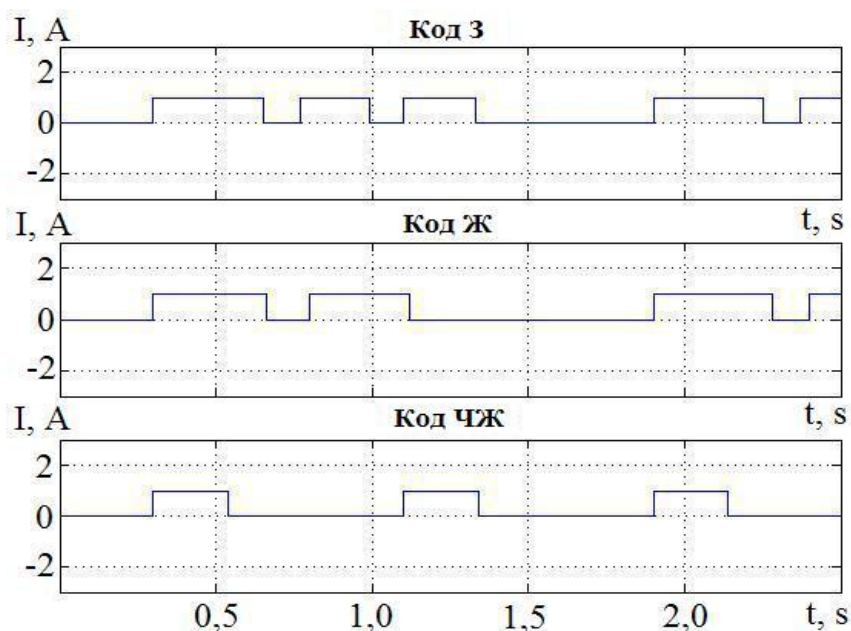


Рисунок 2.23 – Часові залежності ідеальних кодових сигналів «З», «Ж», «ЧЖ»

Далі наведемо результати моделювання, а саме часові залежності зміни струму в рейковій лінії математичної моделі при подачі на її вхід кодів «З», «Ж», «ЧЖ», отримані за допомогою Matlab, зображені на рис. 2.24-2.26 [142-146]. Для порівняння також наведемо зображення кодових сигналів без завад, виміряних у фізичному рейковому колі (рис. 2.27-2.29).

З результатів моделювання видно, що розроблена модель рейкового кола не спотворює ідеальні коди «З», «Ж», «ЧЖ» і не вносить завади у сигнальний струм в рейках. Можна зробити висновок, що вони задовільнено співпадають.

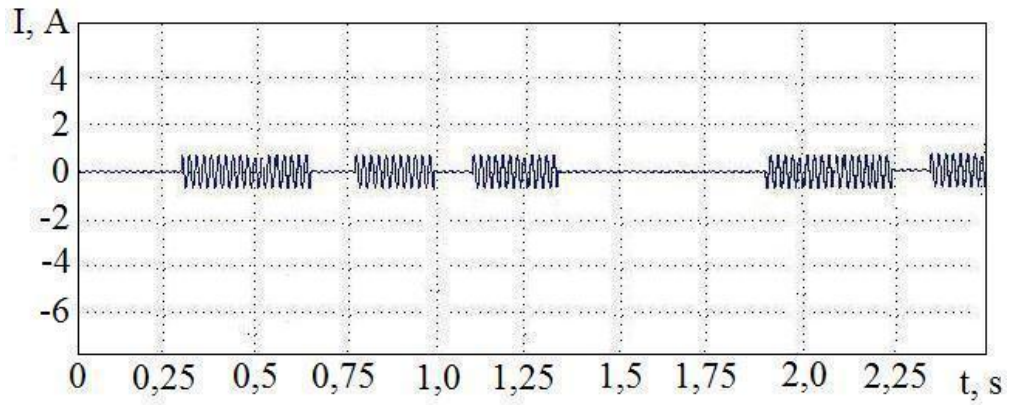


Рисунок 2.24 – Кодовий сигнал «З» в рейковій лінії моделі

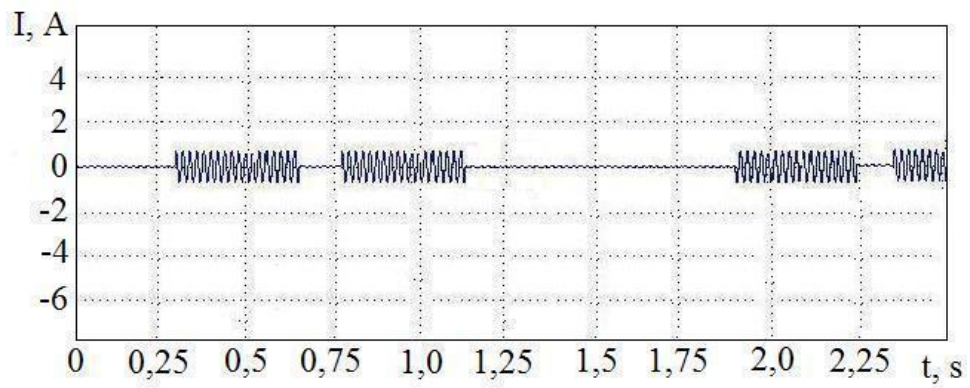


Рисунок 2.25 – Кодовий сигнал «Ж» в рейковій лінії моделі

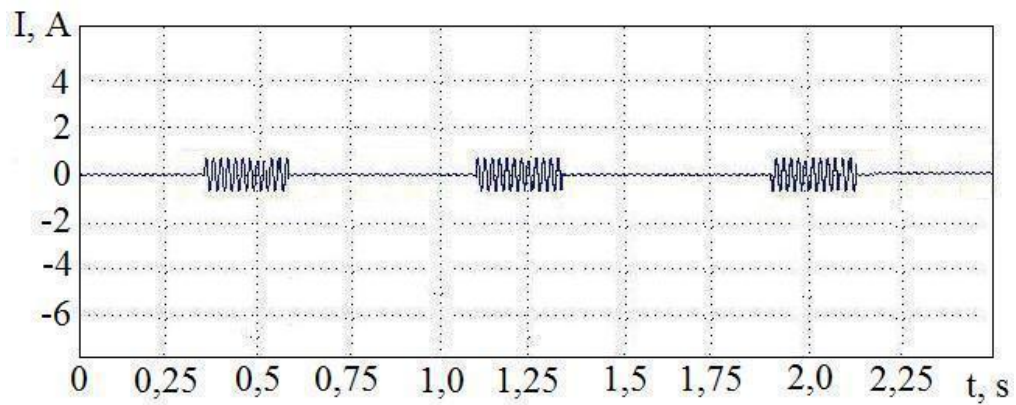


Рисунок 2.26 – Кодовий сигнал «ЧЖ» в рейковій лінії моделі

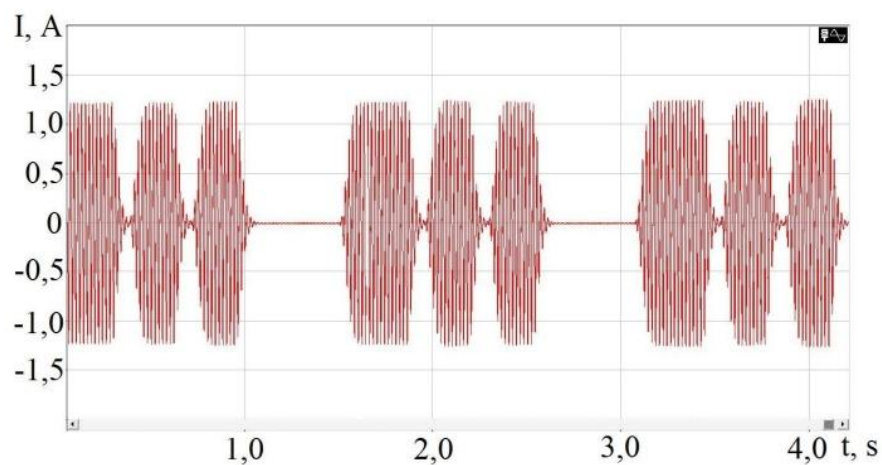


Рисунок 2.27 – Кодовий сигнал «З» записаний з рейкової лінії

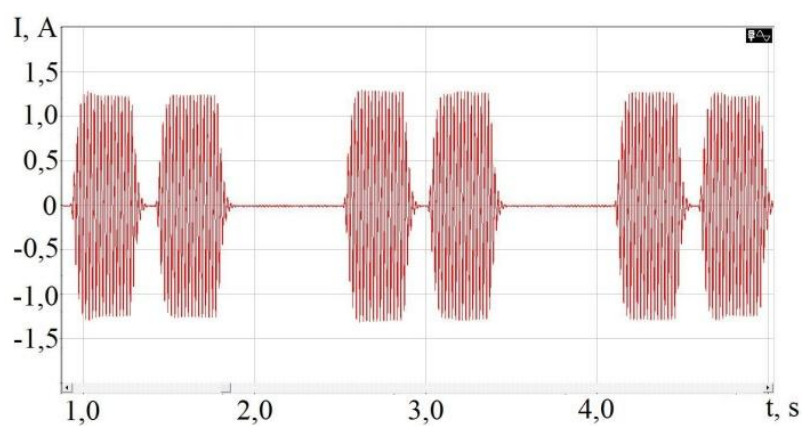


Рисунок 2.28 – Кодовий сигнал «Ж» записаний з рейкової лінії

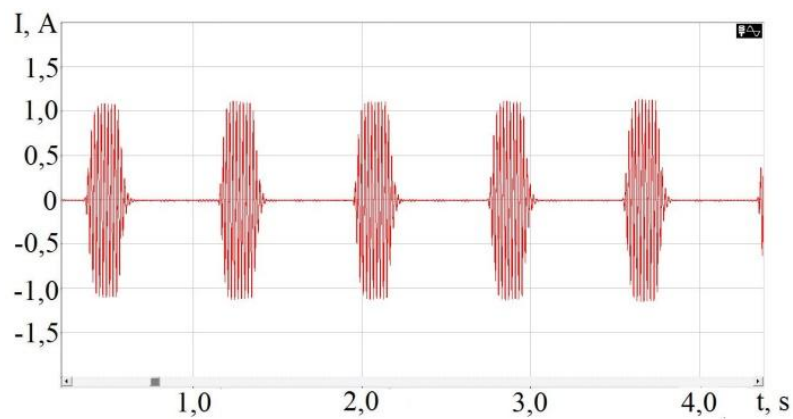


Рисунок 2.29 – Кодовий сигнал «ЧЖ» записаний з рейкової лінії

Далі розглянемо як буде працювати дана модель вхідних пристроїв АЛСН в умовах наступних завад: адитивних імпульсних завад на залізницях постійного струму, викликаних намагнічуванням кінців рейок і гостряків стрілок, адитивної завади, обумовленої близьким розташуванням залізничної колії і лінії електропередачі (ЛЕП), а також адитивної стаціонарної випадкової завади, що має гауссівську щільність розподілу ймовірностей миттєвих значень. При цьому ми вважаємо, що ця адитивна суміш спостерігається нами у вигляді напруги $u(t)$ на затискачах приймальних локомотивних котушок (t – час). Перед дослідженням впливу завад на роботу моделі для наочності порівняння відслідкуємо поведінку моделі при подачі ідеального без завад коду. Оберемо один тип кодового сигналу (код «З»), виміряний на виході моделі та в реальних умовах експлуатації за допомогою вагон-лабораторії. На рис. 2.30 зображено кодовий сигнал «З» на виході моделі, а на рис. 2.31 – кодовий сигнал «З» записаний з вагон-лабораторії. При порівнянні тривалості періодів сигналів, їх форм та амплітудних значень, які знаходяться в обох випадках у теоретично визначеному діапазоні, приходимо до висновку, що вони задовільнено співпадають.

На рис. 2.32 і 2.33 приведено код сигналу «З» під впливом адитивної стаціонарної випадкової завади, що має гауссівську щільність розподілу ймовірностей миттєвих значень на виході моделі та записаного з вагон-лабораторії. Дослідження форми та амплітуди значень даного виду завади доводить їх аналогічність один одному, а тому підтверджують відповідність реакції моделі на зовнішній вплив експериментальним вимірам вагон-лабораторії.

Вплив адитивної завади, обумовленої близьким розташуванням залізничної колії і лінії електропередачі (ЛЕП) для моделі приведено на рис. 2.34, а на рис. 2.35 – для сигналу записаного з вагон-лабораторії. Практично ідентична відповідність розглянутих сигналів дозволяє стверджувати про адекватність моделі у порівнянні з реальною системою АЛС.

Наступним порівнянням промодельованих та виміряних сигналів є їх аналіз під впливом адитивних імпульсних завад на залізницях постійного струму, викликаних намагнічуванням кінців рейок і гостряків стрілок (рис. 2.36, рис. 2.37).

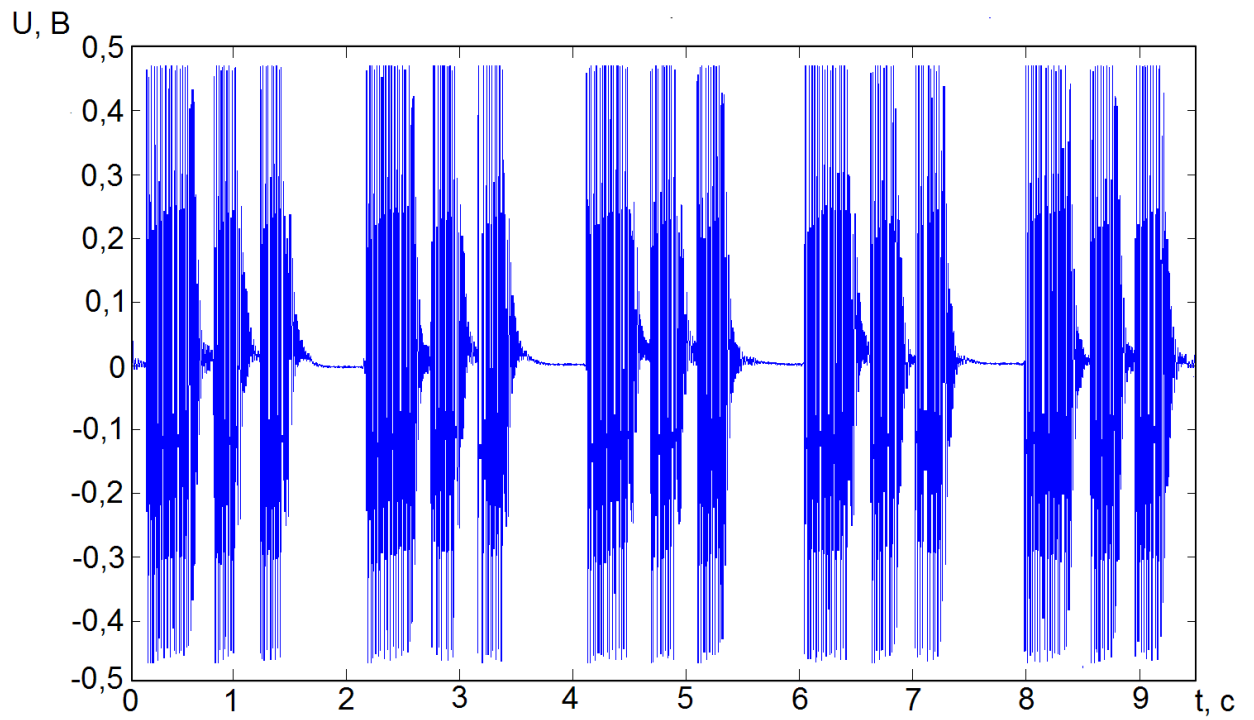


Рисунок 2.30 – Кодовий сигнал «3» на виході фільтру моделі

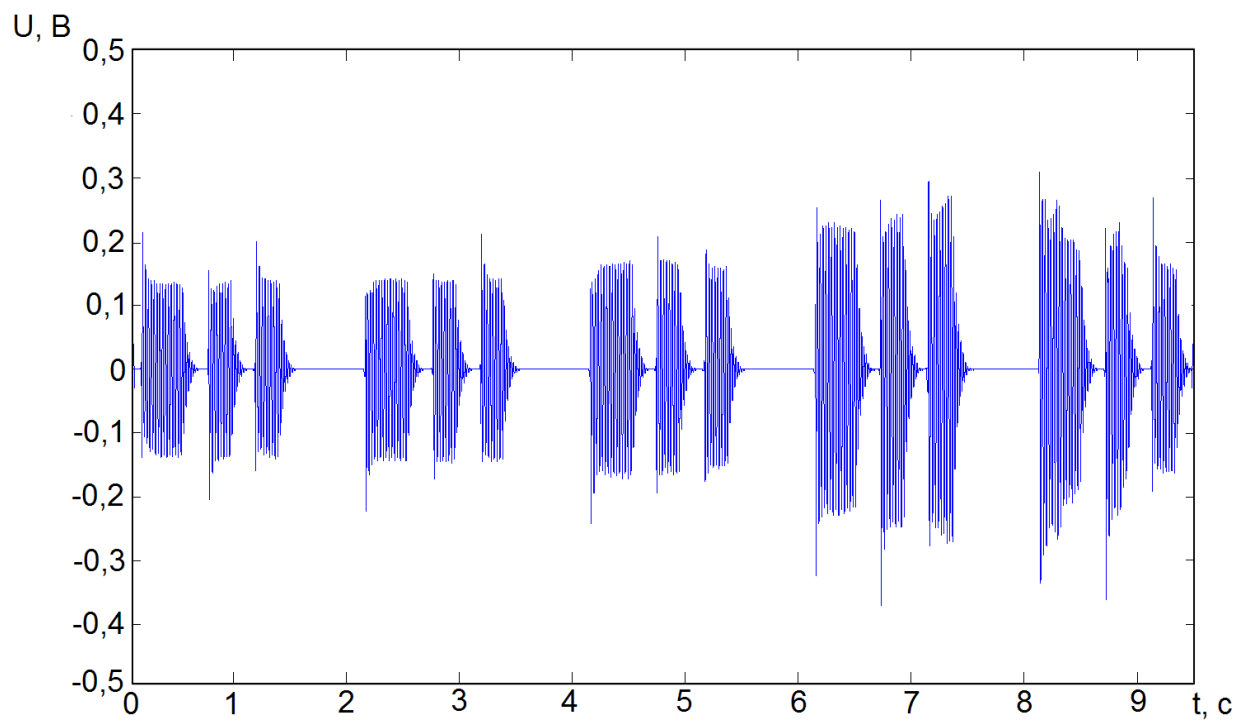


Рисунок 2.31 – Кодовий сигнал «3» виміряний вагоном-лабораторією

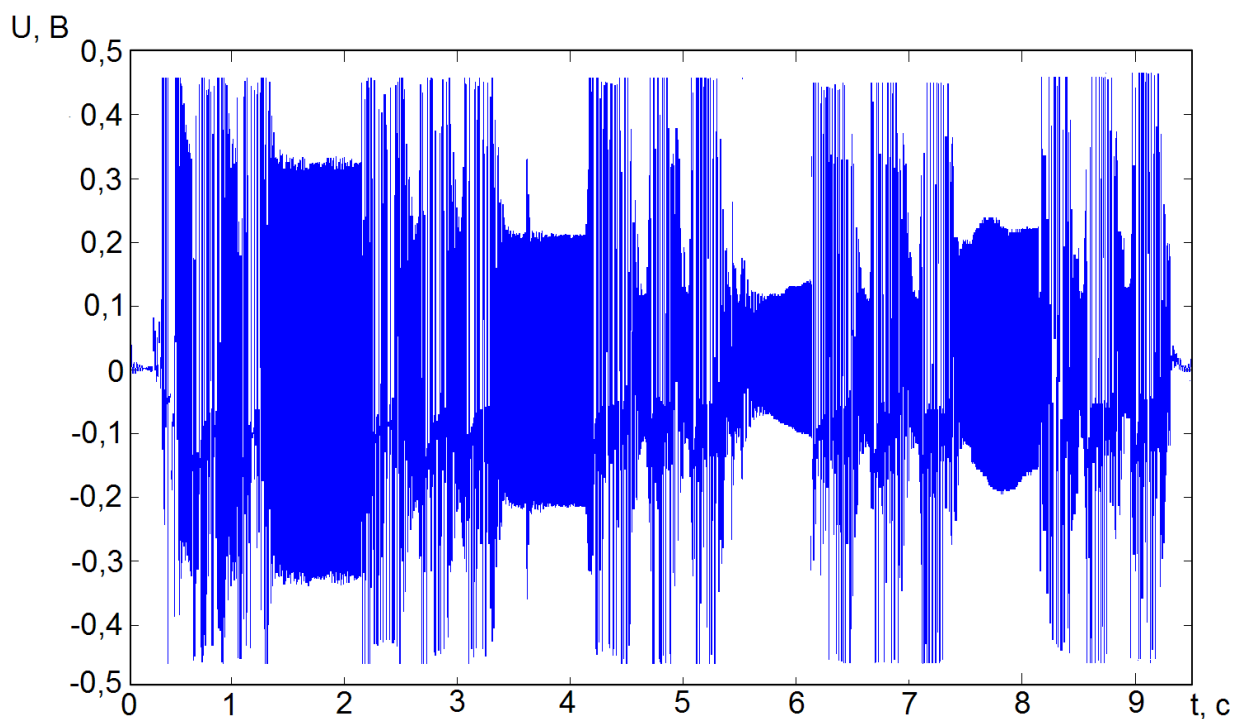


Рисунок 2.32 – Кодовий сигнал «3» на виході фільтру моделі під впливом стаціонарної випадкової завади

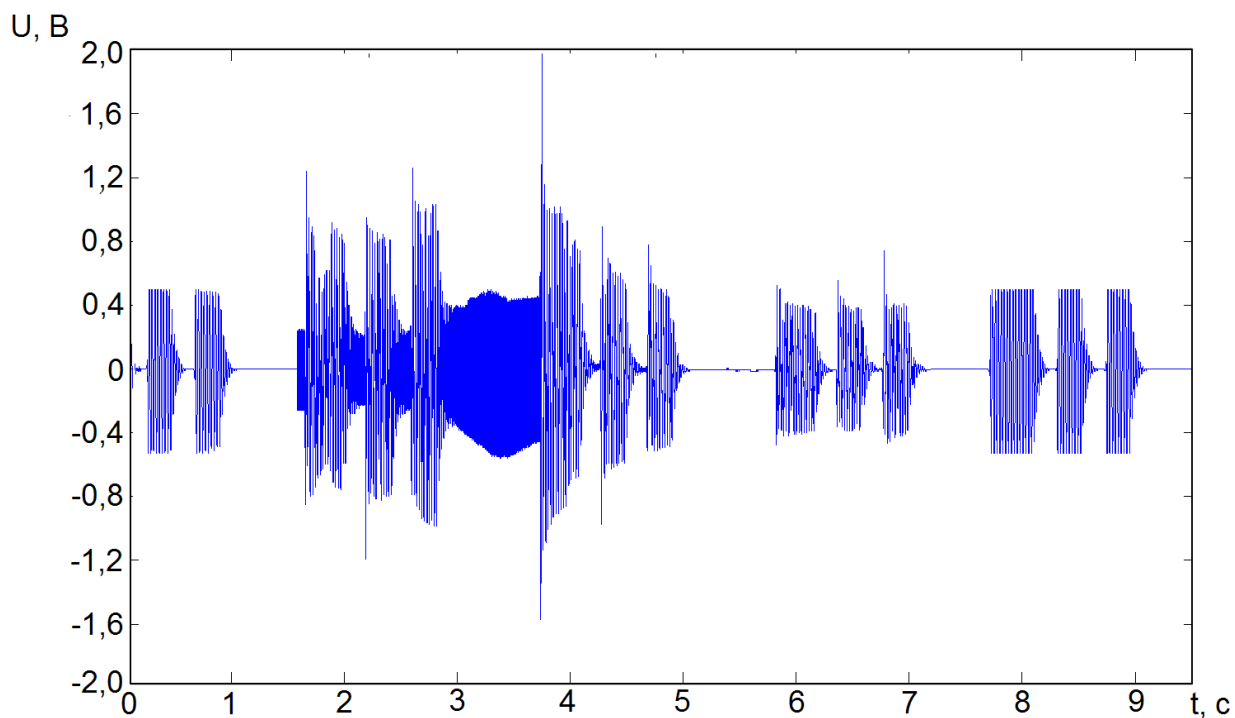


Рисунок 2.33 – Кодовий сигнал «3» виміряний вагоном-лабораторією під впливом стаціонарної випадкової завади

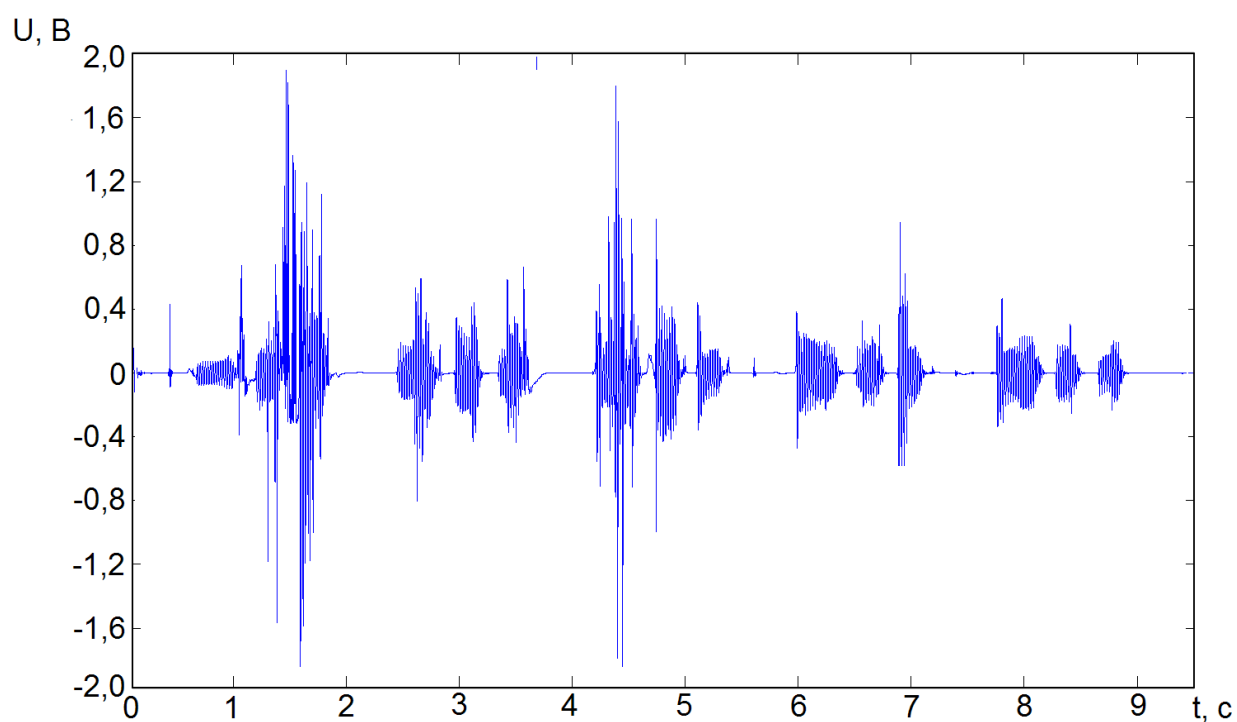


Рисунок 2.34 – Кодовий сигнал «3» на виході фільтру моделі під впливом завад від ЛЕП

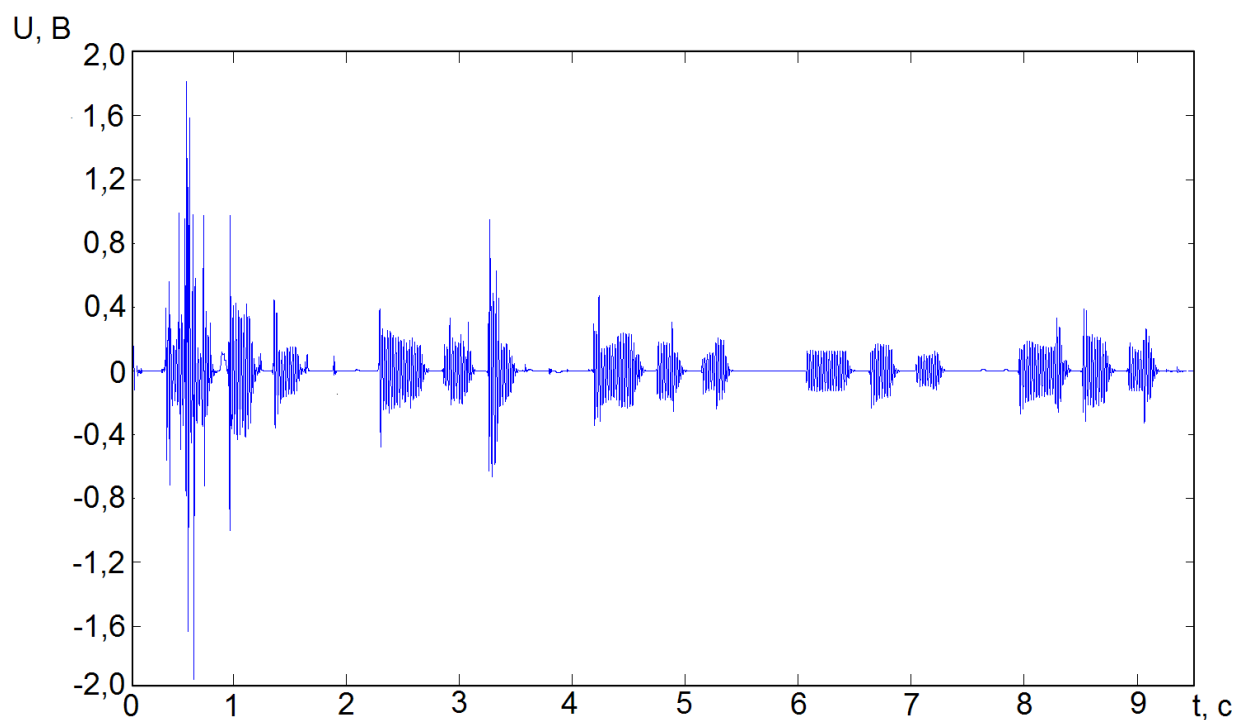


Рисунок 2.35 – Кодовий сигнал «3» виміряний вагоном-лабораторією під впливом завад від ЛЕП

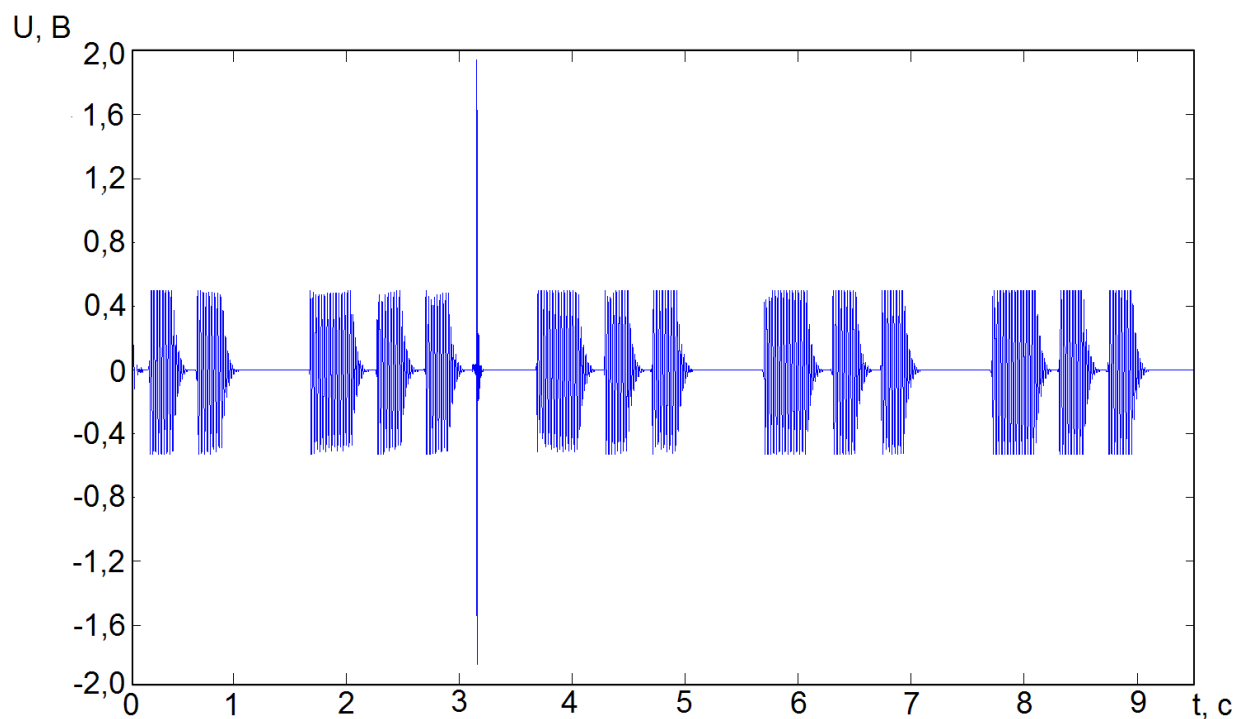


Рисунок 2.36 – Кодовий сигнал «3» на виході фільтру моделі при намагніченості рейок

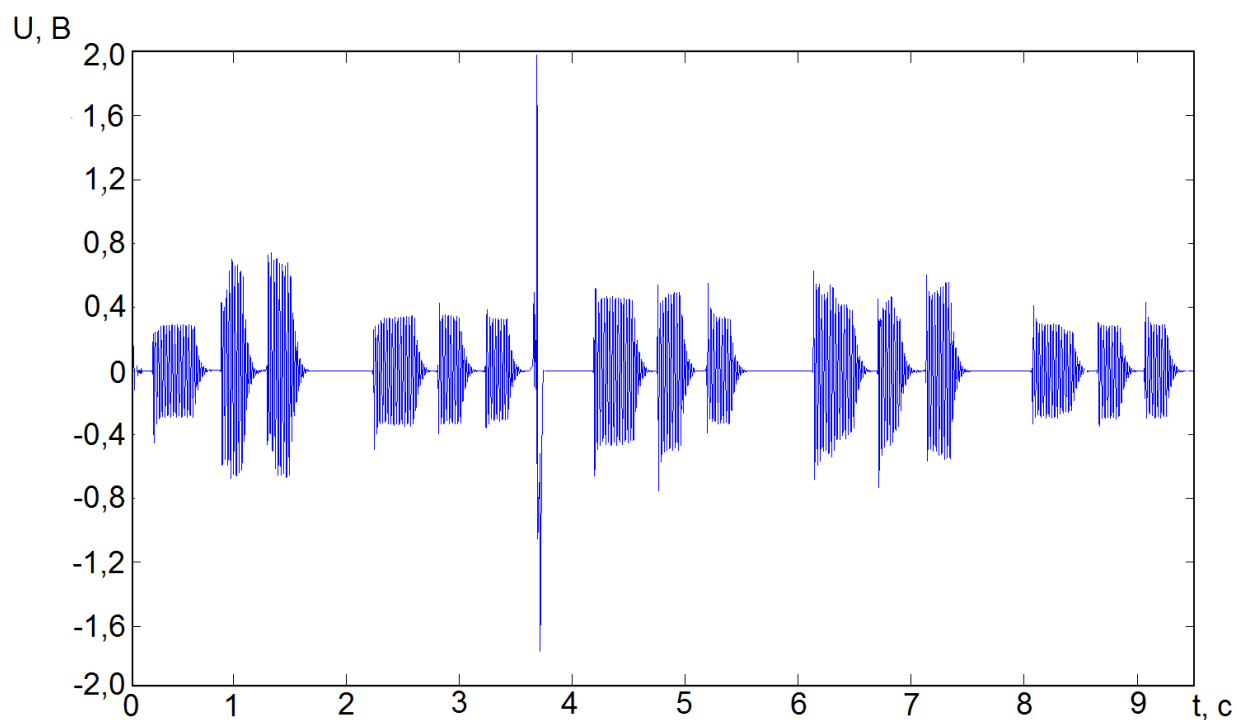


Рисунок 2.37 – Кодовий сигнал «3» виміряний вагоном-лабораторією при намагніченості рейок

З отриманих зображень видно, що даний вид завад на кожний з представлених сигналів має однаковий вплив, що також підтверджує адекватність розробленої моделі.

Порівнюючи результати вимірювань кодових сигналів вагоном-лабораторією з результатами моделювання математичної моделі вхідних пристроїв системи автоматичної локомотивної сигналізації неперервного типу з числовим кодуванням у вигляді еквівалентної схеми заміщення фільтру частотою 50 Гц та рейкового кола, по якому протікає сигнальний струм, можна встановити, що результати моделювання співпадають з експериментом, що є основою узагальнення. Тобто розроблена комп'ютерна модель вхідних пристроїв приймача АЛСН є адекватною.

Завдяки цьому стає можливим експериментальне вивчення роботи АЛСН в умовах виникнення завад та спотворення кодового сигналу, а також дослідження та визначення поведінки схеми під час нормального режиму експлуатації та під час впливу різних завад без виїзду в зону дії завад у віртуальному середовищі математичного пакету MATLAB+Simulink. Що в свою чергу, робить реальним можливість моделювання появи ймовірних складних ситуацій [147-151], що призводять до збоїв кодів, та розробки способів виявлення, попередження, захисту дії пристроїв від них та застосовування різних схемних рішень для зменшення впливу завад на функціональну здатність АЛСН.

2.4 Висновки до другого розділу

За матеріалами, викладеними у розділі, зробимо такі висновки:

1. Електричні завади будь-якого походження носять негативний вплив на роботу локомотивних пристроїв системи САР, але особливе місце серед них займає заважаючий вплив ЛЕП, що перетинають під різним кутом колію. З причини того, що відсутня можливість уникнути, оминати чи запобігти проїзду даних ділянок колії електрорухомим складом - постає вагома проблема захисту від цього виду завад.

2. Проблема захисту від впливу ЛЕП особливо актуальна на ділянках з електричною тягою постійного струму та автономною тягою, коли пристрої

локомотивної сигналізації працюють на частоті 50 Гц і методи частотного розділення сигналу і гармонійної завади не застосовуються. До того ж вплив ЛЕП умовно можна поділити на прямий і непрямий, а існуючі способи захисту, як правило, нівелюють прямий вплив магнітного поля на котушки. При цьому теоретичні дослідження показують, що рівень завади визначається в основному непрямим впливом.

3. Дослідження впливу ліній електропередач (750 кВ, 50 Гц) на роботу системи АЛСН, що були виконані в реальних умовах в місцях косоного перетину залізничних колій на перегоні Пришиб-Бурчацьк в Запорізькій області (електрична тяга постійного струму) та на перегоні Привільне-Слізарове Придніпровської залізниці (автономна тяга) як засобами вагон-лабораторії, так і безпосередньо на рейкових лініях, показали, що тимчасові залежності кодів АЛСН з частотою сигнального струму 50 Гц безпосередньо під ЛЕП і на відстані від неї як у відсутності поїзда так і при його проходженні сильно спотворені. Величина найбільшої завади досягає понад 1 В, що приблизно еквівалентно заважаючому струму в рейках величиною 6 А. Отримані значення напруженості електричного поля в діапазоні промислової частоти безпосередньо під ЛЕП і в міру віддалення від неї по залізничній колії також підтверджують вагомий вплив електромагнітного поля лінії електропередачі на роботу АЛСН.

4. Значні збої в кодах АЛСН на ділянці, де проводилися дослідження, відбуваються скоріше з причини непрямого впливу ЛЕП на приймальні котушки, ніж з причини прямого впливу. Для захисту від них на даній ділянці колії рівень сигнального струму вимушено збільшений відносно нормативного, що в свою чергу порушує нормальну роботу рейкових кіл, створюючи значні ризики безпеки руху поїздів. Тому і надалі залишається актуальною робота по вивченню даної проблеми та розробці нових методів і засобів захисту.

5. Для побудови математичної моделі каналу зв'язку між рейковим колом та вхідними пристроями АЛСН було розглянуто структуру та визначені параметри кожного вузла системи АЛСН, проведено дослідження каналу передачі сигналу на локомотив та впливу неоднорідностей рейкової лінії на приймання сигналів АЛСН,

проаналізовані фізичні процеси в системі індуктивного зв'язку приймальних котушок і рейок, розраховане значення взаємодуктивності між ними. Це надало змогу більш глибоко розкрити багатofакторний процес виникнення завад в каналі передачі сигналів на локомотив і працювати над створенням адекватної комплексної математичної моделі.

6. Розроблена комплексна математична модель каналу зв'язку між рейковим колом та вхідними пристроями АЛСН в середовищі Simulink пакету MatLAB, наведена математична модель сигналів під впливом завад, що діє на вході локомотивного приймача системи, аналітично описані імпульсні завади від локальних магнітних неоднорідностей рейкової лінії, квазігармонічна завада від ліній електропередач і стаціонарна випадкова завада, які адитивним чином об'єднані між собою. Створена модель надає змогу імітувати роботу АЛСН і досліджувати поведінку системи під дією різних за походженням завад в умовах експерименту. Також вона може бути використана для віртуальних випробувань з метою подальшого вивчення характеристик системи та розробці захисних заходів по підвищенню завадостійкості. В якості дієвого інструменту, створену модель можна задіяти в процесі вибору методів і технічних засобів систем автоматичного регулювання, на базі яких буде організовано швидкісний рух, і якому повинні передувати відповідні дослідження електромагнітного середовища уздовж залізничної колії.

7. Наведені результати комп'ютерного моделювання сигналу на виході фільтра системи АЛСН при подачі на її вхід різних кодових комбінацій без спотворень, досліджено характеристики імітаційної моделі вхідних пристроїв системи під впливом завад, виконано оцінку функціональних можливостей моделі для подальшого розвитку методів кореляційного прийому кодів АЛСН за спектральною ознакою з метою отримання більш детальних досліджень, які, в першу чергу, повинні бути спрямовані на отримання практичних результатів. Результати моделювання отримані для вхідних сигналів та виміряні вагоном-лабораторією, задовільно співпадають, що є основою узагальнення і підтверджують адекватність побудованої моделі.

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБКА МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ ЗАВАД У СИГНАЛЬНОМУ СТРУМІ АВТОМАТИЧНОЇ ЛОКОМОТИВНОЇ СИГНАЛІЗАЦІЇ

3.1 Методи та засоби контролю параметрів кодового струму АЛС

До основних параметрів, що визначають достовірну стійку передачу сигналів із колії на локомотив, відносяться струм локомотивної сигналізації в рейках, який нормується за значенням струму на віддаленому кінці РК, та тривалістю імпульсів і інтервалів електричних сигналів [107-111]. Значення змінного струму кодових сигналів АЛС (без врахування пауз) у рейках вхідного кінця при мінімально припустимому опорі баласту та шунтуванні цього кінця шунтом ШУ-01м або в кодованому шлейфі, повинне бути не менше: 1,2 А при частоті струму 50 Гц на дільницях без електротяги; 1,4 А при частоті струму 25 Гц і 75 Гц на дільницях без електротяги; 2,0 А на дільницях з електротягою постійного струму; 1,4 А на дільницях з електротягою змінного струму. Максимальний кодовий струм на вихідному кінці РК не більше 25 А. Інформаційним параметром кодової послідовності автоматичної локомотивної сигналізації є число імпульсів і інтервалів у сигналі.

Електричні сигнали, які надходять на вхід дешифраторів кодового автоблокування і автоматичної локомотивної сигналізації повинні відповідати певним вимогам декодування. Велика увага приділяється першому імпульсу кодової комбінації, так як від нього спрацьовує реле 1 лічильної групи дешифраторів. Тривалість першого імпульсу повинна бути достатньою для заряду конденсатора, який забезпечує уповільнення на відпускання якоря реле 1, тому тривалість імпульсу обмежується тільки в сторону зменшення. Зменшення тривалості коротких інтервалів кодів АЛС обмежується часом спрацьовування реле 1А і 2А, які фіксують ці інтервали. Збільшення тривалості коротких інтервалів викликає відпускання якоря реле 1. Таким чином, тривалість коротких інтервалів лімітується як по зменшенню, так і по збільшенню. Найменша тривалість паузи в кінці кодової комбінації на контактах імпульсного реле підсилювача повинна складати 500 мс, що пов'язано з реле лічильної групи дешифратора 1, 1А і 2 А, які повинні встигнути

відпустити свої якоря. Слід зазначити, що період кодового циклу залишається незмінним, тому збільшення тривалості імпульсів викликає таке ж зменшення інтервалів. Допустимі тривалості імпульсів і інтервалів кодових комбінацій наведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Допустимі тривалості імпульсів і інтервалів кодових комбінацій

Символ кодових комбінацій	Допустимі тривалості імпульсів і інтервалів, с					
	Кодовий трансмітер	На контактах трансмітерного реле вхідного РК	На контактах імпульсного реле підсилювача	В рейках під приймальними котушками	На контактах колійного реле	В рейках на релейному кінці
Короткий інтервал	0,12	0,11-0,17	0,07-0,19	0,05-0,17	0,07	0,11
Перший імпульс	0,35	0,3-0,36	0,25	0,27	0,2	0,2
Перший імпульс КЖ	0,23	0,18-0,24	0,12	0,14	0,16	0,16
2ий і 3ий імпульси	0,22	0,17 –0,23	0,07	0,09	0,07	0,7
Довгий інтервал	0,57	0,56-0,62	0,5	0,48	0,52	0,56

Вимірювання кодового струму автоматичної локомотивної сигналізації проводиться електромеханіком і електромонтером на вхідному кінці рейкового кола у вільний від руху поїздів час один раз на рік. Також вимірювання обов'язково проводять при виявленні причин збою в роботі пристроїв АЛС, після регулювання параметрів та заміні кодової апаратури РК, за результатами перевірки вимірювальним комплексом вагон-лабораторії, при заміні трансмітерних реле електромеханіком (при цьому перевіряється тривалість першого інтервалу між імпульсами кодового циклу).

Для проведення вимірювань ручною працею використовується таке обладнання: перетворювач струму А9-1, комбінований прилад Ц4380, шунт ШУ-01м опором $(0,06 \pm 0,003)$ Ом, вимірник часових параметрів (імпульсів та інтервалів) кодів АЛС, гайкові торцеві ключі, кондукторська сумка, засоби зв'язку з черговим по станції, Журнал технічних перевірок пристроїв СЦБ (форма ШУ-64) на станції, відомість (форма ШУ-79) на перегоні, блокнот, авторучка, сигнальний жилет.

Існують наступні методи вимірювання струму в рейках в проміжку між поїздами [110, 111]:

- метод вимірювання струму локомотивної сигналізації з шунтуванням рейкового кола на вхідному кінці амперметром, опір якого на шкалі вимірювання струму близький або рівний опорю типового шунта 0,06 Ом, але не більше 0,08 Ом. При використанні приладу Ц4380 вимірювання необхідно проводити на шкалі 6 А, при цьому внутрішній опір приладу складає 0,08 Ом, тому отримане значення струму необхідно множити на коефіцієнт 1,3;
- метод вимірювання струму локомотивної сигналізації в додатковій обмотці дросель-трансформатора. Амперметр підключається паралельно цій обмотці без відключення навантаження. Прилад також можна підключити в дросельній муфті, колійній коробці, а також у релейному приміщенні або шафі за умови відсутності в електричному колі (від місця вимірювання до дросель-трансформатора) обмежувального резистора. Величину струму в рейках можна визначити, помноживши показання приладу на коефіцієнт трансформації. Недоліком цього методу є те, що на результат вимірювання впливає внутрішній опір амперметра. Зазвичай використовується амперметр Ц-4380М, який має шкалу 0 - 1,5 А з опором 0,32 Ом;
- метод вимірювання струму локомотивної сигналізації з шунтуванням рейкового кола випробувальним шунтом на вхідному кінці рейкового кола. Даний метод застосовується при відсутності амперметра з низьким вхідним опором. При цьому вимірюється напруга вольтметром будь-якого типу, що має межу вимірювання змінної напруги менше 1 В, на нормативному шунті і ділиться на його опір (0,06 Ом \pm 0,003), в результаті отримаємо значення струму локомотивної сигналізації;
- метод вимірювання безперервного струму, що посилається в РК при перевірці замість імпульсного. Цей метод передбачає участь у вимірі другої людини, який перемичкою шунтирует контакт трансмітерну реле для тимчасової послілки безперервного струму.

Описані вище методи дозволяють контролювати обмежене число параметрів кодового струму. Вимірювання струму в рейках повинні бути достовірними і, по можливості, виключати трудомісткі і тривалі за часом операції, що неможливо здійснити при ручному способі контролю. До того ж проведення вимірювань на перегоні пов'язане з необхідністю суворого дотримання правил техніки безпеки для виключення ураження обслуговуючого персоналу електричним струмом і небезпеки з боку рухомого складу.

Нижче наведена схема, за якою підключаються до рейкового кола для виміру змінного струму кодових сигналів АЛС (рис. 3.1). Для цього необхідно накласти шунт ШУ-01м на вихідному кінці рейкового кола, настроїти перетворювач А9-1 на частоту струму АЛС, встановити його на головку рейки і виміряти струм.

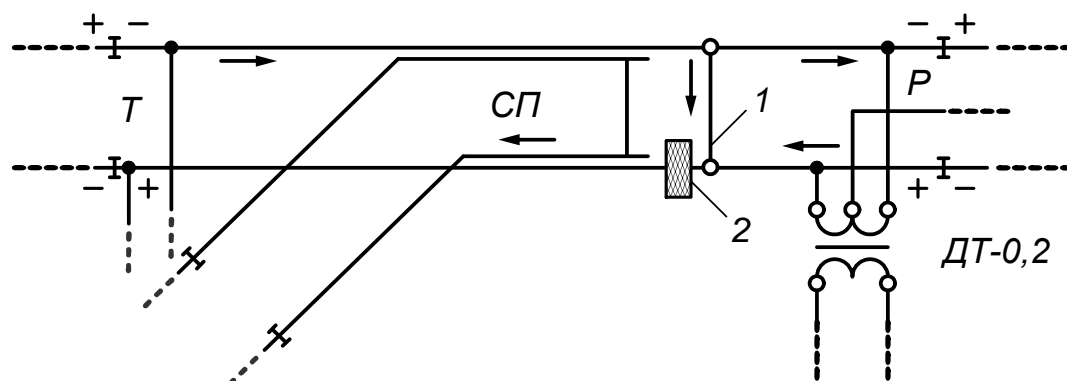


Рисунок 3.1 – Схема вимірювання струму АЛС: 1 – шунт типу ШУ-01м; 2 – перетворювач струму типу А9-І

Для вимірювання кодового струму при кодуванні з релейного кінця необхідно включити схему кодування даної ділянки, вимкнути напругу живильного кінця, а вже потім виконувати вимірювання. При кодуванні з живильного кінця, де живильний трансформатор рейкового кола є одночасно і джерелом кодів АЛС, вимірювання можливе без включення схеми кодування.

Тривалість першого інтервалу між імпульсами кодового циклу вимірюють на рейках контактним чи індуктивним методом при коді З чи Ж в рейковому колі. При зміні напруги живлення трансмітерних реле від мінімально припустимого до максимально припустимого значення тривалість першого інтервалу між імпульсами кодового циклу, яка виміряна на рівні 0,5 амплітуди імпульсу, повинна бути в межах

від 120 мс до 180 мс. Забезпечення відповідності часових параметрів кодів вимогам зводиться до регулювання напруги живлення трансмітерного реле. При цьому трансмітерне реле постійного струму регулюють так, щоб час його спрацьовування перевищував час відпускання не більше, ніж на 0,03-0,05 с, оскільки для трансмітерного реле постійного струму характерно укорочення імпульсів. У трансмітерного реле змінного струму час спрацьовування і відпускання якоря не повинен відрізнятись один від одного більш ніж на 0,01 с [56].

Підсумовуючи аналіз методів та засобів регулювання сигнального струму та контролю відповідності часових параметрів коду з використанням ручної праці, можна відзначити, що вимірювання сигнального струму АЛС відбувається при періодичному контролі режимів роботи рейкових кіл, а контроль часових параметрів кодів – при заміні кодових трансмітерів або при наявності систематичних збоїв кодів АЛС на дільниці. Найбільш характерним з усієї кодової послідовності є тривалість першого імпульсу коду незалежно від типу КПП.

Вимірювання вагон-лабораторією виконуються в дві особи електромеханіками за графіком, затвердженим начальником служби сигналізації та зв'язку, два рази на рік [107-111]. Результати цих перевірок передаються в дистанцію сигналізації та зв'язку і оформлюються актом. Перед проведенням вимірів виконується калібрування апаратури на реальному рейковому колі. При цьому встановлюється відповідність показань кодових сигналів, що вимірюються вагоном-лабораторією, показанням приладу, що здійснює вимір кодового струму безпосередньо в рейковому колі. Далі задаються вихідні дані: визначається тип досліджуваної ділянки (перегін, станція), найменування перегону, довжини і типу РК, завдання частоти дискретизації і кроку квантування, які використовуються при аналого-цифровому перетворенні сигналу. Подальші дії оператора зводяться до спостережень за роботою апаратури. Зчитування інформації з приймальних пристроїв і перевірка на відповідність параметрів рейкових кіл і струму автоматичної локомотивної сигналізації вимогам проводиться в автоматичному режимі. При цьому здійснюється контроль рівнів і спектрального складу завад в рейках з метою виявлення і усунення причин їх виникнення. За результатами

вимірювальних поїздок створюються бази даних, що дозволяють автоматизувати процес пошуку РК, в яких виявлені несправності, і прогнозувати причини їх виникнення.

Перспективними та продуктивними системами оцінки працездатності рейкових кіл та контролю параметрів сигнального струму АЛС є різні системи, що використовуються на базі вагон-лабораторій, такі як «Контроль», «Колос», «Лелека» та ін., які відрізняються між собою способами обробки і збереження даних, отриманих від приймальних котушок, встановлених перед першою колісною парою. Вони дають високу вірогідність фіксування та аналізу різноманітних недоліків системи та автоматизовано обробляють отриману інформацію.

Вимірювальна система «КОЛОС» призначена для проведення вимірювань параметрів числового коду АЛС і рейкового кола з вагона-лабораторії при русі поїзда по діючій ділянці [152]. Апаратура "КОЛОС" підключається до локомотивних котушок паралельно діючим пристроям АЛС через підсилювач і здатна вимірювати і виводити на цифровий блок значення струму в рейках в першому імпульсі до 50 А з кроком вимірювань 0,1 А; довжину імпульсів і інтервалів кодового циклу, а також довжину самого циклу з точністю 0,01 с; здійснювати безперервну перевірку першого імпульсу і першого інтервалу кожного кодового циклу; виявляти перерву в кодуванні більше 1 с. Для реєстрації результатів вимірювань в апаратурі "КОЛОС" використовується пристрій друку, але інформація, яка виводиться на стрічку, є незручною для сприйняття.

Вимірювальна система «КОНТРОЛЬ» призначена для вимірювання кодового струму і часових параметрів числового коду АЛС, координати рейкового кола, контролю проїзду ізолюючих стиків і реєстрації результатів вимірювань [152]. У цій системі виміру підлягають струм кодових сигналів АЛС в рейкових колах частотою 25, 50 і 75 Гц, тривалість кодових сигналів (імпульсів і інтервалів) в діапазоні від 0,08 до 0,6 с і циклу коду АЛС в діапазоні від 0,08 до 2 с, довжина рейкового кола в діапазоні від 0 до 3999 м. Дана система дозволяє визначити положення ізостика. В основу методу покладено вимірювання опору підвагонного контуру, утвореного рейками, колісними парами і рамою вагона. Вимірювання струму в рейках

виконується за допомогою приймальних котушок, розташованих під вагоном аналогічно котушок АЛС.

Вимірювальна система «ІВК КОНТРОЛЬ» має інтерфейс послідовного обміну з комп'ютером, завдяки чому в апаратурі реалізовані нові функції [152]. До складу «ІВК КОНТРОЛЬ» входять датчики струму АЛС, датчики ізостиков і датчики, здатні фіксувати обертання осі; вимірювальні пристрої асиметрії тягового струму, модуля, аргументи часових параметрів струму АЛС, а також вимірники, здатні фіксувати межу рейкового кола і пройдений шлях. Всі дані, що надходять від датчиків, передаються в бортову мікроЕОМ і можуть бути виведені через принтер за допомогою пристрою управління. У 1992 - 1994 рр ІВК КОНТРОЛЬ був доповнений блоком САУТ-КОНТРОЛЬ і, відповідно, в програмному забезпеченні ІВК КОНТРОЛЬ з'явилися нові функції з вимірювання параметрів шлейфів САУТ. На залізницях України ця система використовується і в наш час.

Основні недоліки даних систем: похибка при визначенні місцезнаходження ізостика (кілька десятків метрів); велика похибка при вимірюванні струму більше 20 А (до 30-50%); низька завадозахищеність приймальних котушок від струмів тягової мережі, що не дозволяють вимірювати фазові співвідношення струму АЛС, а, отже, і параметри рейкового кола з достатньою точністю; часте підвищення опору підвагонного контуру, обумовлене порушенням контакту між колесом і рейкою, а також контактів в буксових вузлах колісних пар, що призводить до помилкового контролю несправного стану рейкового кола і шпал; великі витрати електроенергії; застаріла елементна база, на якій побудовані ці системи, що викликає додаткові складності при ремонті і обслуговуванні, відсутність вимірювання рівня завад.

В період 1995 – 1999 рр на базі раніше проведених досліджень та аналізу існуючих систем контролю був розроблений **Мобільний Вимірювальний Комплекс Автоматики і Радіозв'язку – МИКАР** [152]. Він дозволяє проводити вимірювання параметрів АЛС, САУТ, контролювати колійне обладнання ПОНАБ, ДИСК, КТСМ, а також вимірювати параметри поїзного радіозв'язку. Забезпечує вимір струму кодових сигналів локомотивної сигналізації частотою 25, 50 і 75 Гц в рейкових колах в діапазоні від 1 до 35 А і тривалість кодових сигналів (імпульсів і інтервалів)

в діапазоні від 0,06 до 0,9 с. МИКАР є комплексом вимірювальних систем для вагонів-лабораторій, в якому в апаратній частині і програмному забезпеченні інтегровані продуктивні функції вимірювань і контролю різнорідних пристроїв залізничної автоматики та радіозв'язку. Основою функціонування системи є програмне забезпечення, в якому реалізована структура і організація бази даних по рейковим колам та іншим об'єктам залізничної автоматики і радіозв'язку.

Автоматизована система вимірювання та контролю параметрів апаратури СЦБ ТЕСТ побудована на основі мікроЕОМ, і відрізняється від розглянутих вище систем тим, що призначена для контролю і діагностування пристроїв залізничної автоматики безперервно в умовах експлуатації [153]. Також вона призначена для автоматичного вимірювання параметрів апаратури СЦБ і вирішення конкретного завдання – оцінки придатності об'єкта до використання в реальних умовах його експлуатації.

Додаткові прилади контролю і вимірювання параметрів кодового струму. Недолік вимірювальних систем встановлених у вагоні-лабораторії полягає в тому, що вони не підходять для оперативних вимірювань. Тому крім вимірювальних систем також ведеться розробка приладів, які вимірювали б величину і тимчасові параметри кодового струму: прилад УПН-АЛС/03, ІВП-АЛС, Ц-56, Ц-760 і Ц-4380М, мультиметр В7-63, ЭК4306 з перетворювачем П4306, багатофункціональний прилад МПІ-СЦБ або КОМАГ-Б [153]. Ці прилади мають широкий спектр застосування і дозволяють визначати також параметри кодових і тональних рейкових кіл.

Проаналізувавши існуючі засоби виміру сигнального струму АЛС, треба зауважити, що контроль колійних і локомотивних пристроїв системи проводиться шляхом запису сигналів локомотивних світлофорів на стрічку швидкостеміра, що дозволяє отримати достовірну інформацію про роботу локомотивної сигналізації, виявити і розділити випадкові і систематичні збої. І хоча за останні роки відбулося переоснащення вимірювальної апаратури вагон-лабораторії з реєстрацію сигнального струму на цифровому носії, але обробка записаних даних відбувається, як і раніше, шляхом перегляду часових та амплітудних параметрів записаних даних

візуальним аналізом. Це не дозволяє детально проаналізувати дані, визначити проблемні місця, де можуть виникнути збої, а також на результати аналізу впливає суб'єктивний людський фактор. При цьому навіть ретельний аналіз статистичних даних про збої АЛС на конкретній ділянці шляху не гарантує виявлення реальних причин, що викликають ці збої. Одночасні виміри ЕРС завад в котушках АЛС і тягових струмів в рейкових нитках під котушками з подальшим дослідженням впливу на них локомотивних приймачів досить трудомісткі і складні організаційно. Проводити аналіз результатів цих вимірів повинні фахівці з високою кваліфікацією. Також слід зазначити, що перевірка вагоном-лабораторією дозволяє виявити в першу чергу відступи в регулюванні РК і апаратури кодування, але не дає можливості визначити фазові співвідношення струмів АЛС, величину зворотнього струму в рейках і спектр завад, асиметрію сигнального і тягового струмів, обчислити параметри рейкових кіл за значенням струму локомотивної сигналізації на початку і в кінці лінії. До того ж система «Контроль», найбільш розповсюджена на залізницях України, дозволяє визначати часові параметри кодових сигналів лише для кодів «З» і «Ж» по довжині першого короткого імпульсу в кодовій послідовності і не визначає тип кодового колійного трансмітера, досліджуваного на даній ділянці. Крім того використання вагон-лабораторії має певний ряд вагомих недоліків: фінансові витрати на утримання вагон-лабораторії та обслуговуючого персоналу, необхідність безпосереднього виїзду на відповідну ділянку, недосконалість та, як правило, застарілість обладнання, що використовується [154, 155].

Тому в даній роботі пропонується розробити такий алгоритм роботи системи АЛС, що надасть змогу розрізнити і виключити навіть малі зміни в формі, амплітуді, тривалості пауз і інтервалів, запобігаючи збоям кодів. І таким чином, удосконалити технологію контролю параметрів кодових сигналів автоматичної локомотивної сигналізації за рахунок автоматизації запису та аналізу параметрів під час експлуатації локомотивів та вимірювальних поїздок вагон-лабораторії. Найбільш перспективним напрямком вирішення даної задачі є розробка нових методів та засобів для вимірювання параметрів кодового струму в рейках, які дозволять автоматизувати процес аналізу, контролювати максимальне число параметрів сигнального струму,

оцінювати спектр і рівні завад, що діють на приймач системи АЛС і, по можливості, максимально виключають ручні операції при обслуговуванні.

3.2 Розробка методу автоматичного аналізу сигналів АЛС на основі спектрального складу виміряного струму

3.2.1 Використання спектрального аналізу для розпізнавання типів кодових сигналів

Електромагнітні завади в рейкових колах практично не контролюються, хоча вони є найчастішою причиною виникнення збоїв АЛС. Причини виникнення, характер та часові параметри цих завад не залежать від швидкості руху поїзда і носять випадковий характер, який складно штучно відтворити при проведенні експериментів. Вхідний фільтр локомотивного приймача АЛС має недостатню селективність, що є причиною появи на виході фільтра завад з частотами близькими до частоти сигнального струму. Електричні завади в сигнальному струмі заповнюють паузи кодового струму, що приводить до збоїв у роботі дешифратора. В умовах підвищення швидкості руху поїздів, в силу технічної побудови джерела сигнальної інформації – рейкового кола та фізичного принципу дії індуктивного каналу зв'язку між колійними та локомотивними пристроями АЛС, ряд завад не може не заважати стійкій роботі локомотивних пристроїв, навіть при умові їх повної працездатності. При цьому відомо, що спектральний аналіз – це один з методів обробки сигналів, який дозволяє охарактеризувати частотний склад сигналу, що вимірюється. Тому застосування такого методу може надати набагато більше важливої інформації про сигнал, бо найчастіше інформація, що не помітна в часовому представленні сигналу, виявляється в його частотному представленні. В свою чергу, це надасть змогу вирішити питання захисту від основних джерел завад на залізничному транспорті, які призводять до збоїв в роботі засобів сигналізації та зв'язку, допоможе їх дослідженню та ідентифікації. В даній роботі пропонується розробити метод автоматичного аналізу сигналів АЛС шляхом аналізу спектрального складу сигнального струму.

Відомо, що амплітудна модуляція, яка використовується в АЛС для передачі числової кодової комбінації, в порівнянні з частотною та фазовою, має низьку завадостійкість. Це пояснюється так званими пасивними паузами, тобто відсутністю сигналу в паузах. В результаті при прийомі кодової комбінації загальна енергія сигналу в циклі пропорційна відношенню сумарної тривалості всіх імпульсів і тривалості кодової комбінації. Таким чином, різниця рівня енергії різних кодів АЛС становить від 6 до 11 дБ. Застосовуваний принцип кодування також має ряд недоліків, які не дозволяють використовувати відомі схеми побудови оптимального приймача. Теорія передачі дискретних сигналів побудована на понятті символу, що має задану тривалість, періодичність та не може бути застосована до кодової комбінації системи АЛС. Отже, в ній неможливо використовувати системи тактової й кадрової синхронізації, коректори спотворення імпульсів. З цієї причини стійкість знижується майже на 6 дБ.

Ще одним фактором, що впливає на стійкість приймачів АЛС, є деградація сигналу, пов'язана з частотою несучої. Як правило, в фільтрових системах передачі даних в сигналах має бути не менше восьми періодів несучої на кожен символ. Виняток становлять системи з мінімально фазовими видами модуляції, працездатні при співвідношенні сигналу до завади не менше 20 дБ, що неможливо забезпечити в каналі АЛС. Тривалість імпульсів «КЖ» трансмітера КПТ-5 близько 0,23 с. При частоті 25 Гц в імпульсі буде менш шести періодів. Величина деградації сигналу при цьому становить 0,8, тобто його потужність зменшується ще на 2 дБ. У сумі втрати завадостійкості системи складають 14 дБ. Відповідно ймовірність помилки в порівнянні з оптимальним приймачем зростає в десятки разів. Проведений аналіз показує, що в системі АЛС, особливо на частоті 25 Гц, отримати високу завадостійкість в принципі неможливо [165].

Необхідно дослідити можливість застосування частотних методів (Фур'є і вейвлет-перетворення) для підвищення надійності та достовірності вилучення з амплітудно-модульованих сигналів АЛС інформаційної складової прийнятого коду в умовах дії різних завад. Реалізація цих досліджень в подальшому може бути покладена в основу розробки нового приймача системи АЛС з підвищеною завадостійкістю.

В існуючій системі АЛС принцип дії дешифраторних пристроїв заснований на аналізі амплітудних і часових характеристик сигналу. Інформаційним значенням є кількість імпульсів в сигналі, а захисним – довгий інтервал в кінці коду. Виходячи з цього, до неправильного прийому коду може призводити вкорочення або подовження імпульсів і інтервалів, заповнення довгого інтервалу або чисельні спотворення. Тому для надійного визначення типів кодових сигналів, що приймаються з рейкових кіл, необхідно вирішити такі завдання: вимірювання тривалості імпульсів і паузи з виключенням короткочасних провалів і сплесків сигналу, підбір типу коду по тривалості імпульсів і пауз, визначення типу коду, прийнятого з рейкового кола і типу кодового колійного трансмітера; визначення амплітудних і часових параметрів кодового сигналу.

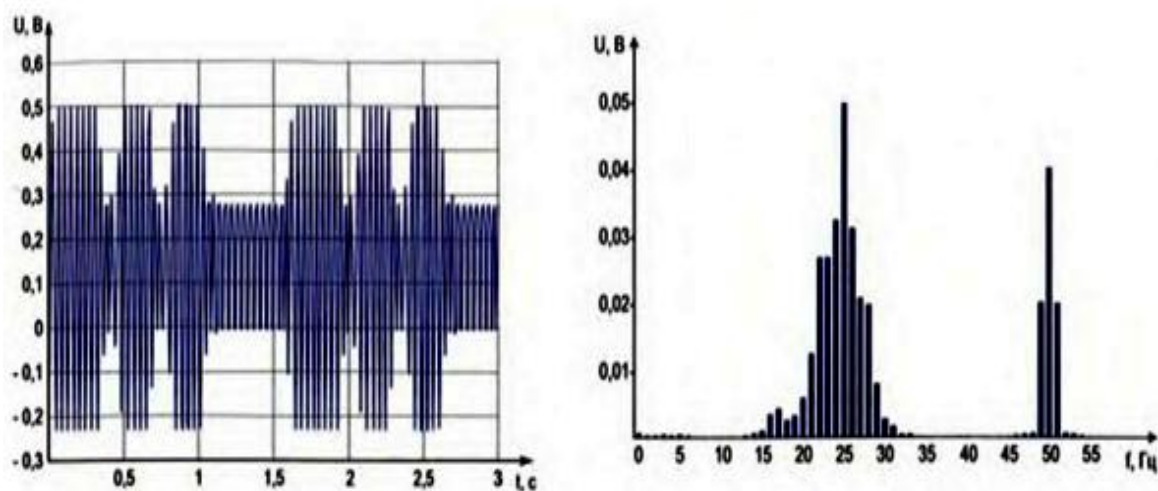


Рисунок 3.2 – Осцилограма і спектральний склад сигналу на виході локомотивного фільтра при русі великовагового поїзда по гірській ділянці

Нижче наведено аналіз досліджень, що підтверджують ефективність використання спектральної характеристики сигналу у процесі визначення наявності завад [156-164]. На рис. 3.2 приведена осцилограма сигналу на виході локомотивного фільтра при русі великовагового поїзда по гірській ділянці. У сигналі постійно присутні завади, які спотворюють форму деяких імпульсів. Аналіз показав, що збої показань світлофора з зеленого вогню на білий відбуваються зазвичай, коли на виході фільтра співвідношення сигнал з частотою 25 Гц/завада з частотою 50 Гц перевищує межі від 1/0,7 до 1/0,8.

Однак збої в роботі АЛС бувають і при меншій величині цього співвідношення у випадках, коли на виході фільтра з'являються завади в інфразвуковому діапазоні частот. Такі завади характерні, коли поїзд рухається по ділянках, де на дорозі лежать рейки з нерівномірною поздовжньою намагніченістю або вони розкидані на полотні. Через заважаючий вплив нерівномірної поздовжньої напруженості магнітного поля рейок відбувається до 25-30% всіх збоїв АЛС на ділянках з електротягою змінного струму, де ведеться капітальний ремонт шляху. Спектр частот напруги в діапазоні до 40 Гц на виході приймальних локомотивних котушок АЛС, записаний під час руху поїзда зі швидкістю 80 км / год по ділянці після капітального ремонту колії, показаний на рис. 3.3. Через нерівномірну намагніченість по довжині рейок з'являються потужні завади в інфразвуковому діапазоні.

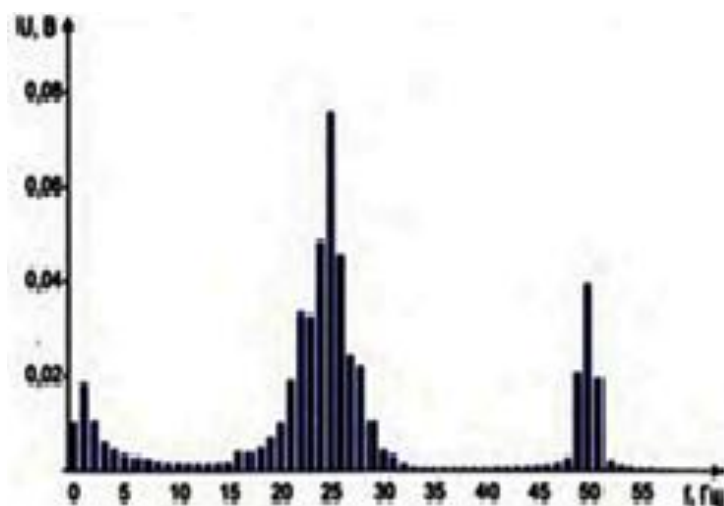


Рисунок 3.3 – Спектральний склад сигнального струму при появі інфранизких частот в діапазоні до 40 Гц на виході приймальних локомотивних котушок АЛС

Дослідивши рисунки можна зробити висновок, що основна складова спектру сигнального струму АЛС – це частота несучої 25, 50 або 75 Гц, а ось інформаційна частина, необхідна для фіксації наявності коду і його декодування, міститься в бічних пелюстках, що зміщені відносно основної частоти на одиниці герц.

У підсумку можна додати, що перелік параметрів, які можуть контролюватися вагоном-лабораторією при використанні автоматичного спектрального аналізу отриманих даних можна розширити. До того ж з урахуванням необхідності формування нових методів синтезу систем інтервального регулювання руху поїздів,

які орієнтовані на можливості сучасних мікропроцесорних складових, у багатьох наукових роботах [157, 159, 163] розглядається кореляційний метод прийому і декодування коду АЛС за спектральною ознакою. При цьому ЕРС і струм АЛС (I), що наводиться в приймальних котушках локомотивних пристроїв, як правило, представлені як безупинна функція часу.

3.2.2 Застосування Фур'є перетворення для дешифрації коду АЛС

Шляхом використання перетворення Фур'є (ПФ) можна дослідити зашумлений кодовий сигнал АЛС, що включає в себе завади різного походження. За допомогою ПФ розкладають сигнал на елементарні гармонійні коливання з різними частотами, а всі необхідні властивості і формули виражаються за допомогою однієї базисної функції $\exp(j\omega t)$ або двох дійсних функцій $\sin(\omega t)$ і $\cos(\omega t)$, що дає спектральну інформацію про сигнал і описує його поведінку в частотній області [156].

Перетворення Фур'є описується формулою:

$$f(t) = \sum_{-\infty}^{\infty} c_n \exp(int). \quad (3.1)$$

в якій базисною функцією є:

$$\exp(it) = \cos t + i \sin t \quad (3.2)$$

В результаті розкладання сигналу АЛС отримуємо основну несучу частоту 25, 50 або 75 Гц (в залежності від типу рейкових кіл) і частоти завад. На основі методу кореляційного прийому за спектральною ознакою можна розпізнати в амплітудно-частотній залежності відповідні коди АЛС. Перетворення Фур'є є математичною основою, яка зв'язує часовий або просторовий сигнал (або ж деяку модель цього сигналу) з його уявленням в частотній області.

Пряме дискретне перетворення Фур'є кінцевої періодичної послідовності $x(nT)$, $n = 0, 1, \dots, N-1$ визначається виразом:

$$X(k) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x(nT) \cdot e^{-j2\pi nk/N} = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x_n W_N^{nk}, \quad k = 0, 1, \dots, N-1 \quad (3.3)$$

де $T=1/F$ – інтервал часової дискретизації сигналу $x(t)$;

F – частота дискретизації;

n – номер дискретного вибору (відмінності) сигналу;

k – номер спектрального компоненту сигналу;

$W = 2\pi/NT$ – частота основної (першої) гармоніки сигналу;

$W_N = \exp -j2\pi / N = \exp -j\Omega T$ – фазовий множник (множник повороту).

Зворотнє дискретне перетворення Фур'є має вигляд:

$$x(nT) = \sum_{k=0}^{N-1} X(k\Omega) e^{j2\pi nkt/N} = \sum_{k=0}^{N-1} X_k W_N^{-nk} \quad (3.4)$$

Краще всього виконувати спектральний аналіз за допомогою дискретного перетворення Фур'є. Так як програма, яка реалізує перетворення Фур'є, нескладна і при невеликій кількості точок в оцифрованому сигналі досить швидко виконується обчислювальною машиною, це надає змогу проводити аналіз відразу після запису сигналу. Таким чином при використанні спектрального аналізу на основі перетворення Фур'є не виникає черга в обробці інформації. Але слід зазначити, що ПФ дозволяє визначити частотне наповнення сигналів, але не дозволяє визначити в який момент часу існує та чи інша частота, що робить непридатним даний метод спектрального аналізу при обробці зашумлених неперіодичних сигналів, що містять завади, для яких визначальне значення має момент їх появи. Крім того, завади, що збігаються за частотою з корисним сигналом, будуть дешифруватися як елементи коду, що, в свою чергу, може призвести до неправильного відображення сигнального показання на локомотивному світлофорі.

Для перевірки можливості визначення завад у сигнальному струмі були проведені дослідження з використанням сигнального струму, що був синтезований на комп'ютері зі штучно добавленою короткочасною завадою (рис. 3.4) [165]. Дослідження проводили, використовуючи сигнальний струм з частотою 25 Гц, тривалістю 80 с, в який було додано короткочасні завади частотами 25 і 50 Гц в паузах одного періоду сигналу.

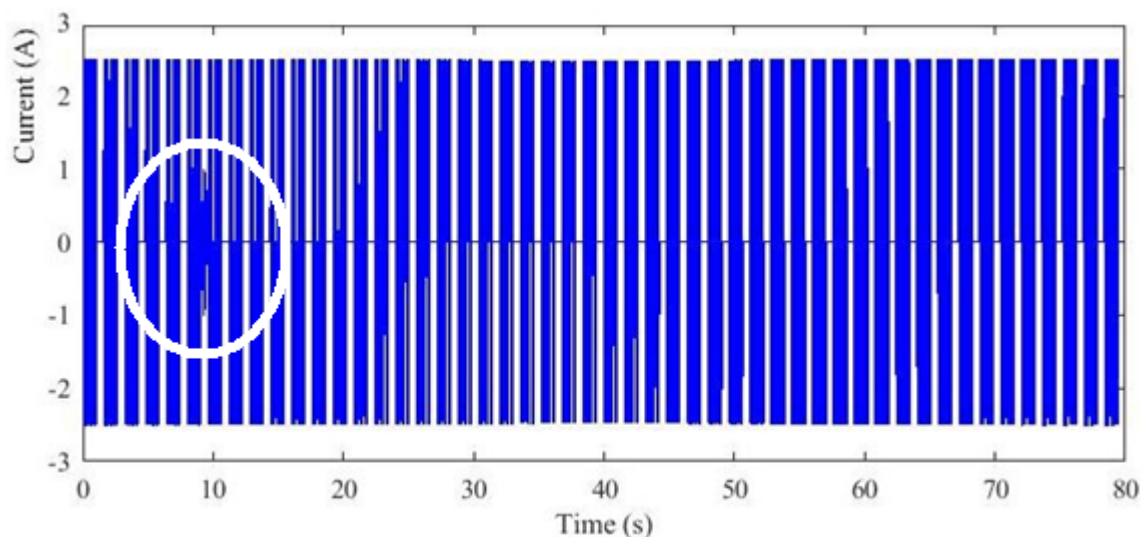


Рисунок 3.4 – Сигнальний струм частотою 25 Гц із короткочасними завадами частотами 25 і 50 Гц в одному періоді коду "З"

На рис. 3.5 та 3.6 наведено спектральний склад сигнального струму із короткочасними завадами частотою 25 Гц і 50 Гц.

Із рисунків видно, що спектрограми практично не розрізняються, таким чином визначити короткочасні завади у довготривалому струмі АЛС за допомогою Фур'є аналізу неможливо.

Більш придатним для цього є частотно-часовий аналіз сигнального струму або короткочасне Фур'є перетворення, в якому спектральний Фур'є аналіз струму відбувається послідовно на обмежених сегментах сигнального струму, які виділяються спеціальними вікнами (віконне Фур'є перетворення). Результатом перетворення є так звані спектрограми сигнального струму. Частотно-часовий аналіз сигнального струму в роботі проводили за допомогою програмного пакету Matlab, Signal Processing Toolbox. На рис. 3.7 та 3.8 наведено спектрограми сигнального струму із короткочасними завадами частотою 25 і 50 Гц. На спектрограмах видно світлу полосу, яка має частоту 25 Гц і простирається через весь проміжок часу з невеличкими перервами (паузами) в сигналі. Також на спектрограмі з завадою 50 Гц можна розрізнити невелику більш світлу область в період часу 8-9 с на частоті 50 Гц. Більш чітко заваду 50 Гц можна визначити на трьохмірному представленні спектрограм (рис. 3.9 та 3.10).

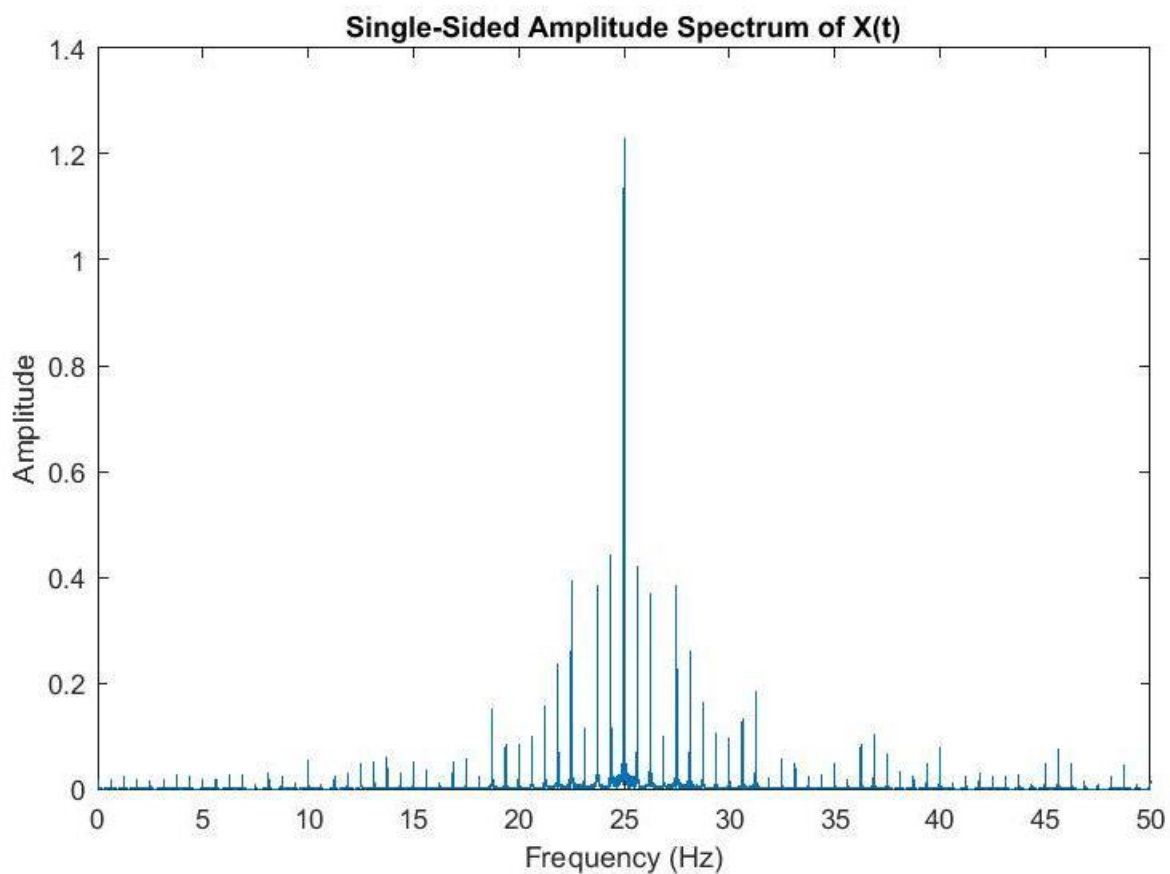


Рисунок 3.5 – Спектральний склад сигнального струму із короткочасною завадою частотою 25 Гц

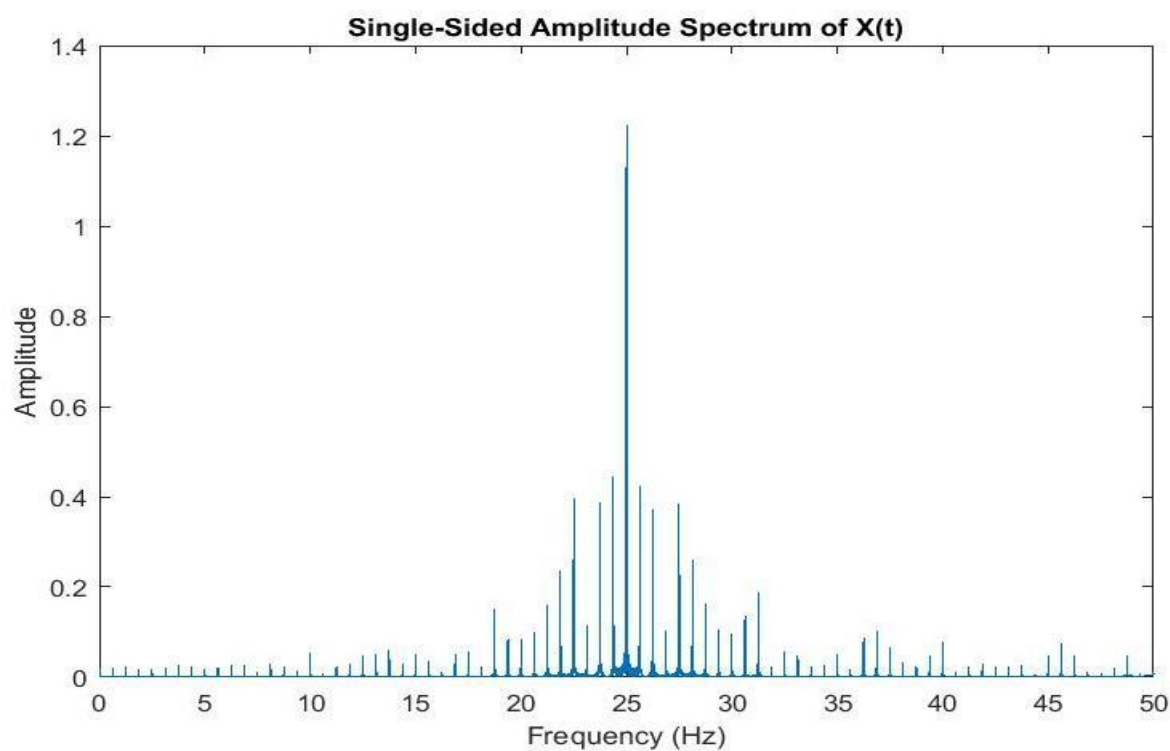


Рисунок 3.6 – Спектральний склад сигнального струму із короткочасною завадою частотою 50 Гц

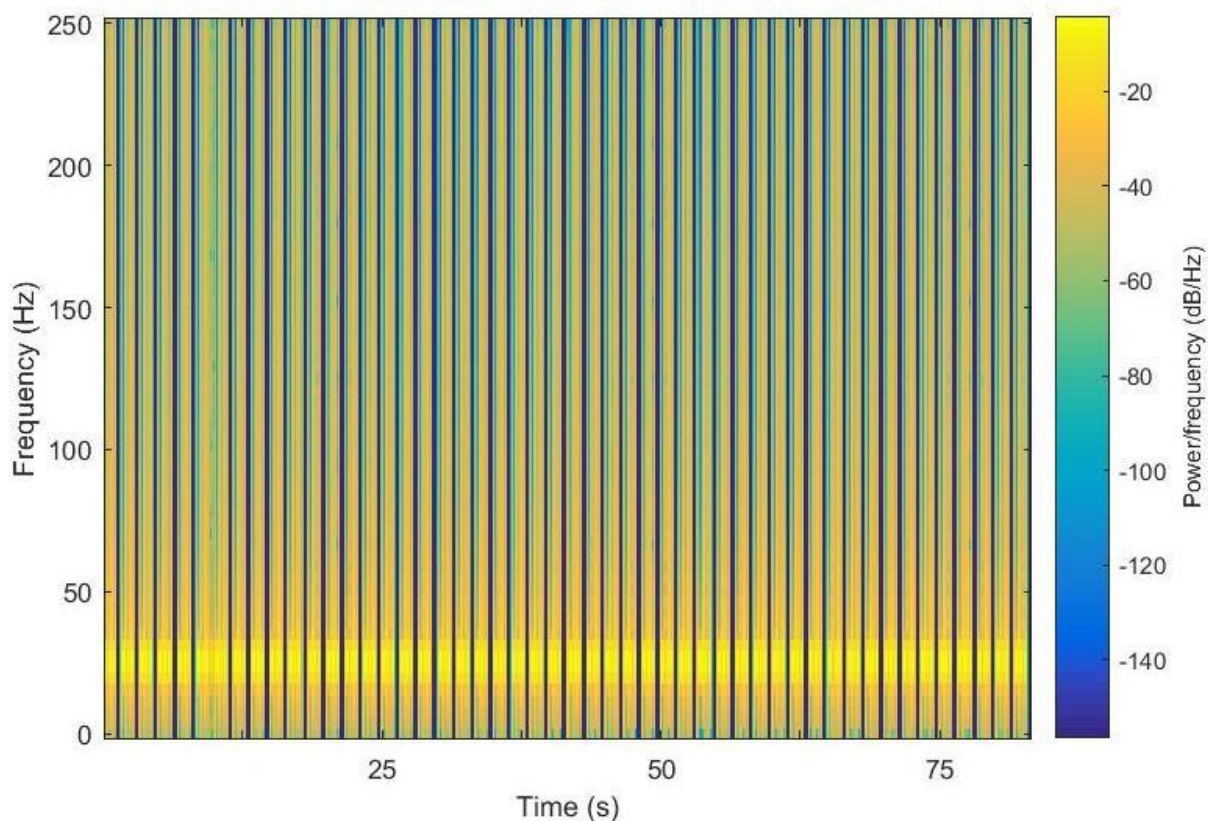


Рисунок 3.7 – Спектрограма сигнального струму із короткочасною завадою частотою 25 Гц

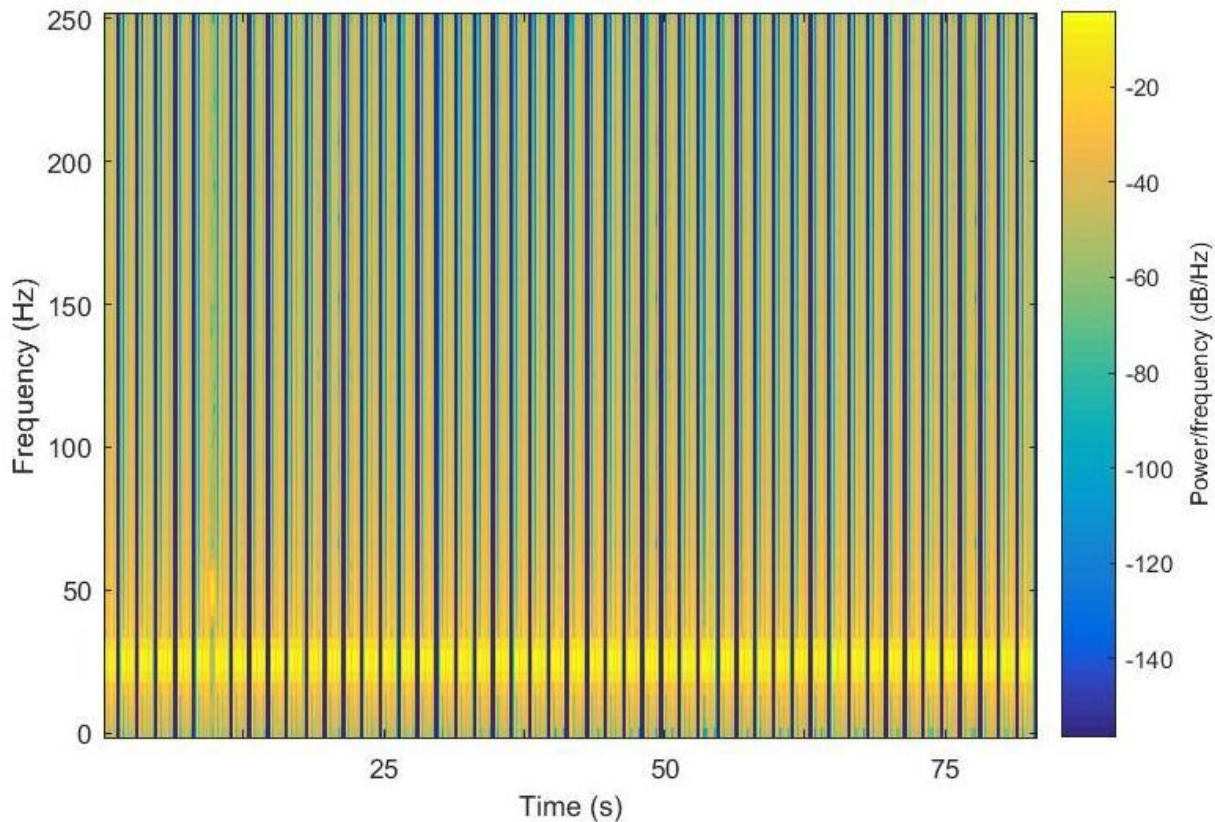


Рисунок 3.8 – Спектрограма сигнального струму із короткочасною завадою частотою 50 Гц

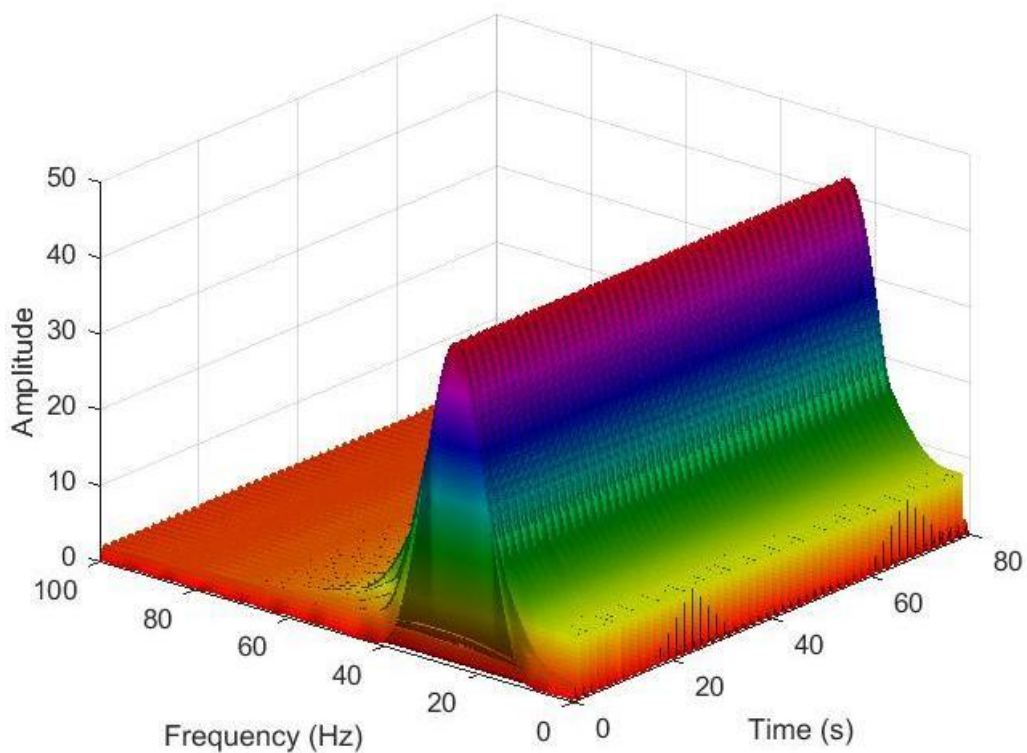


Рисунок 3.9 – Спектрограма сигнального струму із короткочасною завадою частотою 25 Гц.

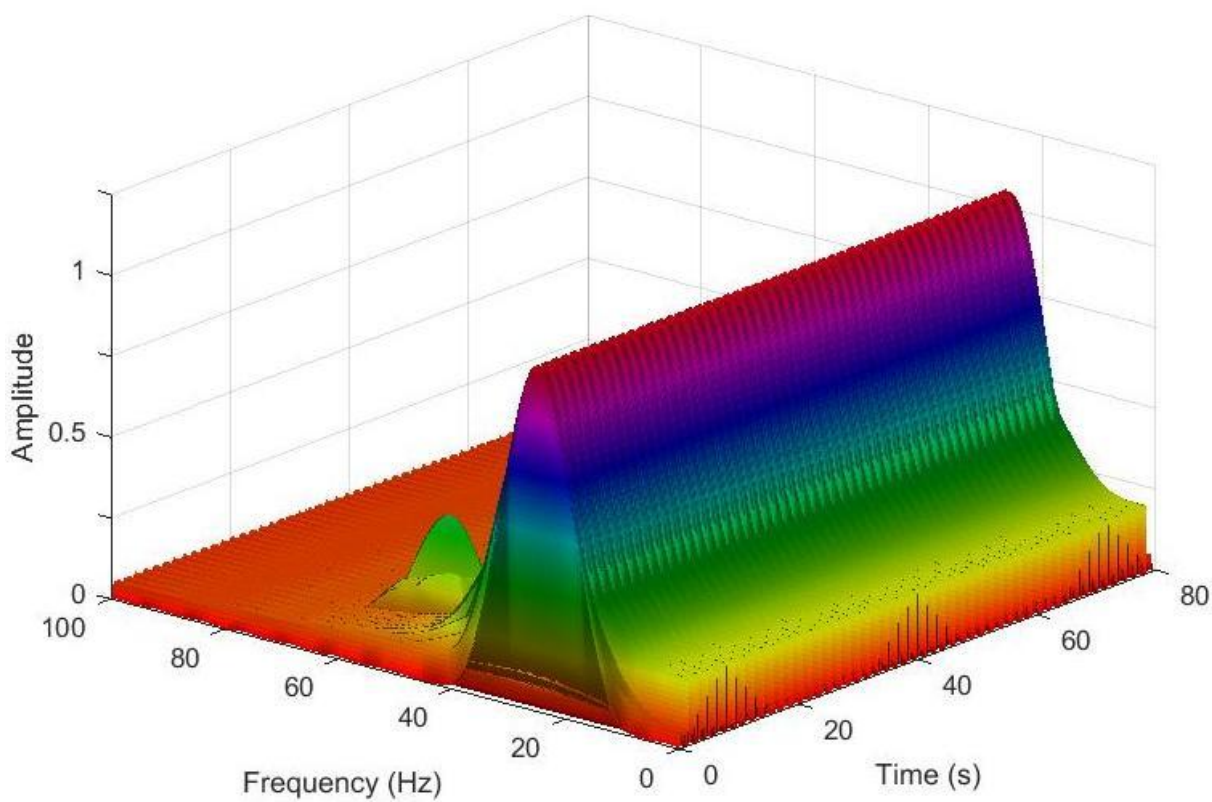


Рисунок 3.10 – Спектрограма сигнального струму із короткочасною завадою частотою 50 Гц

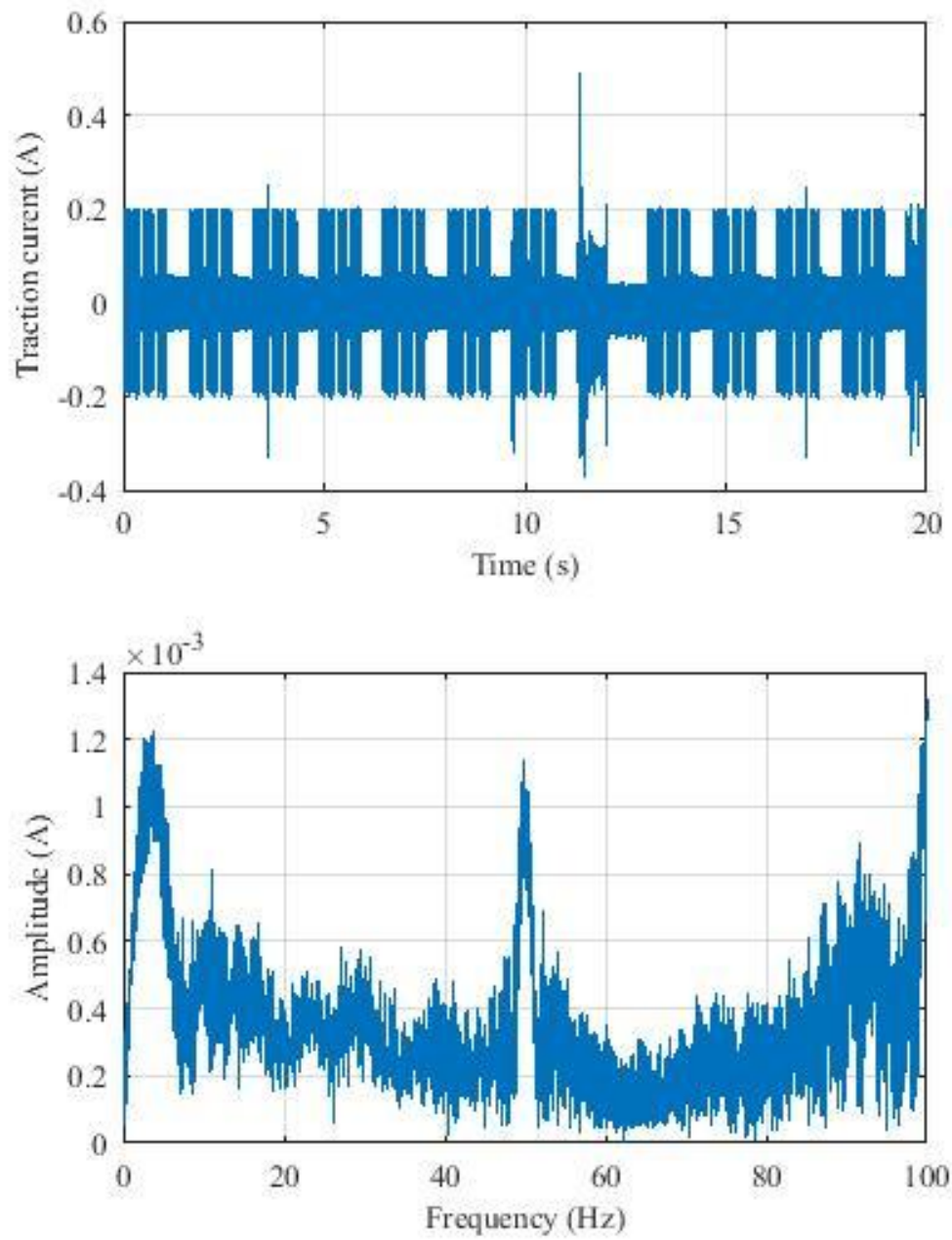


Рисунок 3.11 – Часова залежність та спектр сигнального струму АЛС частотою 50 Гц зі значними низькочастотними завадами

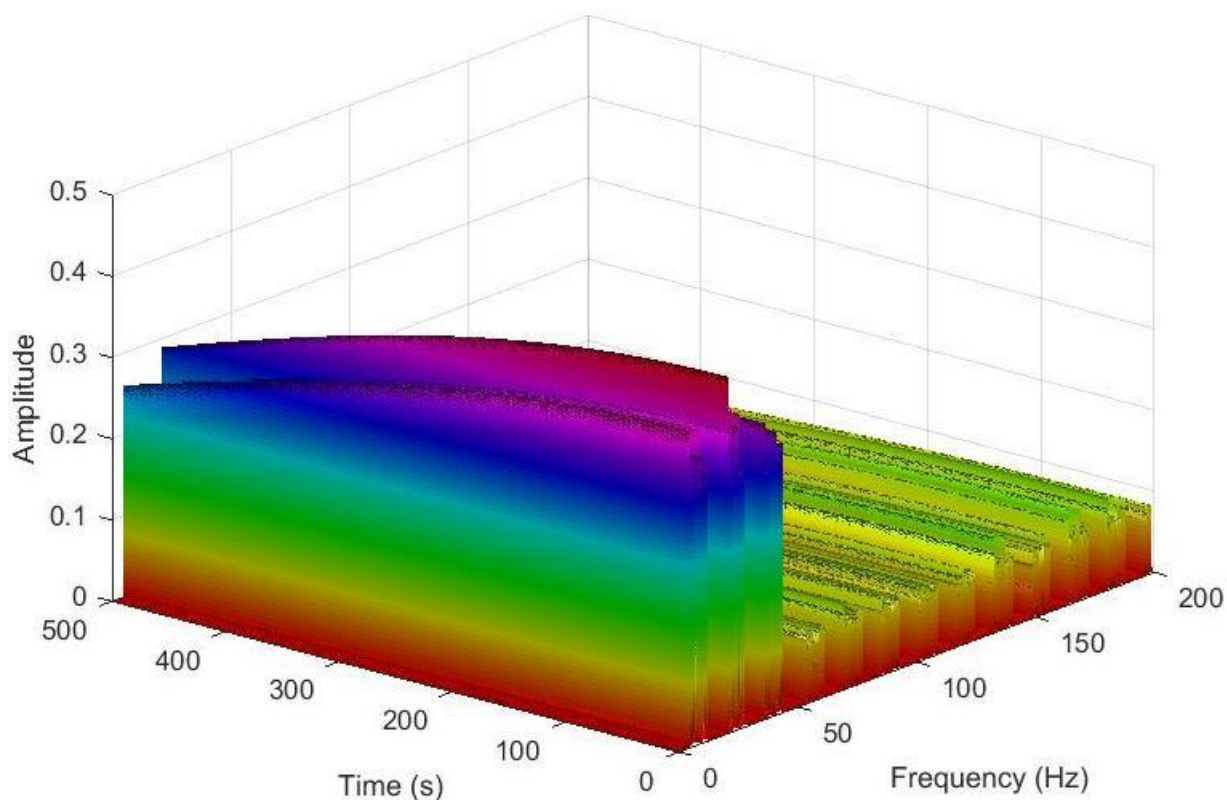


Рисунок 3.12 – Спектрограма сигнального струму АЛС частотою 50 Гц зі значними низькочастотними завадами

Приклад часової залежності, спектру і спектрограми сигнального струму АЛС частотою 50 Гц зі значними низькочастотними завадами приведено на рис. 3.11 та 3.12. На рисунках добре видно значні завади в інфранизькому діапазоні частот, що є в сигнальному струмі.

Віконне перетворення Фур'є є функцією від часу, частоти і амплітуди. Але, з огляду на «принцип невизначеності Гейзенберга», цей спосіб обробки не дає можливість виміряти частоту і час із заданою точністю. Тому розглянемо застосування вейвлет-перетворення для дешифрації коду АЛС.

3.2.3 Застосування вейвлет-перетворення для дешифрації коду АЛС

У разі дешифрування кодового сигналу АЛС значне інформаційне навантаження несе тимчасова локалізація спектральних компонент і відповідне йому частотно-часове представлення сигналу, яке можна реалізувати за допомогою вейвлет-перетворення (ВП) [167-173].

Вейвлети – математичні функції, які дозволяють виділити в сигналі різні частотні компоненти, але на відміну від Фур'є аналізу, в них кожен компонент досліджується з дозволом, відповідним його масштабу. У порівнянні з розкладанням сигналів в ряди Фур'є вейвлети здатні з більш високою точністю представляти локальні особливості сигналу і забезпечувати двовимірну розгортку, при якій частота і координата розглядаються як незалежні змінні, що дає можливість аналізувати сигнал відразу в двох просторах. Вейвлет-перетворення дає можливість зменшити вплив «принципу невизначеності Гейзенберга» на отриманому частотно-часовому представленні сигналу, де зсув материнського вейвлета може розглядатися як час, що минув з моменту $t = 0$ (так як він показує місце розташування вейвлета за часом), а масштаб як величина зворотня частоті. Зазвичай використовують вейвлет-алгоритми у вигляді безперервного вейвлет перетворення (CWT) , дискретного вейвлет перетворення (DWT) і вейвлет-пакетного перетворення (WPT). Вейвлети є функціями, що генеруються однією функцією, званою материнським вейвлетом за допомогою операцій зсуву і масштабування. Деякі материнські вейвлети показані на рис. 3.13.

Вейвлет-перетворення описується формулою:

$$f(t) = \sum_{j,k=-\infty}^{\infty} c_{jk} \Psi_{jk}(t) \quad (3.5)$$

з довільними параметрами базисної функції (материнського вейвлета) – масштабного коефіцієнта j , і параметра зсуву k :

$$\Psi_{jk}(t) = |a|^{-1/2} \Psi((t-k)/j), \quad (3.6)$$

За аналізом інтервалів часу рівних тривалості імпульсів, і за частотними складовими, що містяться в ньому, можна фіксувати наявність відповідного коду. При цьому частоти завад, що з'являються поза межами часових інтервалів імпульсів, навіть якщо вони повторюють основну несучу частоту, не будуть нести вирішальне інформаційне навантаження, що в свою чергу, дозволить уникнути помилкового декодування коду.

Розглянемо основні вейвлет-алгоритми. Безперервне вейвлет перетворення (CWT) вимірює подібність між сигналом і вейвлетом, використовуваним для аналізу. У

перетворенні Фур'є функціями для проведення аналізу є комплексні експоненти $\exp(j\omega t)$. У перетворенні Фур'є на коротких відрізках часу (STFT) функціями для проведення аналізу є комплексні експоненти $w(t)\exp(j\omega t)$. Коефіцієнти STFT $F(\omega, \tau)$ характеризують відповідність між сигналом і синусоїдою з круговою частотою ω в інтервалі певної довжини з центром при τ .

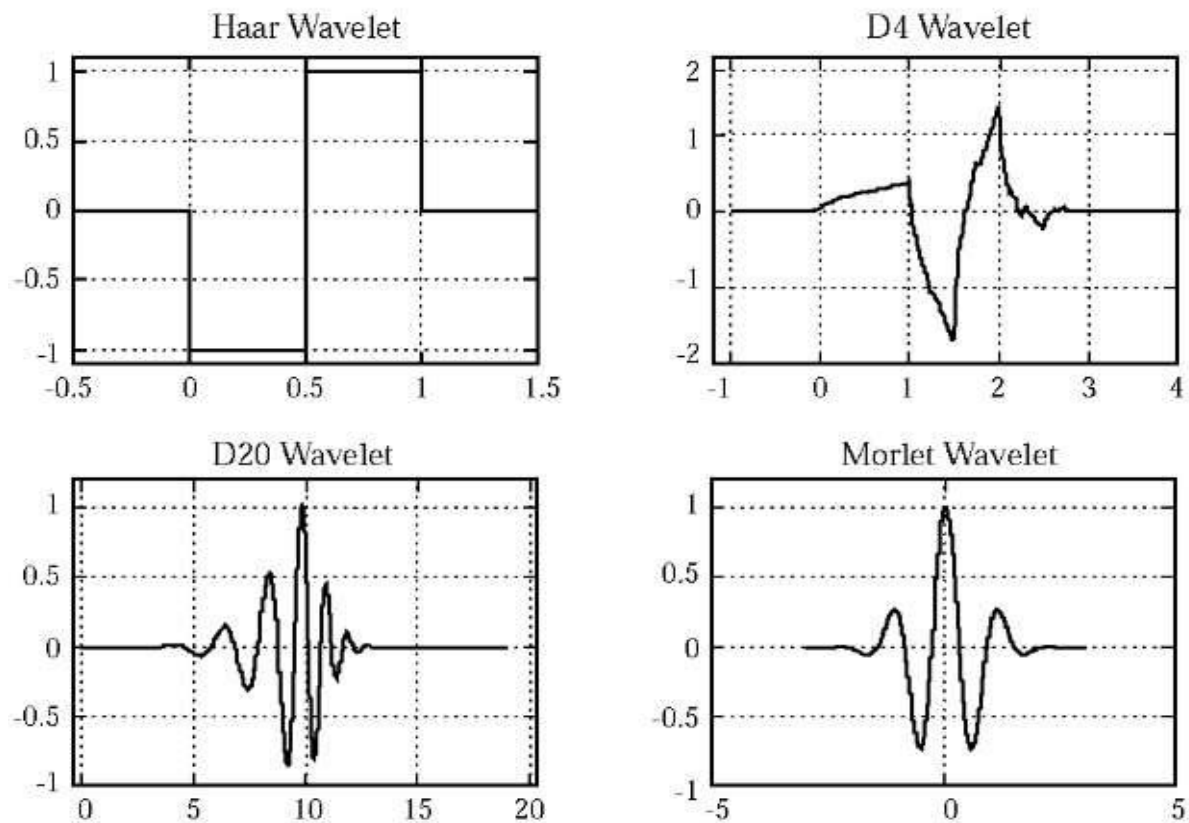


Рисунок 3.13 – Приклад 4-х материнських вейвлетів часто використовуваних для вейвлет-аналізу

Перетворення Фур'є функції $f(t)$ визначається як

$$CWT_{\Delta} \int(a,b) = \langle f, \psi_{a,b} \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \psi_{a,b}(t) dt \quad (3.7)$$

де

$$\psi_{a,b}(t) = |a|^{-1/2} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (3.8)$$

$\psi(t)$ – материнський вейвлет, \mathbf{a} – масштабуючий параметр, \mathbf{b} – параметр зсуву.

Дискретне вейвлет-перетворення (DWT) можна визначити через неперервне (CWT) шляхом дискретизації параметрів \mathbf{a} і \mathbf{b} . Замість неперервної зміни масштабу

і зсуву материнський вейвлет може бути растягнут-стиснен і зміщений дискретно $a = a_0^m$ і $b = nb_0 a_0^m$, де a_0 і b_0 фіксовані значення с $a_0 > 1$, $b_0 > 0$.

Тоді дискретний материнський вейвлет матиме вигляд:

$$\Psi_{m,n}(t) = a_0^{-m/2} \psi\left(\frac{t - nb_0 a_0^m}{a_0^m}\right) \quad (3.9)$$

і відповідне дискретне вейвлет перетворення буде представлено як

$$DWT_{\Delta} \int(m,n) = \langle f, \Psi_{m,n} \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \Psi_{m,n}(t) dt \quad (3.10)$$

Маллат запропонував швидкий алгоритм швидкого перетворення DWT у вигляді мультирозкладання сигналу. Для розкладання і реконструкції сигналу використані вейвлет-фільтри. Це перетворення описується формулами:

$$\begin{aligned} A_0 x(t) &= x(t), \\ A_j x(t) &= \sum H(2t - k) A_{j-1} x(t), \\ D_j x(t) &= \sum_k G(2t - k) A_{j-1} x(t), \end{aligned} \quad (3.10)$$

де $x(t)$ – вихідний сигнал;

j – рівень розкладання ($j = 1, 2, \dots, J$);

H і G – фільтри вейвлет перетворення для низьких і високих частот, відповідно;

A_j – коефіцієнти низькочастотного вейвлета (апроксимаціонного);

D_j – коефіцієнти високочастотного вейвлета (деталізує) для сигналу $x(t)$ на j -му рівні.

Вейвлет-пакетне перетворення (WPT) проводить розкладання не тільки апроксимаційних коефіцієнтів, але також і деталізування коефіцієнтів. Розкладання з деталізацією коефіцієнтів веде до зміни базисного набору і цей базисний набір називається вейвлет пакетами.

Для проведення досліджень з перетворень типу WPD найбільш підходящим є дискретне вейвлет-пакетне перетворення з максимальним перекриттям (MODWPT), оскільки він менш чутливий до початкової точки часового ряду і застосовується до

недіадіческих послідовностей. Крім того, в MODWPT не використовується субсемпліровання, і тому він має незмінну кількість вейвлет-коефіцієнтів на кожному рівні розкладання. Це спрощує обчислення з різними рівнями розкладання.

Для дослідження сигналів АЛС спочатку використаємо неперервне вейвлет-перетворення SWT. На рис. 3.14 – 3.17 наведено коефіцієнти SWT перетворення АЛС з кодом "3" частотою 25 Гц за допомогою вейвлету типу Хаара (Haar), Дебеші (db), типу scoif, та типу sum.

В сигналі АЛС, який розглянуто, в період 9-10 с була електромагнітна завада. Із рисунків видно, що спектрограми практично не дозволяють визначити появлення цієї завади. Таким чином SWT перетворення АЛС сигналу не дозволяє з достатньою точністю визначити і локалізувати короткочасні завади у довготривалому струмі АЛС.

Спробуємо розкласти сигнал за допомогою DWT перетворення. На рис. 3.18 наведено коефіцієнти DWT перетворення АЛС з кодом "3" частотою 25 за допомогою вейвлету типу Дебеші (db). На спектрограмах можна помітити наявність короткочасної завади, але спектрограми практично не дозволяють точно визначити появу цієї завади. Таким чином DWT перетворення АЛС сигналу не дозволяє з достатньою точністю визначити і локалізувати короткочасні завади у довготривалому струмі АЛС.

Далі використаємо MODWT перетворення АЛС сигналу. На рис. 3.19 наведено коефіцієнти MODWT перетворення АЛС з кодом "3" частотою 25 Гц за допомогою вейвлету типу Фэйера-Коровкина (Fejer-Korovkin, - fk18).

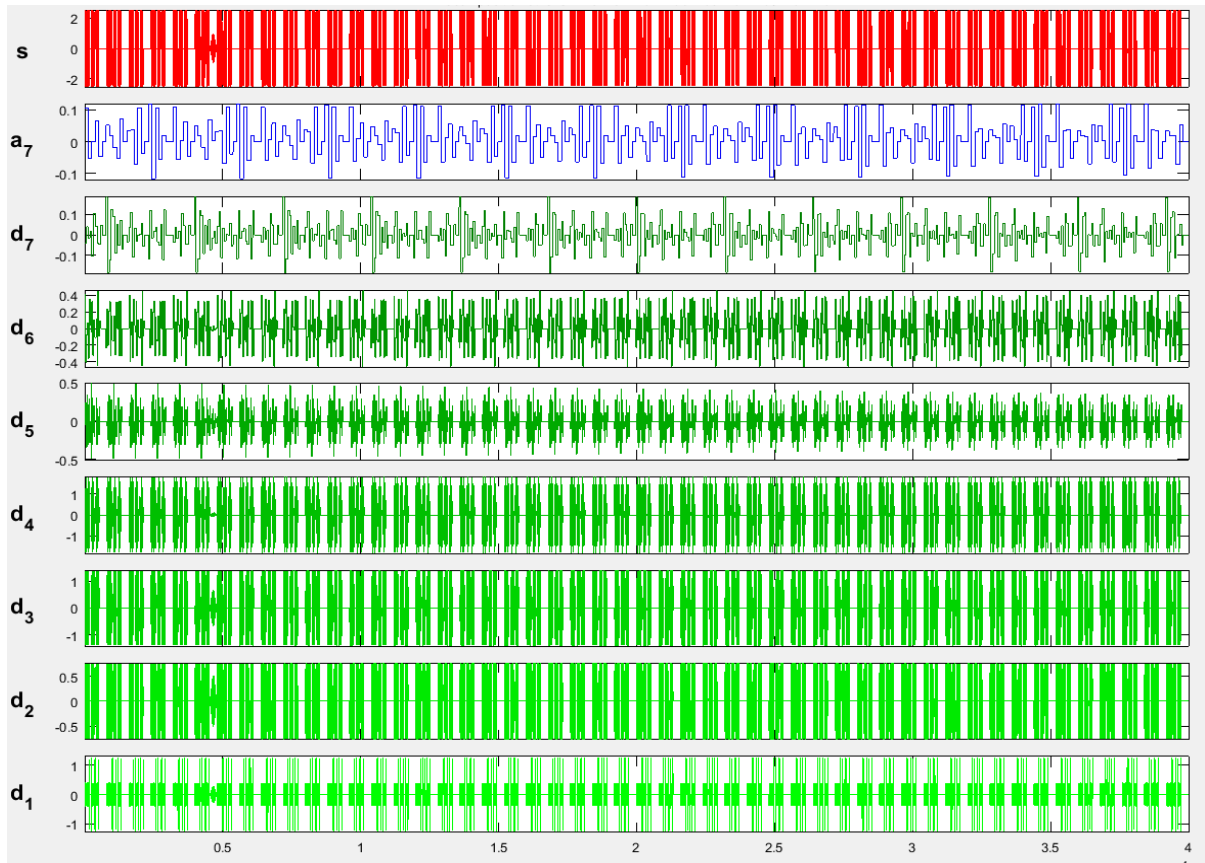


Рисунок 3.14 – Коефіцієнти CWT перетворення АЛС з кодом "З" за допомогою вейвлету типу Хаара (Haar)

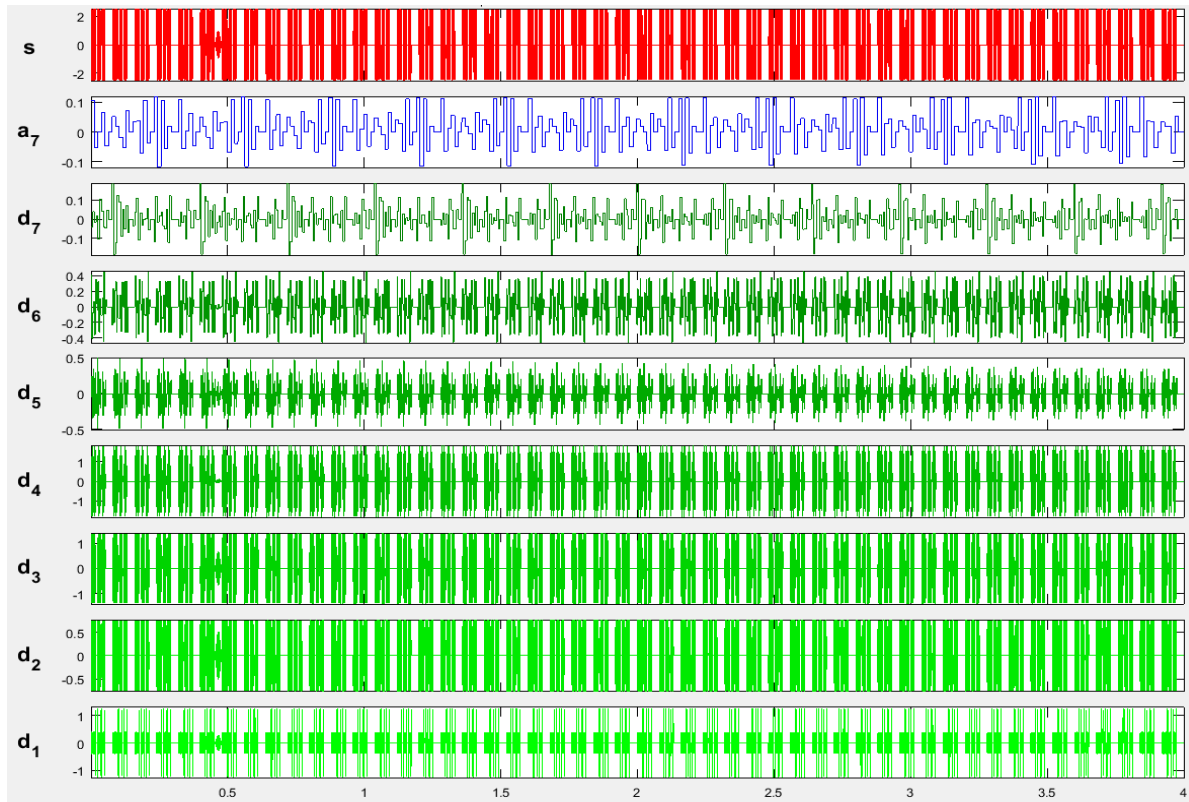


Рисунок 3.15 – Коефіцієнти CWT перетворення АЛС з кодом "З" за допомогою вейвлету типу Дебеші (db)

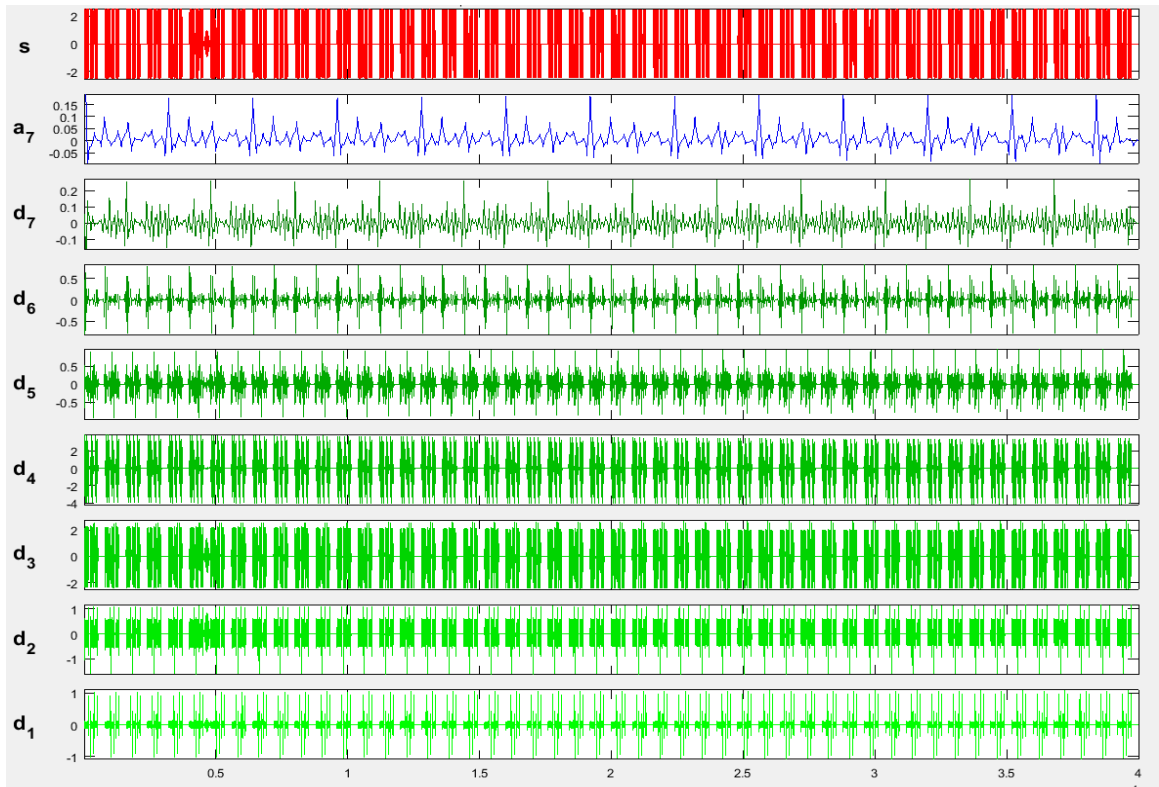


Рисунок 3.16 – Коефіцієнти CWT перетворення АЛС з кодом "3" за допомогою вейвлету типу `coiflets(coif)`

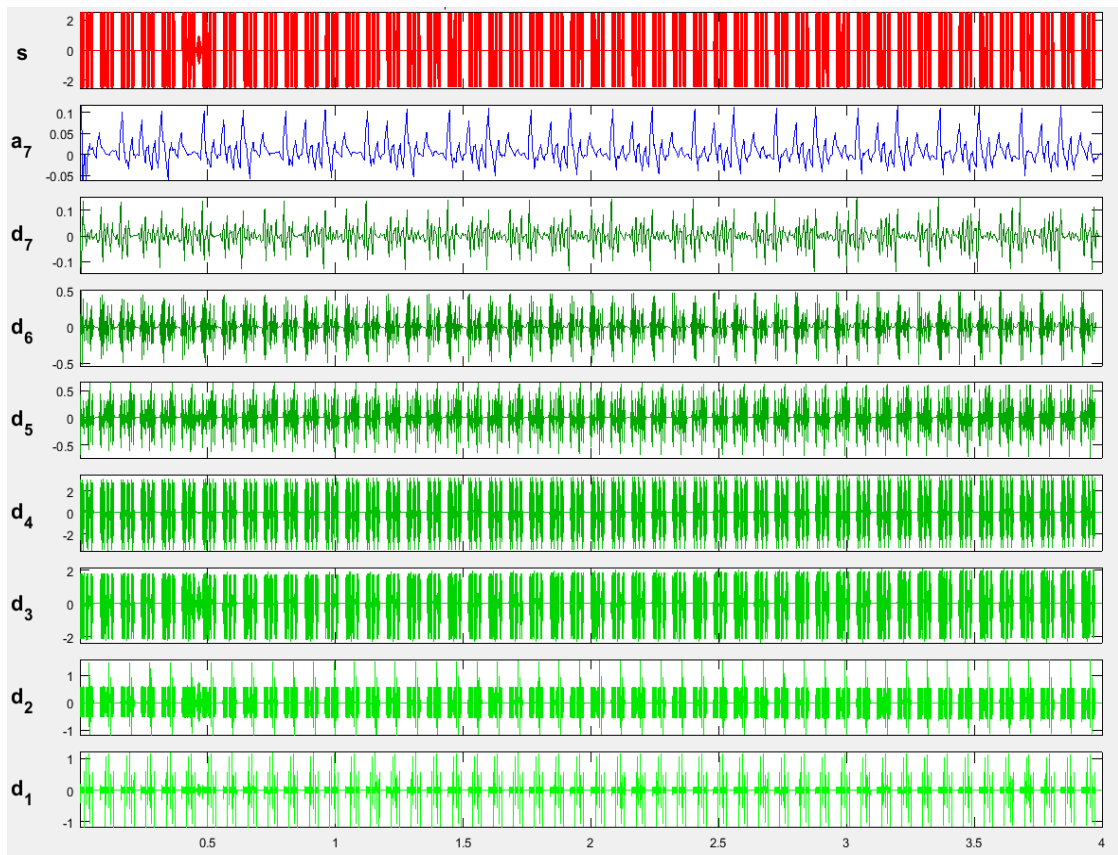


Рисунок 3.17 – Коефіцієнти CWT перетворення АЛС з кодом "3" за допомогою вейвлету типу `symlets(sym)`

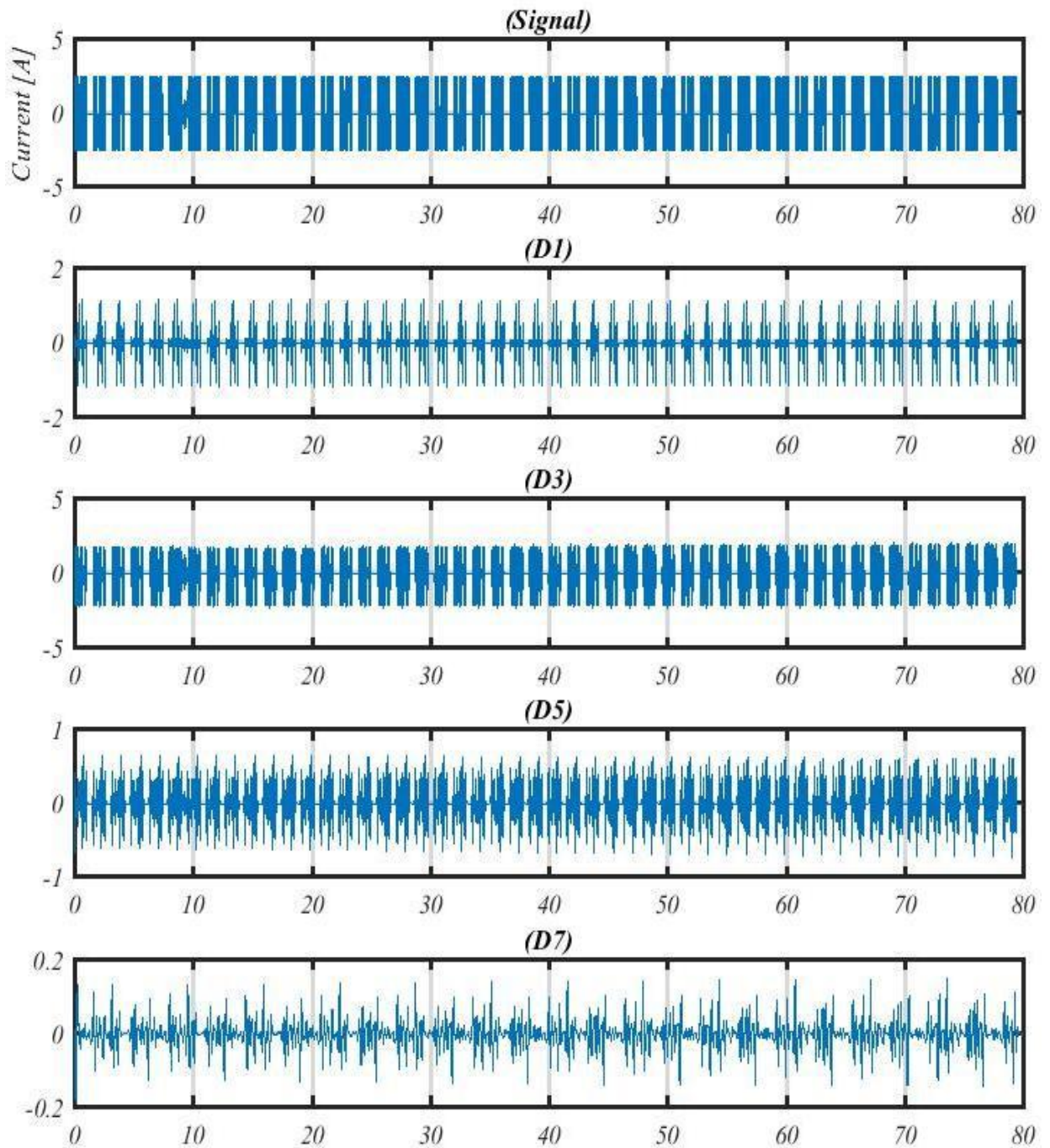


Рисунок 3.18 – Коефіцієнти DWT перетворення АІС з кодом "3" частотою 25 Гц за допомогою вейвлету типу Дебеші (db)

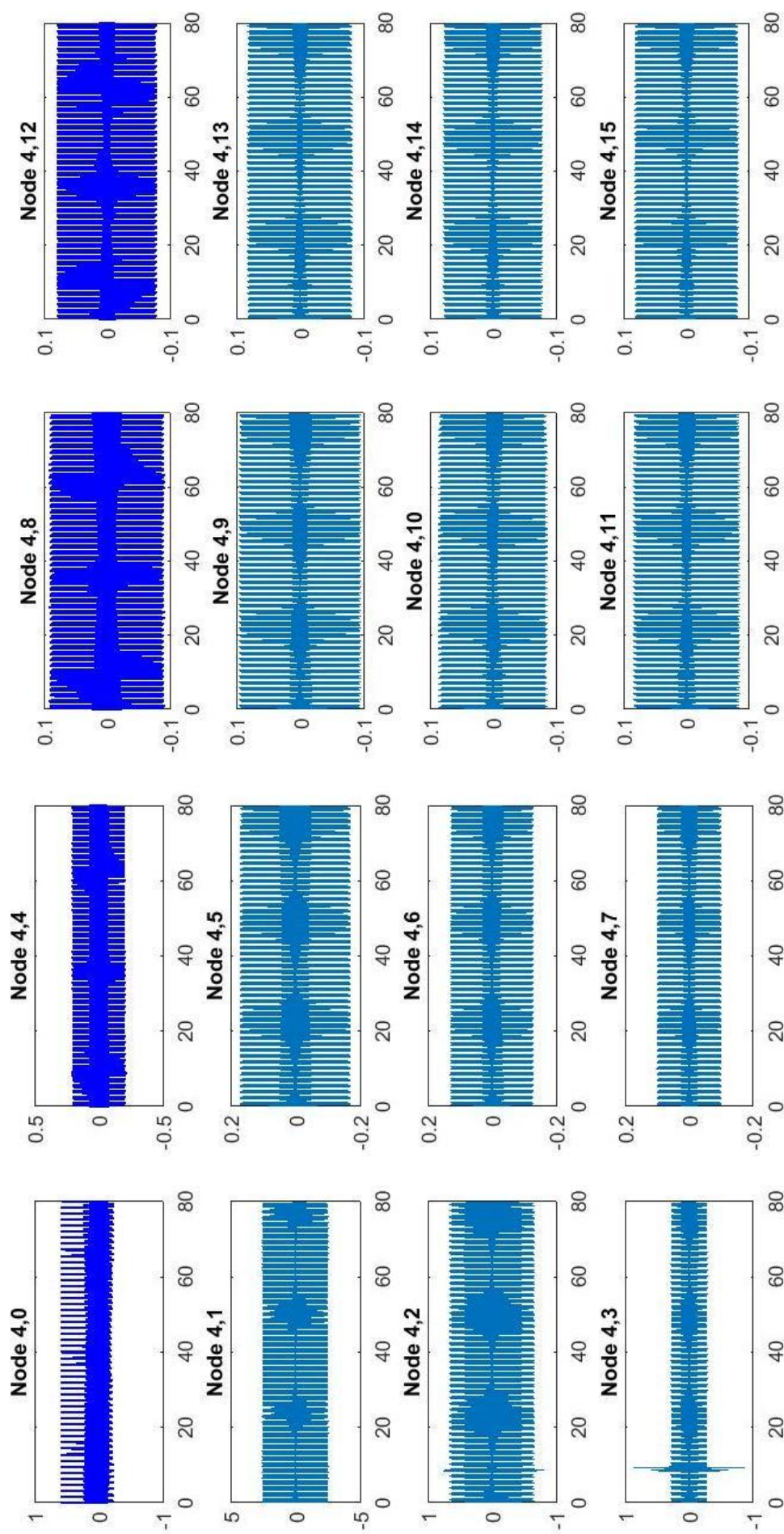


Рисунок 3.19 – Коэффициенты MODWT перетворення струму АЛС з кодом "3" частотою 25 за допомогою вейвлету типу Фэйера-Коровкина (fk18)

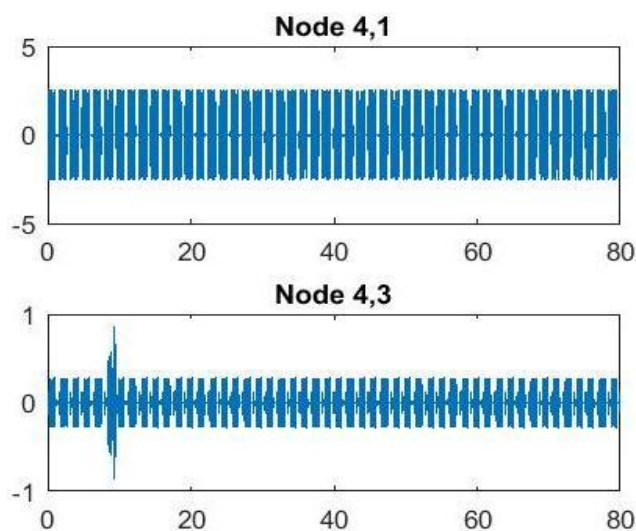


Рисунок 3.20 – Коефіцієнти MODWT перетворення АЛС з кодом "3" частотою 25 Гц за допомогою вейвлету типу Фейера-Коровкіна (fk18) для вузлів (4.1) та (4.3)

Для більш точного аналізу, коефіцієнти для вузлів (4.1) та (4.3) приведені на рис. 3.20 в збільшеному масштабі. З рисунку видно, що для вузла (4.1) сигнал не містить короточасних завад, що були присутні у початковому сигналі. Таким чином цифрова обробка струму АЛС на основі вейвлет-перетворення MODWT дозволяє ефективно фільтрувати струм від електромагнітних завад. Це дозволяє зробити перший важливий висновок про те, що вейвлет перетворення може бути використано для фільтрації кодів локомотивної сигналізації перед їх декодуванням. Зменшення завад в сигналі АЛС дозволяє підвищити завадостійкість приймачів АЛС, надійність та достовірність декодування кодів сигналізації.

Для вузла (4.3) чітко розрізняються піки, що відповідають короточасним завадам у коді АЛС. Інакше кажучи, завади потрапили до іншого вузла перетворення MODWT. Для більш детального їх аналізу на рис. 3.21 наведено часову залежність енергії MODWT перетворення сигналу АЛС для вузла (4.3).

З рисунку видно наявність значної завади в сигналі АЛС з кодом "3" в інтервалі часу 9-10 с. Це дозволяє зробити другий важливий висновок. Дискретне вейвлет-пакетне перетворення з максимальним перекриванням (MODWPT) сигналу АЛС дозволяє чітко визначити наявність і локалізацію у часі електромагнітних завад у сигналах АЛС. Відповідно, використання вейвлет-перетворення MODWPT для обробки сигналів АЛС дозволяє зменшити кількість завад в сигналі перед

декодуванням та оперативно визначати наявність електромагнітних завад під час декодування коду, що значно підвищує завадостійкість автоматичної локомотивної сигналізації.

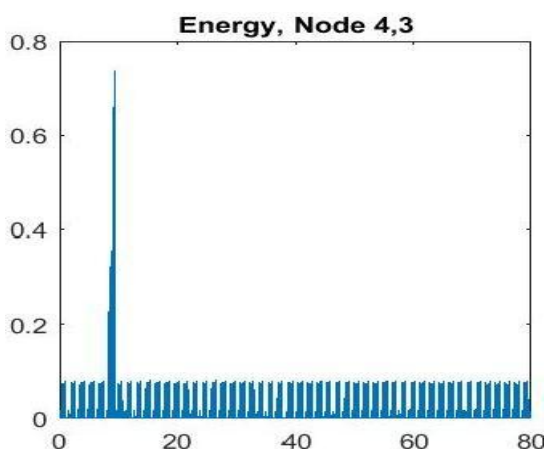


Рисунок 3.21 – Часова залежність енергії MODWT перетворення сигналу АЛС для вузла (4.3)

3.3 Результати експериментальних досліджень застосування Фур'є та вейвлет-перетворення для дешифрації коду АЛСН з завадами

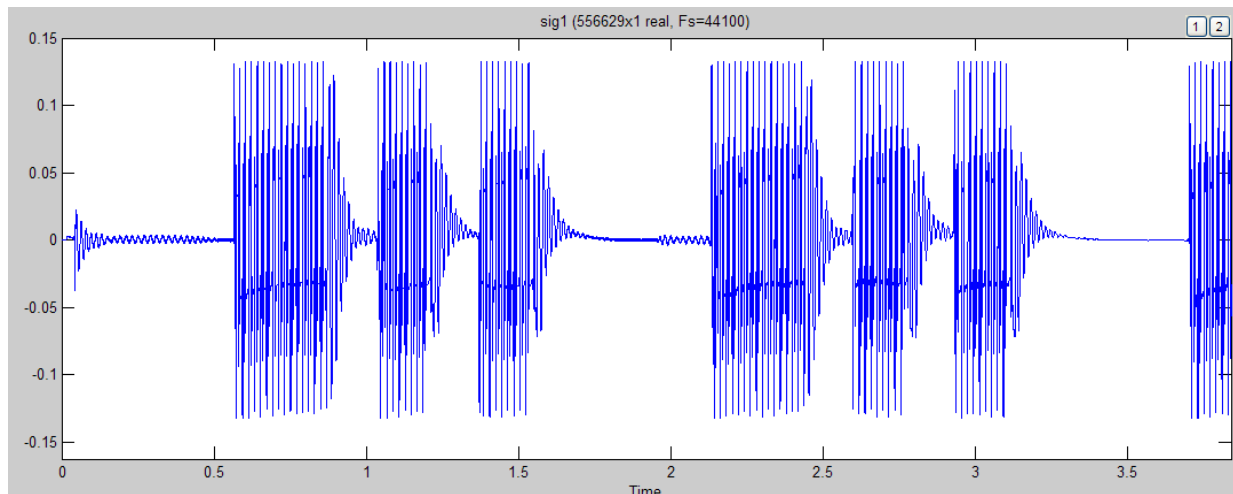


Рисунок 3.22 – Код зеленого вогню

Над сигналом без завад, що містить інформацію про зелене сигнальне показання (код 3), отриманим в реальних умовах експлуатації (рис. 3.22) за допомогою програми MATLAB, було проведено перетворення Фур'є (рис. 3.23) [165, 166]. Аналізуючи рис. 3.23, ми можемо помітити максимальний сплеск амплітуди на частоті 50 Гц і гармоніки сигнального струму на частотах кратних 50.

Оскільки даний сигнал має правильні амплітудно-часові параметри, приймаємо його за еталон.

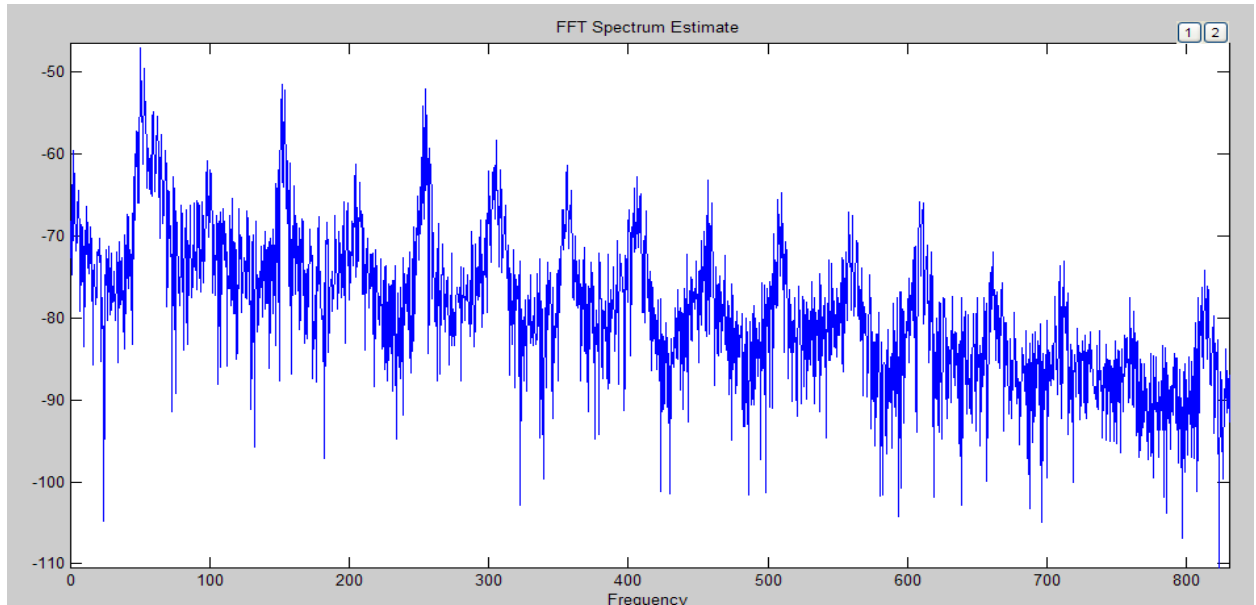


Рисунок 3.23 – Спектральний склад коду зеленого вогню

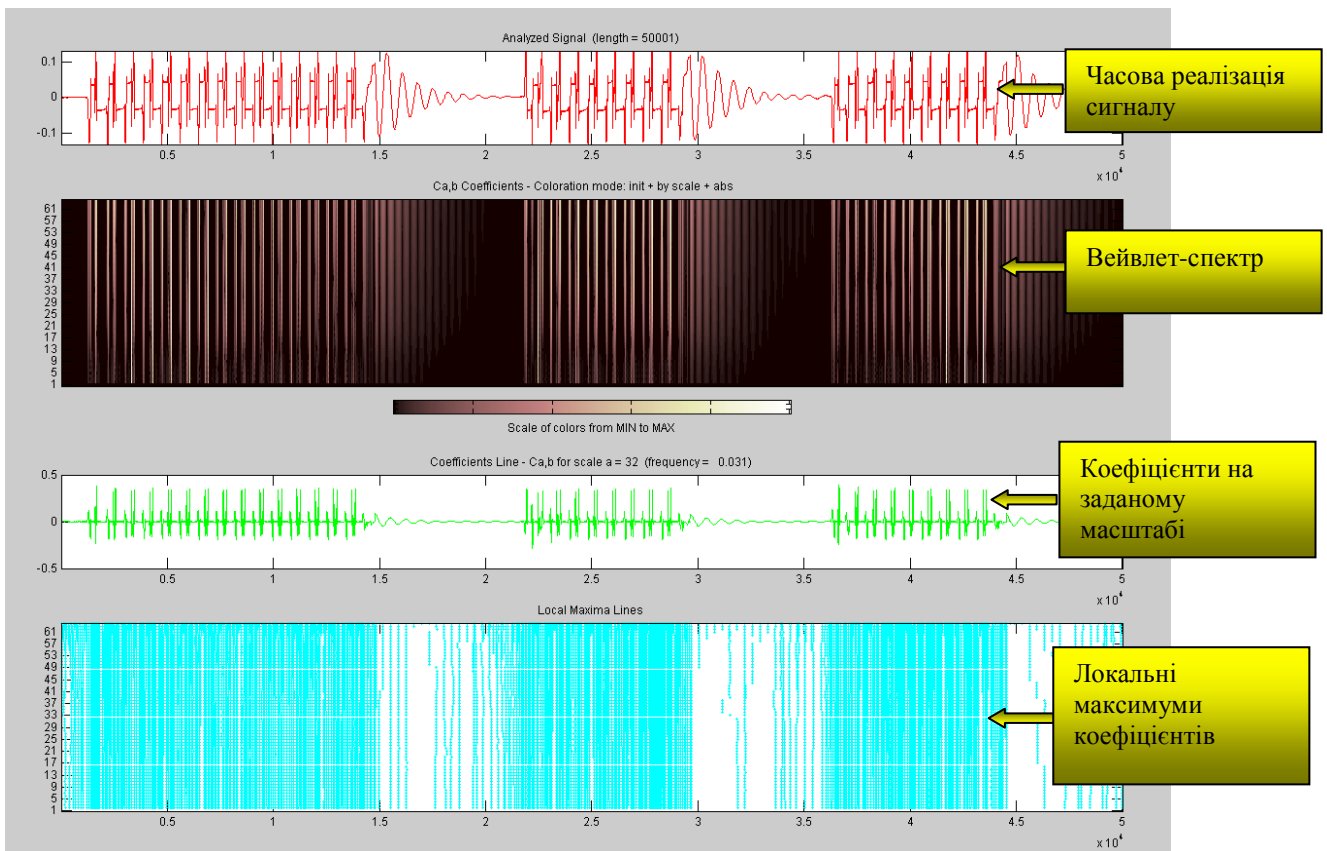


Рисунок 3.24 – Спектральний склад коду зеленого вогню при безперервному одновимірному вейвлет-перетворенні

Далі розкладемо цей же сигнал безперервним одновимірним вейвлет-перетворенням за допомогою пакету MATLAB (рис. 3.24), використавши вейвлет Добеши з центральною частотою 0,7143 Гц. У першому полі - амплітудно-часова характеристика даного сигналу, у другому полі – вейвлет-спектр, в якому кольоровою градацією показані: темно-коричневим кольором – мінімальні частоти, які присутні в сигналі; молочно-білим кольором - максимальні частоти (в нашому випадку 50 Гц), які присутні в сигналі. Можна помітити, що весь проміжок часового інтервалу імпульсу коду 3 заповнений максимальною частотою (50 Гц). Часові проміжки пауз виникають не різко, частота сигналу знижується і поступово зводиться до нуля, що сигналізує про зникнення сигнального струму на цих ділянках (практично чорні ділянки спектру).

Як і в випадку розкладання Фур'є, функція вейвлета характеризується коефіцієнтами. Але в даному випадку, ми говоримо про коефіцієнти масштабу (scale), які візуалізовані в третьому полі, а локальні максимуми цих коефіцієнтів – в четвертому полі рис. 3.24. Якщо проводити аналогію з частотно-часовою залежністю, то масштаб буде зворотньою до частоти величиною, так як малі масштаби відповідають самим верхнім частотам аналізованого сигналу, а великі масштаби – нижнім частотам.

Цю залежність легко простежити на рис. 3.25. Де на масштабі діапазону 1-97 чітко видно імпульси і паузи зеленого коду, а на масштабі діапазону 129-577 паузи заповнюються конусоподібним безперервним графіком темно-коричневого кольору, що говорить про наявність низьких частот завад, що не є суттєвими для дешифрування коду практично на всьому часовому інтервалі присутності сигнального струму.

На рис. 3.26 показано графік вейвлет коефіцієнтів коду зеленого вогню при безперервному одновимірному вейвлет-перетворенні. Як видно з графіка значущими є низькі частоти без додавання сторонніх заважаючих впливів. При цьому графік має плавні пологі контури, вигини яких фактично повторюють корисний сигнал в часовому просторі.

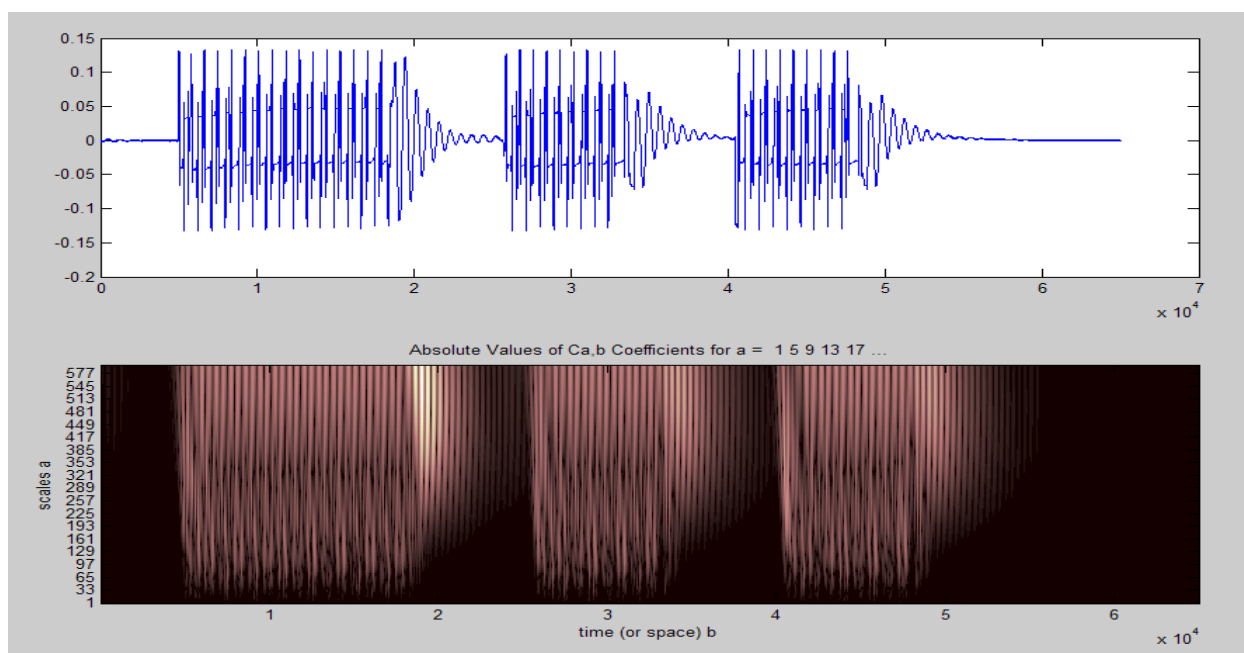


Рисунок 3.25 – Частотно-часова залежність коду зеленого вогню при безперервному одновимірному вейвлет-перетворенні

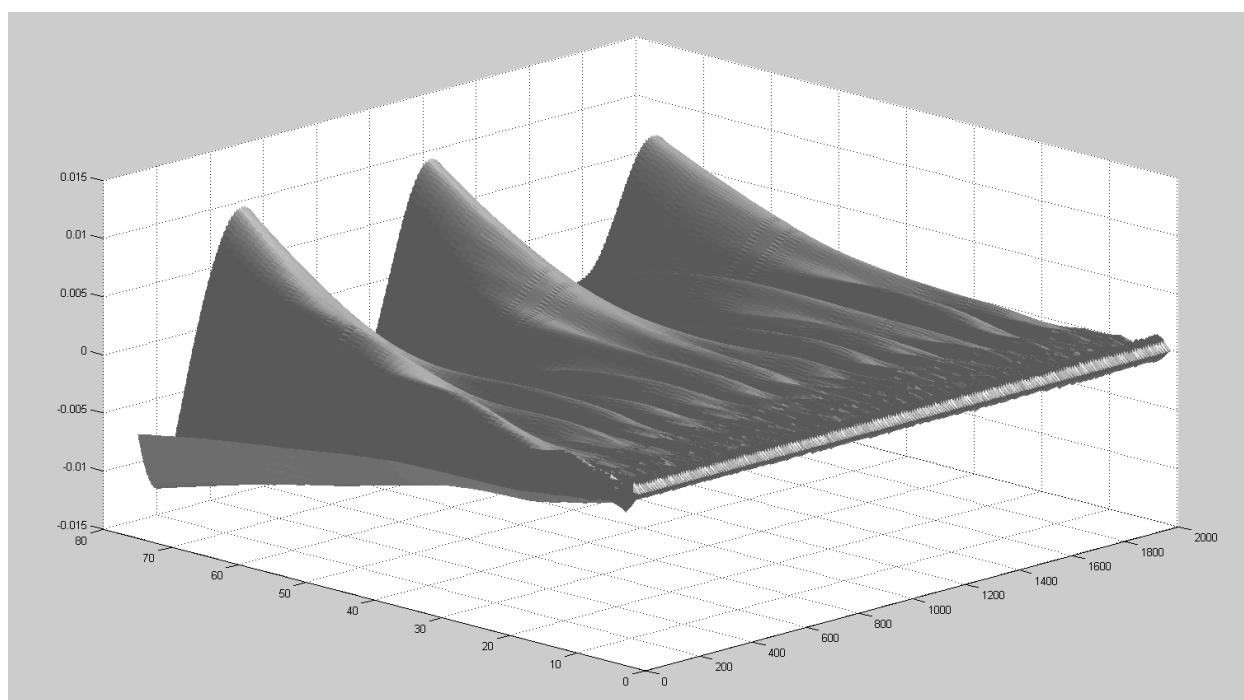


Рисунок 3.26 – Графік вейвлет коефіцієнтів коду зеленого вогню при безперервному одновимірному вейвлет-перетворенні

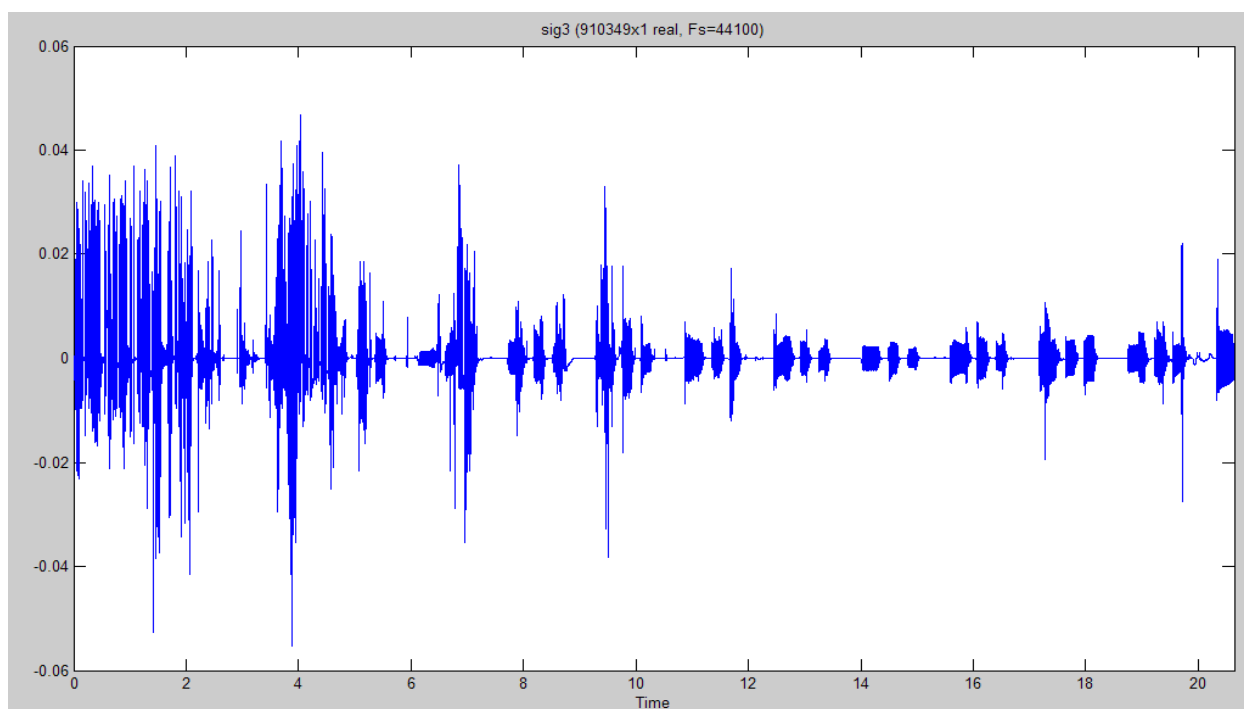


Рисунок 3.27 – Код зеленого вогню, що містить значні завади від впливу ЛЕП

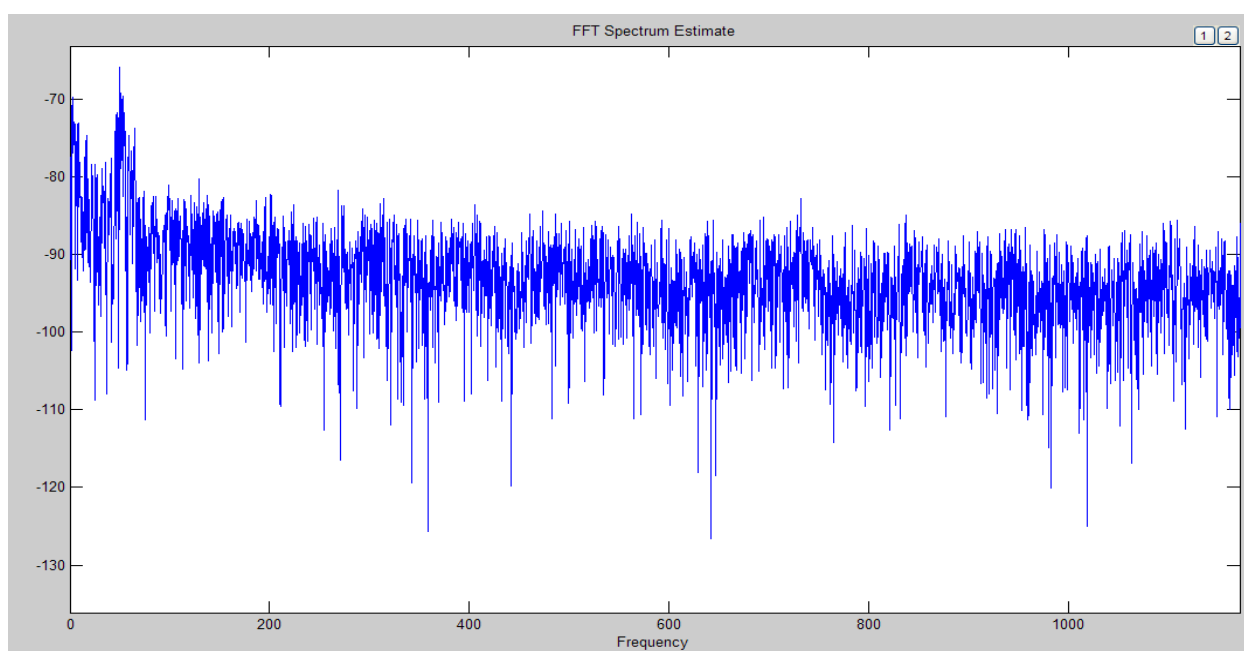


Рисунок 3.28 – Спектральний склад коду зеленого вогню, що містить значні завади від впливу ЛЕП

Для порівняння з еталонним сигналом на рис. 3.27 наведено сигнал, зашумлений завадами від ЛЕП, що також містить інформацію про зелене сигнальне показання (код 3), отриманий в реальних умовах експлуатації. На рисунку видно, що присутня висока амплітуда завад, час появи яких збігається з часовим проміжком інтервалів коду 3, що призводить до їх значних спотворень. За допомогою MATLAB проведемо над цим сигналом перетворення Фур'є (рис 3.28). Аналізуючи рис. 3.28, можна відзначити, що деяка частина завад має значні сплески на більш високих частотах 380, 620, 1020 Гц, що не може за собою спричинити помилкову дешифрацію коду, а інша частина завад збігається з частотою 50 Гц, що може мати вирішальне значення на визначення меж інтервалів і пауз при розпізнаванні коду.

Застосуємо до одного періоду коду 3 безперервне одновимірне вейвлет-перетворення за допомогою пакета MATLAB (рис. 3.29), використавши як і в першому прикладі вейвлет Добеши. На цьому рисунку чітко видно як перша пауза коду 3 заповнюється завадами, які збігаються з частотою 50 Гц (біло-молочний колір вертикалей). Маючи можливість відстежувати лише частоту, яка не локалізована в часі, дані завади можуть стати причиною помилкового дешифрування коду. Вейвлет-аналіз же дає можливість відстежити наявність несучої частоти в прив'язці до часу існування спектральної складової, що дає можливість більш коректного дешифрування сигналу.

Розглянемо інший код зеленого вогню зі стаціонарною випадковою завадою протягом усієї довжини запису (рис. 3.30). Сигнал, який розглядається, істотно відрізняється від коду, зображеному на рис. 3.22, суттєвою присутністю сторонніх домішків. Спектральний склад такого коду (рис. 3.31) включає в себе велику кількість складових частот, які при досягненні певної потужності, просто зашумлять корисний сигнал і приймальні котушки локомотива можуть стати нечутливими до нього.

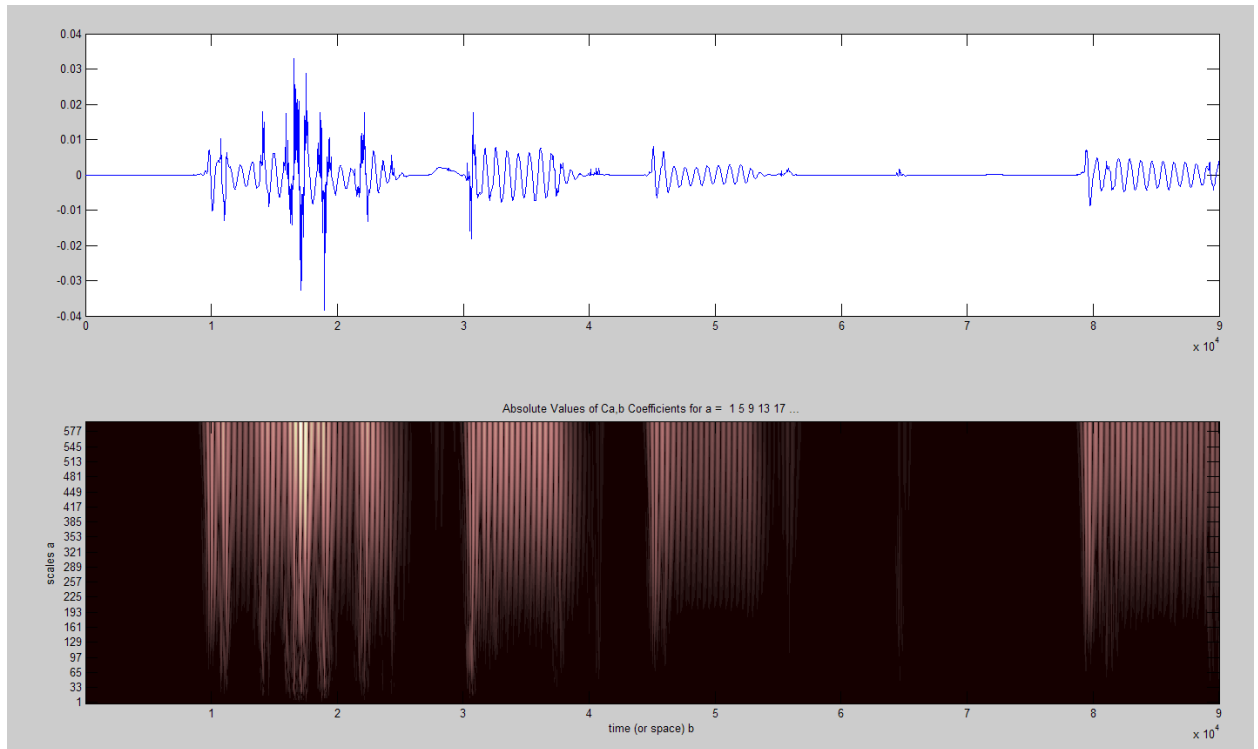


Рисунок 3.29 – Частотно-часова залежність коду зеленого вогню з завадами при безперервному одновимірному вейвлет-перетворенні

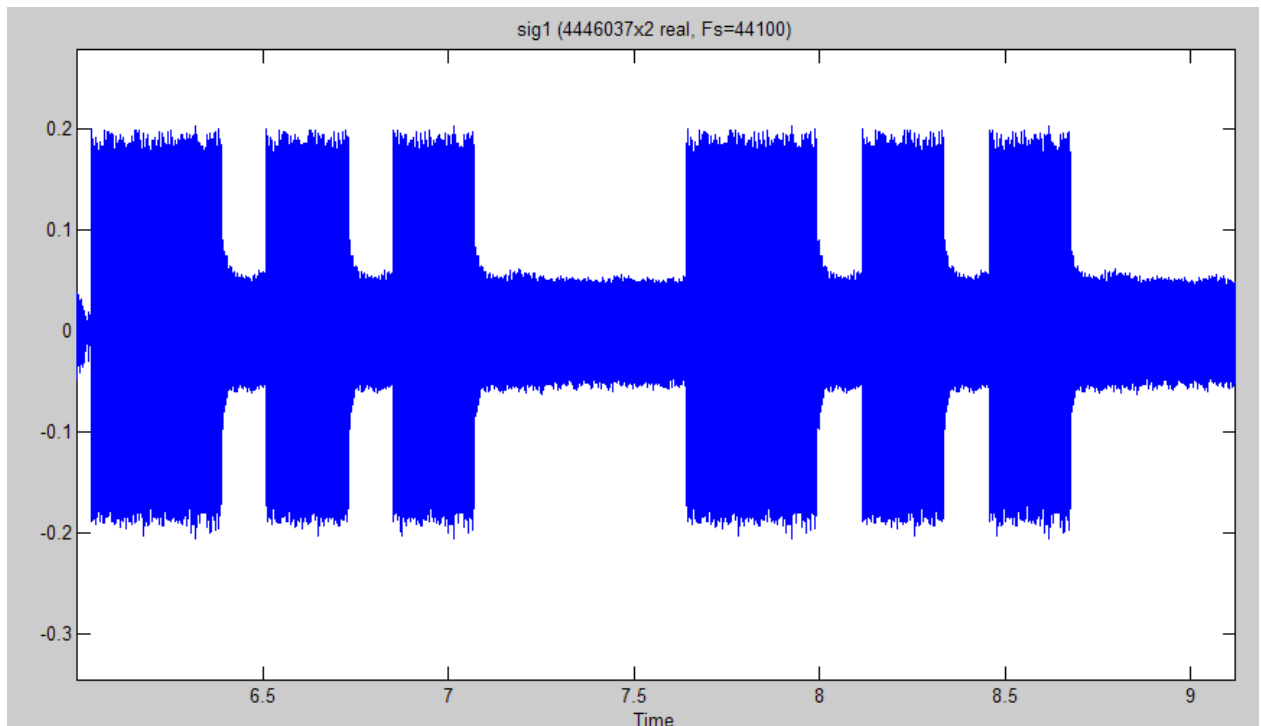


Рисунок 3.30 – Код зеленого вогню зі стаціонарною випадковою завадою

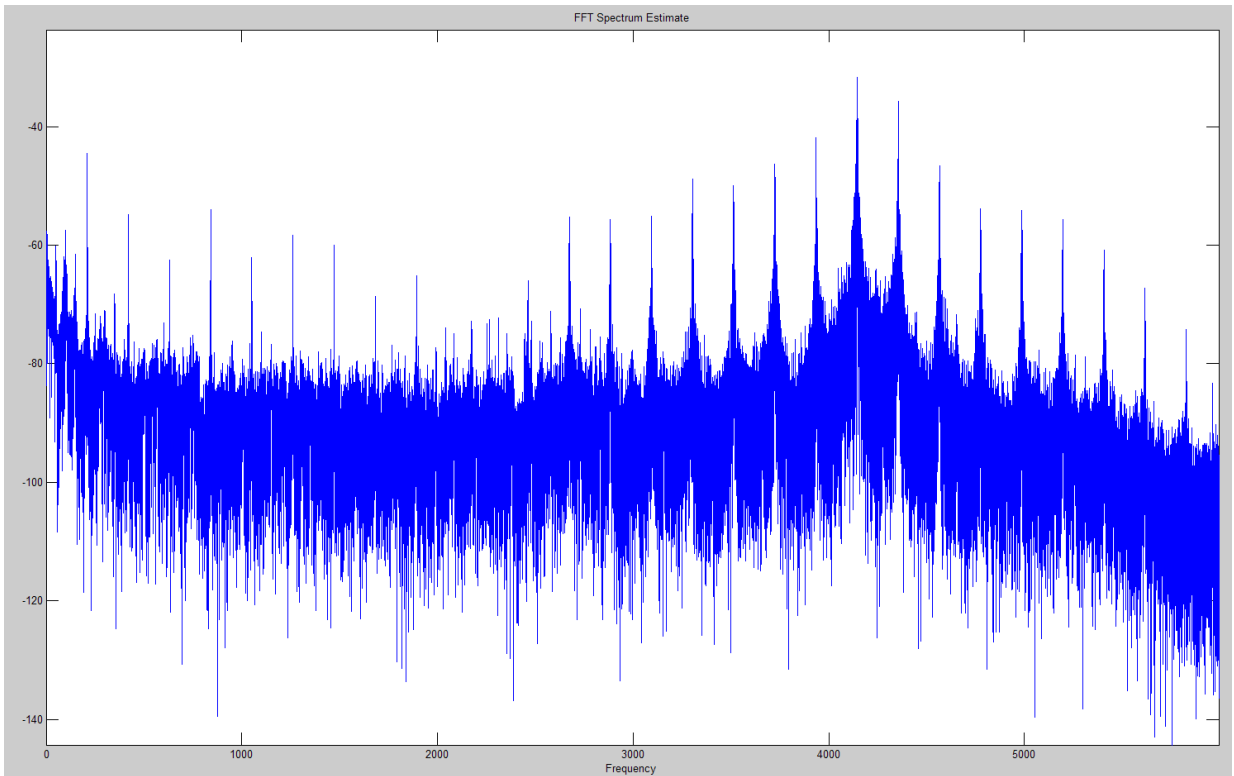


Рисунок 3.31 – Спектральний склад коду зеленого вогню зі стаціонарною випадковою завадою

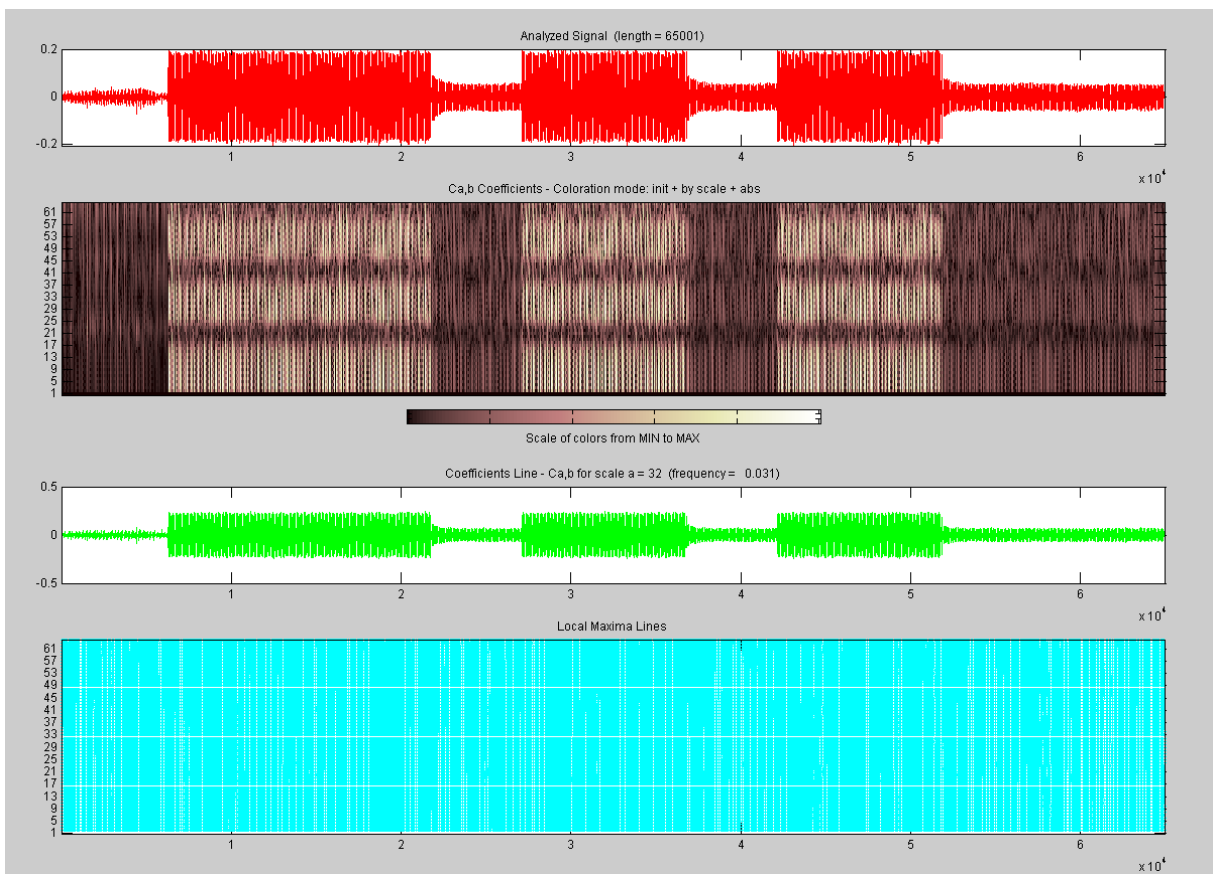


Рисунок 3.32 – Спектральний склад коду зеленого вогню зі стаціонарною випадковою завадою при безперервному одномірному вейвлет-перетворенні

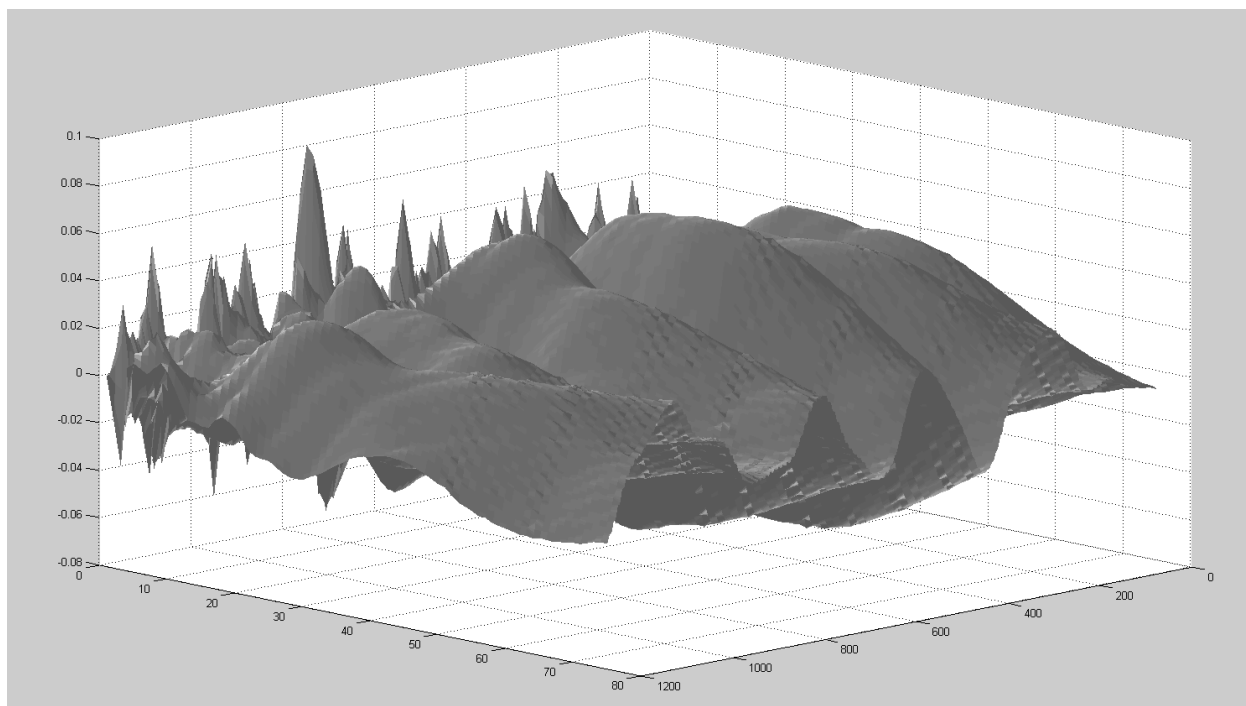


Рисунок 3.33 – Графік вейвлет-коефіцієнтів коду зеленого вогню зі стаціонарною випадковою завадою при безперервному одновимірному вейвлет-перетворенні

Коефіцієнти масштабу (scale), візуалізовані в третьому полі, локальні максимуми цих коефіцієнтів – в четвертому полі рис. 3.32. На рис. 3.33 показано графік вейвлет-коефіцієнтів коду зеленого вогню зі стаціонарною випадковою завадою при безперервному одновимірному вейвлет-перетворенні. Як видно з графіка, значний вплив на сигнал мають сторонні частоти, які здійснюють заважаючий вплив. При цьому графік має круті контури, піки, різкі перепади рівнів, які фактично спотворюють корисний сигнал в часовому та частотному просторі.

3.4 Висновки до третього розділу

За матеріалами, викладеними у розділі, зробимо такі висновки:

1. Модернізація існуючої системи АЛС передбачає заміну реле на мікропроцесорну апаратуру, яка має величезний ряд переваг. Однією з таких переваг є можливість цифрової обробки сигналу, завдяки чому значно підвищується достовірність одержуваного коду та зменшується кількість збоїв в роботі даної системи. Цифрова обробка сигналу дозволяє застосувати математичний апарат для перетворення сигналу, дає змогу отримати додаткову інформацію про нього, яка

недоступна в початковому вигляді. Тому запропонований в даній роботі метод виявлення електромагнітних завад шляхом цифрового спектрального аналізу сигналу є актуальною.

2 Серед багатьох відомих перетворень сигналів найбільш популярним є класичне перетворення Фур'є. Шляхом розкладання сигналу в ряд Фур'є можна визначити величину амплітуди і фази, як досліджуваного сигналу, так і завад, що впливають на роботу пристроїв АЛС, а також щільність розподілу ймовірностей кодових сигналів, завад і їх статистичні характеристики. Проте класичне перетворення Фур'є не дає вичерпної інформації про прийнятий код і має ряд недоліків:

- обмежена інформативність аналізу нестационарних сигналів і практично повна відсутність можливостей аналізу їх особливостей (розривів, сходинок, піків і т.п.), так як відбувається їх «розчинення» по всьому частотному діапазону спектру;

- відображення глобальних відомостей про частоти досліджуваного сигналу і відсутність уявлення про локальні властивості сигналу при швидких часових змінах його спектрального складу.

- використання Фур'є перетворення до сигнального струму, записаного для достатньо великих проміжків часу під час поїздки вагон-лабораторії, не дає значного результату, оскільки поява короткочасної завади в сигналі струму АЛС, що може викликати збій в роботі сигналізації, не буде помітною на загальній спектрограмі;

- Фур'є аналіз сигналу не дозволяє визначити часову локалізацію завади в сигнальному струмі. Більш придатним для цього виявилось короткочасне Фур'є перетворення (віконне Фур'є перетворення), але і воно має певні недоліки.

Тому застосування лише перетворення Фур'є для вирішення задачі розпізнавання завад при зчитуванні коду неможливе. Необхідний більш оптимальний математичний метод обробки сигналу, який зможе врахувати виявлені недоліки.

3. Як можливий альтернативний варіант спектральної обробки сигналу, запропонований метод вейвлет-перетворення. Він надає можливість отримати інформацію про локальні особливості сигналу, має всі переваги перетворень Фур'є та при цьому ще й ряд власних переваг:

- вейвлетні базиси можуть бути добре локалізованими як по частоті, так і за функцією часу;

- вейвлетні базиси, можуть бути представлені різноманітними базовими функціями, властивості яких орієнтовані на рішення різних завдань.

4. Серед багатьох різновидів вейвлет-функцій саме дискретне вейвлет-паketне перетворення з максимальним перекриванням (MODWPT) сигналу дозволяє чітко і оперативно визначати наявність і локалізацію у часі електромагнітних завад у довготривалих сигналах АЛС, а також зменшувати їх кількість в сигналі перед декодуванням.

5. Вейвлет-аналіз не завжди може підмінити Фур'є-аналіз. Багато теорем вейвлет-аналізу доводяться за допомогою розкладання Фур'є. Таким чином, ці два типи аналізу швидше доповнюють один одного, ніж є взаємовиключними.

6. Вейвлет-аналіз отриманих даних показав, що різні відхилення в роботі самої системи АЛС від норм внаслідок невиконання або недотримання технології обслуговування і ремонту, раптово виниклого пошкодження чи відмови безпосередньо в процесі руху поїзда впливають на часову залежність і спектральну складову струму, тим самим надаючи змогу їх розпізнавання даним методом. Тому вейвлет-аналіз, як додатковий метод обробки сигналу, може бути використаний для фільтрації кодів локомотивної сигналізації перед їх декодуванням з метою зменшення впливу завад на сигнальний струм, що, в свою чергу, дозволить підвищити надійність, достовірність та завадостійкість приймачів АЛС в цілому.

7. Використання вейвлет-аналізу з метою визначення наявності і локалізації завад у кодовому струмі АЛС є перспективним для автоматичної обробки сигналу вагон-лабораторією під час планових тестових поїздок, реалізації автоматизованої системи аналізу даних або розробці принципово нової автоматизованої системи перевірки працездатності АЛС. Цей метод дозволить усунути недоліки у роботі,

викликані людським фактором або недбалим виконанням посадових обов'язків при обслуговуванні систем контролю на базі вагон-лабораторії.

8. Запропонований метод можна покласти в основу розробки динамічної моделі фільтра і дешифратора АЛС з підвищеною вірогідністю прийому зашумлених сигналів, в якій буде використовуватися модуль цифрової спектральної обробки сигналу. Це дозволить значно підвищити заводозахищеність локомотивних пристроїв АЛС і підняти показники надійності роботи системи на новий рівень.

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБКА СПОСОБУ ТА ПРИСТРОЮ КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЛОКОМОТИВНИХ ПРИСТРОЇВ АВТОМАТИЧНОЇ ЛОКОМОТИВНОЇ СИГНАЛІЗАЦІЇ НА КОНТРОЛЬНОМУ ПУНКТІ

4.1 Експлуатаційні вимоги та технічне обслуговування системи АЛС

За Правилами технічної експлуатації залізниць України до автоматичної локомотивної сигналізації пред'являються наступні вимоги [174, 175]:

- при автоматичній локомотивній сигналізації локомотивні світлофори мають давати показання, що відповідають показанням колійних світлофорів, до яких наближається поїзд;

- за умови руху тільки за показаннями локомотивних світлофорів ці світлофори мають давати показання в залежності від зайнятості або вільності блок-ділянок, що лежать попереду;

- автоматична локомотивна сигналізація повинна доповнюватися автостопом з пристроями перевірки пильності машиніста та контролю швидкості руху поїзда;

- автостопи мають забезпечувати автоматичну зупинку поїзда перед закритим світлофором.

За інструкцією з технічного обслуговування локомотивних пристроїв автоматичної локомотивної сигналізації безперервного типу і пристроїв контролю пильності машиніста на залізницях України пред'являються наступні вимоги [181]:

- раз у шість місяців працівникам локомотивного депо необхідно виконувати перевірку параметрів у всіх типів локомотивних котушок: добротності, індуктивності, діючого значення електрорушійної сили (ЕРС), а для приймальних котушок КПУ-1 та КПУ-2 і опору постійному струму;

- загальний ящик встановлюють на локомотиві або моторвагонному рухомому складі, в якому розміщують дешифратор, підсилювач та конденсаторні блоки;

- підсилювачі необхідно налаштувати і регулювати так, щоб вони стійко працювали при напрузі живлення (50 ± 10) В і кодовому струмі в рейках від мінімального до максимально допустимого 25 А. Мінімальний струм при

автономній тязі: при кодуванні на частоті 50 Гц – 1,2 А; при кодуванні на частотах 25 і 75 Гц – 1,4 А. Мінімальний струм при електричній тязі: постійного струму - 2,0 А; змінного струму - 1,4 А.

Стійкість і безвідмовність дії пристроїв на локомотиві значно залежать від якості технічного обслуговування. Види технічного обслуговування локомотивних пристроїв АЛС вирішуються системою технічного обслуговування локомотивів, від якої залежить працездатність пристроїв в міжоглядові і міжремонтні періоди.

Технічне обслуговування пристроїв на локомотивах і моторвагонних поїздах складається з таких видів:

- а) щоденного обслуговування при ТО-1 локомотива;
- б) обслуговування на ПТО при ТО-2 локомотивів;
- в) обслуговування на контрольному пункті (КП АЛС) після ТСГЗ;
- г) цехового обслуговування, проведеного цехом автостопів основного депо;
- д) обслуговування і ремонту контрольно-випробувальним пунктом (КВП АЛС).

Загальний комплекс робіт по цеховим і основним технічним видам обслуговування пристроїв цехами автостопів локомотивних депо і контрольно-випробувальними пунктами дистанції складається з оглядів, перевірок і відновлення працездатності. При цьому перевірки (обслуговування) контрольними пунктами дистанції (КП АЛС) локомотивних пристроїв сигналізації відіграють окрему важливу роль. Вони проводяться після кожного технічного обслуговування виду ТО-3, що виконується через 11-12 тис. км пробігу електровоза постійного струму, 5-9 тис. км тепловоза і через п'ять діб пробігу електропоїздів, а також після поточного ремонту ТР-1, ТР-2 і ТР-3 локомотива або відстою його в депо більше трьох діб, а на паровозах, крім того, після кожної видачі їх з депо. При цьому огляді встановлюють готовність пристроїв до використання, правильність їх дії, а також усувають несправності, виявлені перевіркою і ті, що спостерігалися машиністом під час руху (відмічені в журналі технічного стану локомотива або в книзі зауважень машиністів) [176-181].

В даній роботі розроблено спосіб [182] і на його основі – пристрій [183], що автоматизує процес перевірки правильності відображення показань локомотивного

світлофора в кабіні машиніста на контрольному пункті відповідно до коду, який надійшов до шлейфу випробувальної ділянки КП АЛС, шляхом реєстрації змін показань локомотивного світлофору та надання електронного протоколу-висновку щодо працездатності системи без участі людини. З метою визначення які саме дії електромеханіка здатен автоматизувати даний пристрій, розглянемо порядок перевірки системи АЛС на контрольному пункті окремо.

4.2 Обслуговування системи АЛС на контрольному пункті

Контрольні пункти АЛС знаходяться в локомотивних депо, де виробляється основний обсяг робіт з технічного обслуговування і ремонту локомотивів [184]. На контрольному пункті повинні бути:

- стаціонарні пристрої для подачі кодів в шлейфи;
- випробувальні шлейфи типу ППТ-74;
- контрольні дешифратор і підсилювач, відрегульовані на мінімальну чутливість;
- вимірювач параметрів котушок типу ПЛК (ПЛК-М);
- електровимірювальні прилади (вольтметр, мілівольтметр, мегомметр);
- секундомір, шаблони для перевірки габаритів підвіски прийомних котушок, пломбувальні лещата і набір необхідного інструменту.

Для включення і виключення випробувальних ділянок, вимірювання струмів в шлейфі, управління зміною сигналів на локомотиві в приміщенні контрольного пункту встановлюють пульт-статив, поєднаний з панеллю керування, і статив закритого типу для розміщення штепсельних малогабаритних і трансмітерних реле, перетворювачів частоти, трансформаторів, трансмітера і іншої апаратури для випробувальних ділянок [56].

Щит управління виконаний у вигляді панелі, на якій є амперметр з межею вимірювання 3 А, три двохпозиційні кнопки з фіксацією типу КДФ, шість комутаторних патронів з лампами, реостат опором 240 Ом, шість запобіжників і панель з 12 гніздами. Щит призначений для установки в приміщенні контрольного пункту і перед підключенням напруги щит на місці установки заземлюють.

Пульт-статив контрольного пункту призначений для перевірки локомотивного обладнання пристроїв автоматичної сигналізації, яка проводиться на випробувальних ділянках при виході локомотивів з депо. Кількість випробувальних ділянок визначається місцевими умовами в залежності від кількості та розташування шляхів. Зовнішній вигляд пульта-статива типу АЛС наведено на рис. 4.1. Монтаж пульта-статива виконується за типовою монтажною схемою. Найменування і тип елементів, застосованих в пульта-стативі АЛС, наведено в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Найменування і тип елементів, застосованих в пульта-стативі АЛС

Найменування елемента	Тип елемента
Амперметр	Е365, 0-5А, клас 1,5, ТУ25-04-3720-79
Діоди	Д226Б, ЩБЗ.362.002 ТУ-1
Клеми 2-х контактні	Черт. 6056 ^b -00
Конденсатори	К50-20-25В-500 мкФ
Конденсатори	К50-20-25В-1000 мкФ
Конденсатори	К50-20-25В-2000 мкФ
Лампы комутаторні	КМ 12-90
Розетки штепсельні	реле НМШМ1
Розетки штепсельні	реле НМШ2
Розетки штепсельні	реле ТШ
Розетки штепсельні	реле АНШ5
Розетка 2-полюсна освітлювальна	РШ-ц-2-0-00-6/250, ГОСТ 7396-76
Запобіжники з сигналізацією перегорання на цоколі	3 А, черт. 20876-00-00
Запобіжники з сигналізацією перегорання на цоколі	5 А, черт. 20876-00-00
Запобіжники	0,5 А, черт. 20871-00-00
Запобіжники	3А, черт. 20871-00-00
Перемикач галетний	ПГК 11П 1Н, НІО.360.605
Резистори	ПЭ-25-15 0м±Ю%
Резистори	ПЭ-25-47 0м±10%
Резистори	6 0м, черт. 7157-00-00
Тумблер	ТВ1-2, УСО.360.049 ТУ

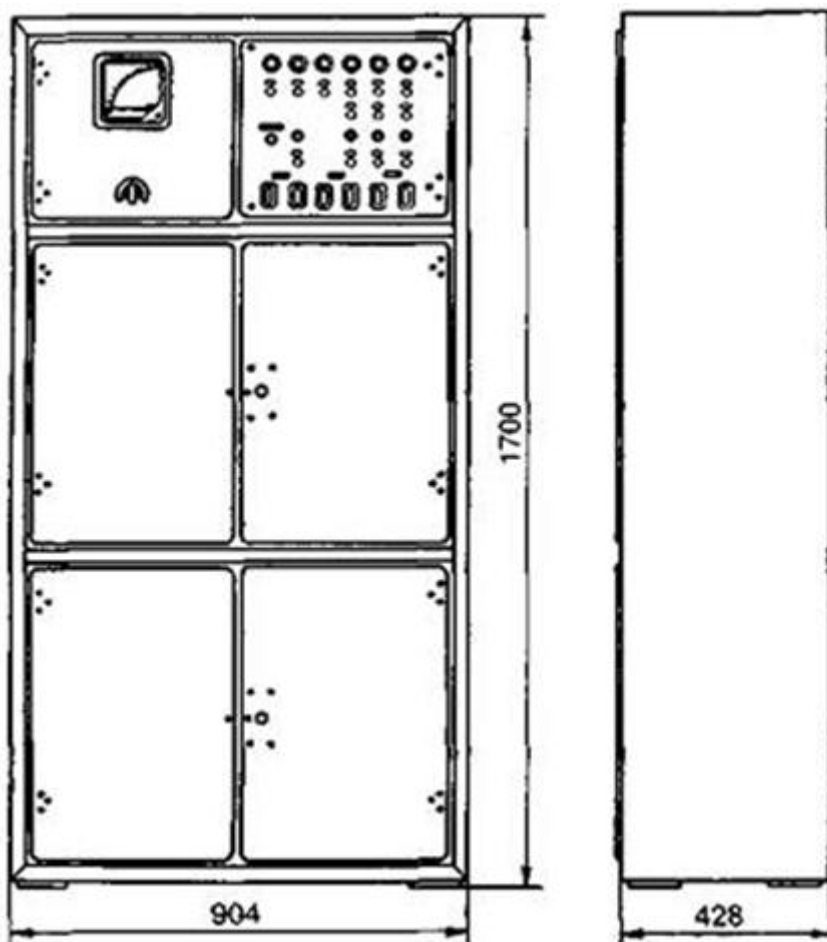


Рисунок 4.1 – Пульт-статив типу АЛС

Локомотивні пристрої АЛС повинні періодично перевірятися на контрольному пункті за умов, відповідних роботі пристроїв в експлуатації. Для цього на контрольному пункті влаштовують випробувальні ділянки (рис. 4.2, а), де укладають шлейфи і по ним передають кодові сигнали зі шляху на локомотив. На ділянці з тягою тепловоза (рис. 4.2, б) шлейф укладають так, щоб локомотив вміщувався в середній частині шлейфа і загальна його довжина $L_{\text{лок}}$ була на 4 м більше довжини локомотива. При укладанні шлейфу на ділянці з електричною тягою (рис. 4.2, г) довжина шлейфу також більше довжини локомотива. По кінцях шлейфу застосовують перехресне укладання, щоб виключити вплив рейкового кола на шлейф.

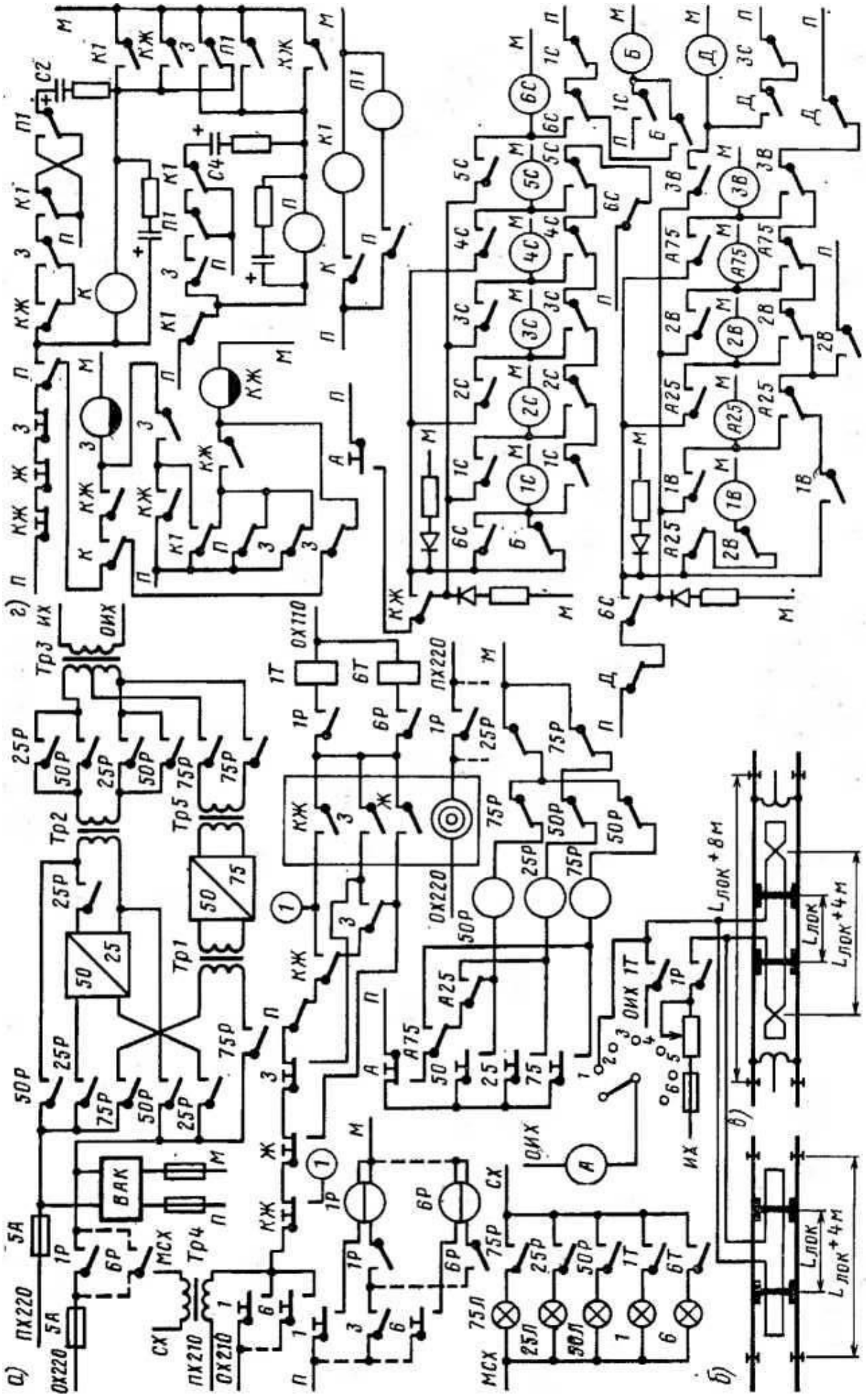


Рисунок 4.2 – Схема випробувальної ділянки

Порядок перевірки системи АЛС на контрольному пункті. Для перевірки правильності прийому і розшифрування локомотивними пристроями переданих зі шляху кодових сигналів АЛС на пункті є випробувальна ділянка, обладнана шлейфом. Для цього в шлейф випробувальної ділянки посилають послідовно сигнали зеленого, жовтого і жовтого з червоним вогню.

Кодовий струм, що посилається в шлейф в процесі перевірки пристроїв АЛС, повинен бути:

- на ПТО електровозів і електропоїздів постійного струму $I = 2,0-2,1$ А при частоті 50 Гц;
- на ПТО електровозів і електропоїздів змінного струму $I = 1,4-1,47$ А при частоті 25 і 75 Гц;
- на ПТО тепловозів і дизель-поїздів величина струму $I = 1,2-1,26$ А при частоті 50 Гц і $1,4-1,47$ А при частоті 25 і 75 Гц.

Одночасно з перевіркою пристроїв АЛС перевіряються прилади, що контролюють пильність машиніста [185]. Перевірка дії та регулювання пристроїв АЛС і контролю пильності машиніста на контрольному пункті після технічного обслуговування ТО-3 і ремонту виконуються електромеханіком КП АЛС і працівником локомотивного депо. Перед перевіркою пристроїв машиніст локомотива повинен ретельно продути головний резервуар і магістраль, підняти тиск в головному резервуарі до тиску від 0,75 до 0,9 МПа (від 7,5 до 9,0 кгс/см²).

Електромеханік контрольного пункту АЛС спільно з працівником депо повинен перевірити на локомотиві [184]:

- наявність пломб;
- напругу джерел електроживлення пристроїв АЛС і контролю пильності машиніста;
- справність і опір ізоляції електричних кіл АЛС;
- правильність сигнальних показань локомотивного світлофора і їх відповідність кодовим сигналам, що подаються в рейкове коло;
- правильність дії пристроїв періодичної перевірки пильності машиніста при червоному, жовтому з червоним і білому вогнях локомотивного світлофора;

- контроль швидкості при червоному і жовтому з червоним вогнях локомотивного світлофора шляхом піднімання писця швидкостеміра;
- перехід з червоного вогню на білий;
- спрацьовування електропневматичного клапана автостопа на зрив з кожної кабіни;
- одночасно з перевіркою сигнальних показань контролювати подачу одноразових сигналів пильності при зриві будь-яких показань, зміни на зелений вогонь;
- одночасно з перевіркою сигнальних показань локомотивного світлофора перевіряти спрацьовування відповідних реєструючих електромагнітів швидкостеміра.

На підставі керівних документів КП АЛС повинен бути складений і наглядно оформлений технологічний перелік робіт з утримання та перевірки дії АЛС і пристроїв пильності машиніста на локомотивах, який повинен враховувати особливості парку локомотивів, що обслуговується, їх оснащення приладами безпеки, місцеві умови [184]. У разі виявлення на контрольному пункті АЛС несправностей, які не можуть бути усунені за час, відведений для перевірки, працівники локомотивного депо і КП АЛС негайно повідомляють про це черговому по депо і спільно з ним вирішують питання про усунення несправності на підприємстві, що перевіряє локомотив або випуску іншого локомотива. При справній дії перевірених пристроїв АЛС і контролю пильності машиніста працівник локомотивного депо і електромеханік КП АЛС роблять позначку за своїм підписом про справність пристрою контролю пильності машиніста в штампі-довідці та в журналах технічного стану локомотива, огляду, ремонту і перевірки пристроїв АЛС і контролю пильності машиніста.

Різні кодові сигнали в шлейф на контрольній ділянці можуть надсилатися також вручну шляхом натискання різних кнопок (ЧЖ, Ж, З) або автоматично в заздалегідь прийнятій послідовності без участі перевіряючого. Ручний режим включення сигнальних кодів в шлейф виконується натисненням однієї з кнопок КЖ, Ж або З, через контакт якої включається коло кодування обраним кодом. При цьому

встановлюється така послідовність зміни сигнальних показань локомотивного світлофора (ЛС): жовтий з червоним, червоний, зелений, білий, жовтий, білий, знову жовтий з червоним і т. д. Тривалість горіння сигнальних вогнів з урахуванням необхідності перевірки дії періодичної перевірки пильності прийнята такою: зеленого – 10 с, червоного – 30 с і інших – 20 с. Якщо зміна показань ЛС точно відповідає послідовності, в якій подаються коди, то це означає, що локомотивні пристрої АЛС справні [186].

На даний час перевірка правильності відображення показань локомотивного світлофора відповідно до коду, який надійшов до шлейфу випробувальної дільниці КП АЛС, відбувається електромеханіком вручну з використанням секундоміру. Працівник повинен візуально пересвідчитись щодо правильності змін показань локомотивного світлофора згідно заздалегідь відомої послідовності надходження сигнальних кодів у шлейф та виміряти час горіння ламп світлофора відповідно до часу подачі або відсутності подачі кодових посилок. Така перевірка являє собою лише формальний контроль працездатності локомотивних пристроїв, в результаті чого, в ручному режимі робиться висновок щодо правильної роботи системи АЛС в цілому. Людський фактор в цьому процесі відіграє вирішальну роль, що є не припустимим з точки зору забезпечення безпеки руху на залізничному транспорті.

4.3 Розробка пристрою контролю технічного стану локомотивних пристроїв автоматичної локомотивної сигналізації на контрольному пункті

Для підвищення ефективності та надійності роботи залізничних пристроїв виконано багато науково-дослідних робіт [4, 5, 7, 17, 25, 40-42, 62, 154, 155]. Результати впроваджуються в експлуатаційну роботу, тим самим автоматизуючи велику кількість технологічних процесів, скорочуючи час на обслуговування пристроїв та підвищуючи ймовірність безвідмовної роботи апаратури. Проте, незважаючи на це, аналіз роботи залізничних пристроїв за дослідні 2015-2019 роки проведений в 1 розділі цієї роботи показав, що людський фактор, а саме порушення технології виконання робіт, недотримання вимог технологічних карт та керівництв з експлуатації, неякісний ремонт та перевірка приладів в ремонтно-технологічних

ділянках, залишається суттєво високим в надійності роботи залізничної апаратури в цілому і в системах локомотивної сигналізації зокрема. При цьому велика кількість експлуатаційних відмов обумовлена саме недотриманням норм технічного обслуговування та ремонту пристроїв АЛС. Тому і надалі залишаються актуальними розробки в сфері автоматизації процесів перевірки та контролю систем безпеки на залізничному транспорті. Для підвищення якості функціонування локомотивних пристроїв за рахунок додаткової обробки сигнальної інформації щодо працездатності системи була спрямована розробка спочатку способу автоматизованого контролю технічного стану АЛС на контрольному пункті, а потім і пристрою, які закріплені патентами [182, 183].

В кабіні машиніста встановлюється локомотивний двосторонній п'ятизначний світлофор типу С-2-5м (рис. 4.3), що має світлофільтри, розташовані зверху вниз: зелений, жовтий, червоно-жовтий, червоний і білий та лампи розжарювання типу РН-60-4,8 (напругою 60 В, потужністю 4,8 Вт). При цьому локомотивний світлофор повинен дублювати показання колійних світлофорів та мати наступні сигнальні показання:

- зелений вогонь («З») (на колійному світлофорі, до якого наближається поїзд, горить зелений вогонь);
- жовтий вогонь («Ж») (на колійному світлофорі - жовтий вогонь);
- жовтий вогонь з червоним («ЧЖ») (на колійному світлофорі - червоний вогонь);
- червоний вогонь («Ч») (сигнал, який забороняє рух, він з'являється після проїзду колійного світлофора з червоним вогнем);
- білий вогонь («Б») (показання колійних світлофорів на локомотив не передаються, хоча апаратура АЛСН включена і працює).

Червоному і білому вогням локомотивного світлофора відповідає відсутність в рейковому колі електричного сигналу, а також безперервний струм або імпульси струму, що подаються з невеликими інтервалами (збій кодів) [174, 175].

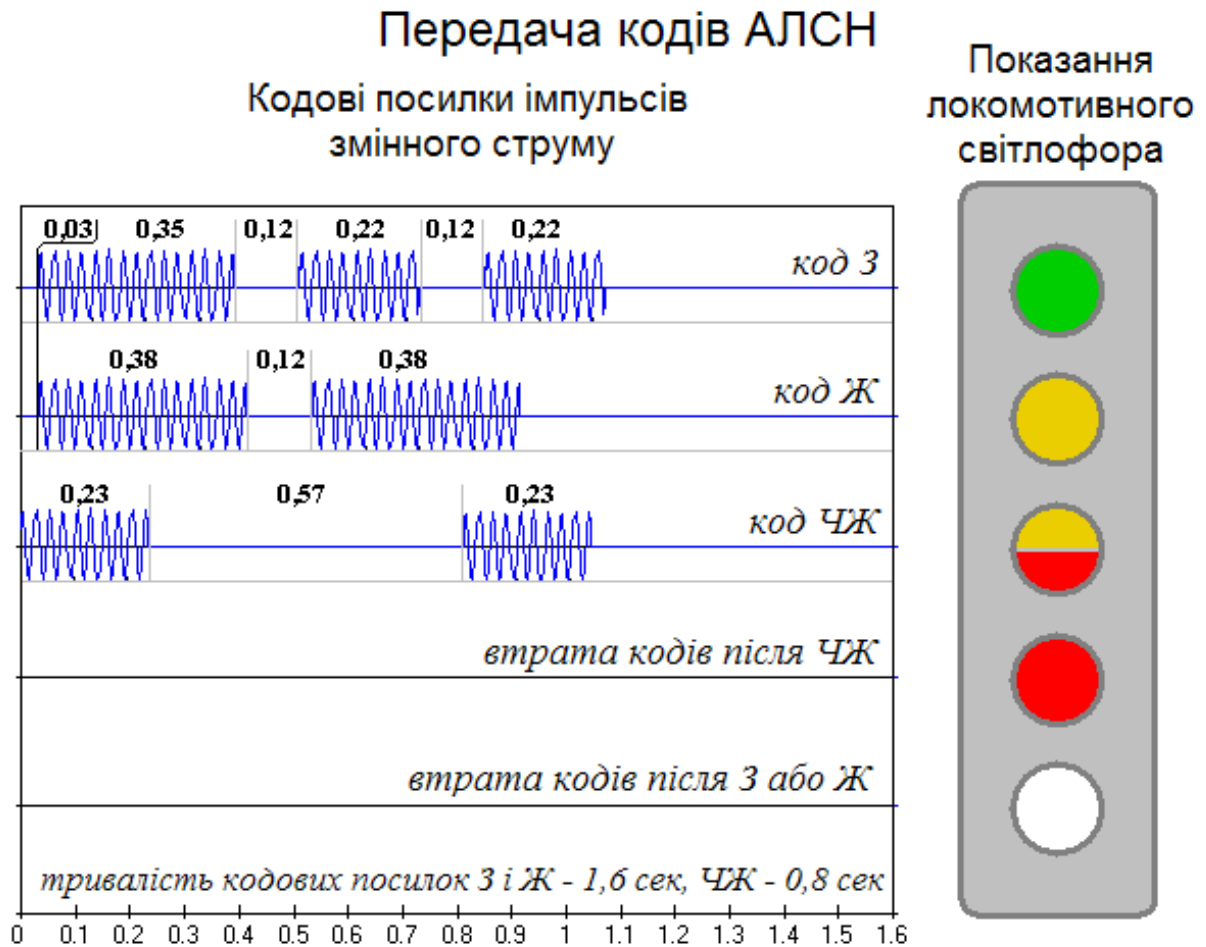


Рисунок 4.3 – Відповідність показань локомотивного світлофора сигнальним кодам АЛСН

В сфері технічного обслуговування системи АЛС на КП існує проблема високого рівня ймовірності похибки з причини використання ручної праці людини в процесі перевірки правильності сигнальних показань локомотивного світлофора, згідно якого робиться висновок про працездатність локомотивних пристроїв. Розробка пристрою контролю технічного стану локомотивних пристроїв АЛС на контрольному пункті має на меті автоматизувати процес перевірки зміни показань локомотивного світлофора в кабіні машиніста та сформувати електронний протокол-висновок про стан системи з повним виключенням впливу людського фактору [183].

На даний час існує відомий пристрій перевірки правильної роботи системи АЛС на КП, що містить кодовий колійний трансмітер штепсельного типу (КПТШ), випробувальний шлейф, стенд випробувача локомотивної сигналізації з

кольоровими індикаторами [56, 184]. Недоліком цього пристрою є трудомісткість, громіздкість випробувача локомотивної сигналізації та неможливість перевіряти роботу пристроїв АЛС і відтворення показань локомотивного світлофора в реальних умовах експлуатації.

Найбільш близьким аналогом розробленого пристрою є винахід, що містить канал виділення обвідної імпульсів змінного струму, селектор тривалості часових інтервалів, формувач імпульсів, пристрій скидання, два лічильники, дешифратор, три мультиплексора, пристрій управління другим лічильником, генератор еталонної частоти, блок перетворення кодів, індикаторний пристрій, канал попередньої обробки сигналів, блок управління, три постійних запам'ятовуючих пристрої, суматор, комутатор, регістр і корелятор, який формує еталонний сигнал та виконує його порівняння з сигналом, що надходить з рейкового кола [187]. Але у цього пристрою є цілий ряд недоліків: велика кількість елементів, він працює під час руху локомотива, а не на контрольному пункті, його робота погоджується з роботою мікропроцесорної системи КЛУБ та потребує додаткових навичок для експлуатації, електромеханік не може його використовувати у якості універсального для перевірки роботи каналу АЛС при виконанні планового технічного огляду.

Розробка пристрою контролю технічного стану локомотивних пристроїв АЛС на контрольному пункті [183] вирішує важливу технічну задачу, а саме автоматизує виконання планового технічного огляду безпосередньо в кабіні машиніста на контрольному пункті шляхом контролю правильності показань локомотивного світлофора, виміру тривалості та інтенсивності горіння ламп світлофора без використання ручної праці та надає можливість формування електронного протоколу, що засвідчує виконання перевірки та стан каналу АЛС. Цей пристрій складається з (рис. 4.4):

- 1). – фотоприймача показань локомотивного світлофора в кожусі;
- 2). – каналу зв'язку за АЦП;
- 3). – аналого-цифрового перетворювача (АЦП);
- 4). – каналу зв'язку з ЕОМ;
- 5). – ЕОМ з відповідним програмним забезпеченням.

Даний пристрій працює наступним чином. За допомогою світлочутливого фотоприймача вмонтованого в кожух 1, що надівається на локомотивний світлофор, впродовж горіння ламп локомотивного світлофора знімається струм, який через канал зв'язку 2 потрапляє до АЦП 3, де аналоговий струм перетворюється в цифровий сигнал і через канал зв'язку 4 потрапляє до ЕОМ 5. Завдяки програмному забезпеченню ЕОМ аналізується сигнал і робиться висновок щодо фактичного відображення зміни кодів, що надходять до шлейфу. За результатами перевірки формується електронний протокол, який засвідчує стан каналу АЛС, забезпечуючи виключення суб'єктивного людського фактору впливу, та автоматизує процес перевірки.

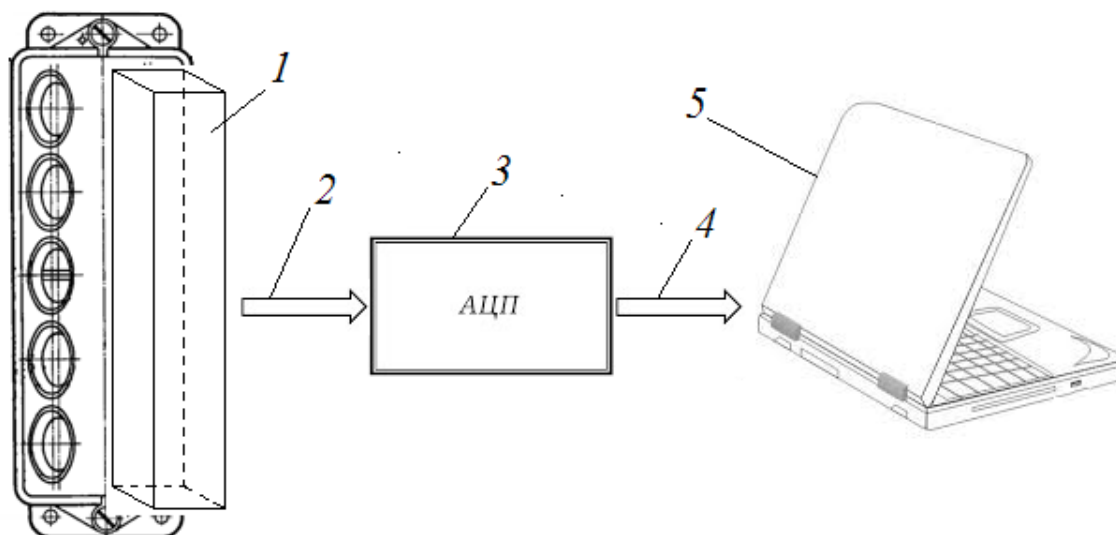


Рисунок 4.4 – Структурна схема пристрою: 1 - фотоприймач показань локомотивного світлофора в кожусі; 2 – канал зв'язку за АЦП; 3 – аналого-цифровий перетворювач (АЦП); 4 – канал зв'язку з ЕОМ; 5 – ЕОМ з відповідним програмним забезпеченням

При цьому зміна кодів, що надходить до шлейфу, відбувається за наступним алгоритмом роботи, прописаним в нормуючих документах [184]:

код ЧЖ (надсилається впродовж 20 с) → пауза в посилювачі коду (20 с) → код 3 (10 с) → пауза (10 с) → код Ж (30 с) → пауза (10 с) → код ЧЖ (30 с).

Розроблений пристрій фіксує ту саму послідовність зміни показань на локомотивному світлофорі, а саме: горіння червоно-жовтого вогню (впродовж 30 с:

посилка в шлейф коду ЧЖ, далі припинення подачі коду ЧЖ і через 5-6 с (запізнення на 5 – 6 с відповідає прийому трьох серій кодових імпульсів, а в данному випадку – відсутності прийому трьох серій кодових імпульсів коду ЧЖ) загоряється на світлофорі червоний вогонь (впродовж 20 с), далі подача коду З і відповідно йому – загоряння зеленого вогню світлофору (10 с), далі припинення подачі коду З і відповідно зникненню коду – загоряння білого вогню світлофора(10 с), далі подача коду Ж в шлейф і через час запізнення на приймання трьох серій кодових імпульсів – загоряння відповідного йому жовтого вогню світлофора (30 с), далі зникнення коду Ж на 10 секунд і відповідна йому – поява білого вогню світлофора (20 с), і далі знов подача коду ЧЖ і повтор циклу перевірки. В результаті за 120 секунд проходить повний цикл перевірки працездатності каналу АЛС.

Таким чином, розроблений пристрій дозволяє автоматизувати планове технічне обслуговування локомотивних пристроїв на КП АЛС, виключити людський фактор впливу на висновок щодо працездатності системи і відповідно зменшити вірогідність появи відмов у роботі АЛС в процесі експлуатації.

4.4 Результати експериментальних випробувань пристрою контролю технічного стану локомотивних пристроїв АЛС

Випробування спроектованого пристрою проводились в умовах спеціалізованої лабораторії кафедри «Автоматика та телекомунікації» Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна та в експлуатаційних умовах контрольної ділянки локомотивного депо Дніпро-Головний.

Загальний вигляд лабораторного стенду з елементами підключення до нього показані на рис. 4.5. Фото з місця проведення експериментальних досліджень в експлуатаційних умовах на базі контрольної ділянки локомотивного депо Дніпро-Головний показано на рис. 4.6. На рис. 4.7 показано послідовність зміни показань вогнів на локомотивному світлофорі, встановленому в лабораторії, у відповідності

до програми перевірки працездатності системи АЛС, яку виробляє пульт-статив учбової лабораторії кафедри.

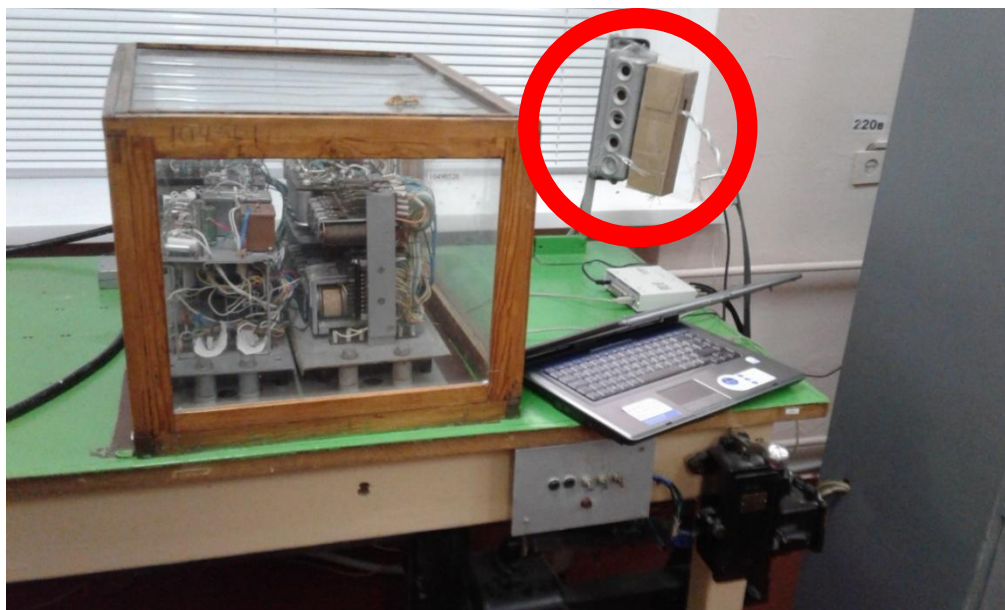


Рисунок 4.5 – Загальний вигляд лабораторного обладнання системи АЛС з підключенням пристрою контролю технічного стану локомотивних пристроїв АЛС

Сигнальні показання АЛС, зображені на рис. 4.7, відтворені різними кольорами, кожен з яких відповідає конкретному вогню світлофора. З рисунку видно, що інтенсивність горіння вогнів світлофору впливає на амплітуду сигналу приймача пристрою. При цьому вона не впливає на можливість розпізнавання коду, оскільки рівень сигналу в приймачі від вогню ламп світлофору, які випромінюють світло, значно відрізняється від рівнів сигналів, що також надходять від незапалених ламп світлофору (не менше ніж на третину). Ця різниця в інтенсивності записаного сигналу більша ніж на 30%, чого цілком достатньо для безпомилкового визначення горіння якого вогню світлофору відбувається на даний час.

Таким чином, проведені дослідження на кафедральному обладнанні підтвердили можливість застосування розробленого пристрою для визначення відповідності горіння ламп локомотивного світлофору кодовому сигналу, який надходить з рейкового кола.



Рисунок 4.6 – Заведення живлення шлейфу з муфти розгалудження вимірювальної ділянки до кабіни локомотива для підключення до пристрою контролю

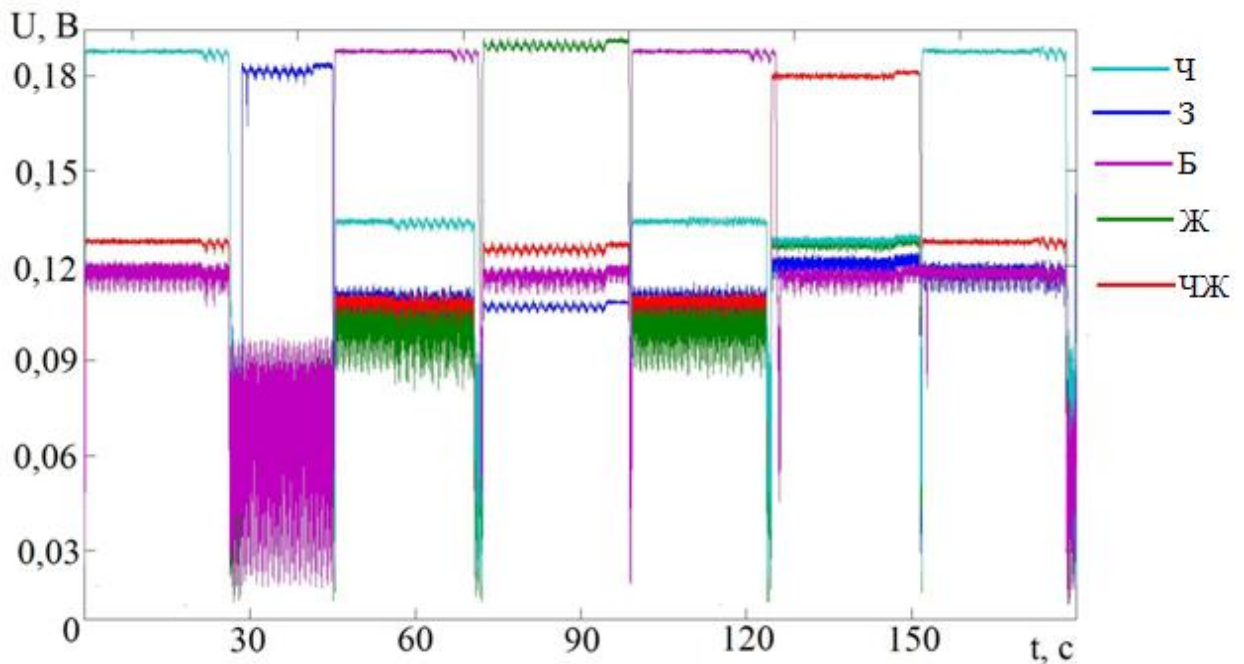


Рисунок 4.7 – Часова залежність роботи локомотивного світлофора під час виконання програми перевірки її стану на стенді спеціалізованої лабораторії кафедри «Автоматика та телекомунікації» Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

При виконанні дослідів в практичних умовах на контрольній ділянці локомотивного депо Дніпро-Головний усе необхідне обладнання на час проведення експерименту було встановлено в кабіні локомотива. Шляхом електричного з'єднання за допомогою витої пари було виконано підключення пристрою контролю в кабіні локомотива одночасно до локомотивного світлофору та випробувального шлейфу, для паралельного запису та визначення відповідності показань локомотивного світлофору, кодам що надходять до шлейфу. Отримані результати приведено на рис. 4.8.

Результати, отримані в ході експериментальних досліджень (рис. 4.8) в умовах експлуатації, показали повну ідентичність характеру реакції пристрою контролю горіння ламп світлофору вимірам, проведеним в спеціалізованій лабораторії кафедри. Окрім того, завдяки підключенню шлейфу до вимірювальної апаратури, разом із ідентифікацією вогнів світлофору вдалося записати послідовність кодів і їх відсутності та встановити відповідність між сигнальними показаннями та кодовими посилками в шлейфі. Це дозволить окрім контролю правильності зміни сигнальних показань відстежувати час їх зміни. Значення вимірної напруги у випробувальному шлейфі (рис. 4.9) співпало з амплітудним значенням напруги, визначеної за допомогою АЦП з відповідним програмним забезпеченням, що входить до пристрою контролю.

На рис. 4.10 показано підключення вимірювального пристрою в кабіні локомотива. Пристрій контролю стану каналу системи АЛС одночасно підключається до вогнів світлофору та безпосередньо в шлейф контрольної ділянки. За допомогою АЦП отримані значення від робочих каналів надходять до комп'ютера та обробляються в програмному середовищі. В даному випадку була застосована програма-сателіт АЦП під назвою LGraph2. За її допомогою були проведені детальні налаштування застосованого АЦП з визначенням частоти вибірки сигналу, граничних значень вхідного сигналу, формату збереження даних тощо.

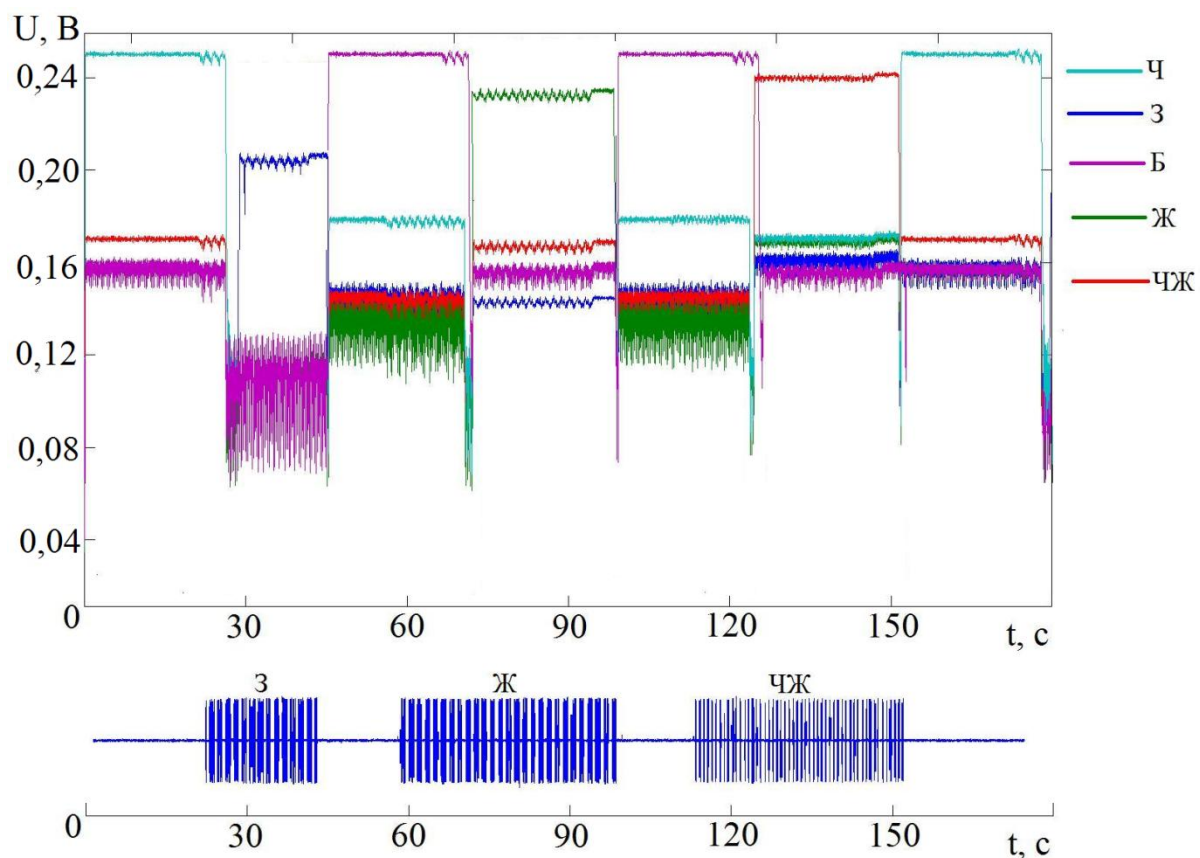


Рисунок 4.8 – Часова залежність роботи локомотивного світлофора під час виконання програми перевірки її стану в умовах контрольної ділянки локомотивного депо Дніпро-Головний



Рисунок 4.9 – Вимірювання напруги у випробувальному шлейфі

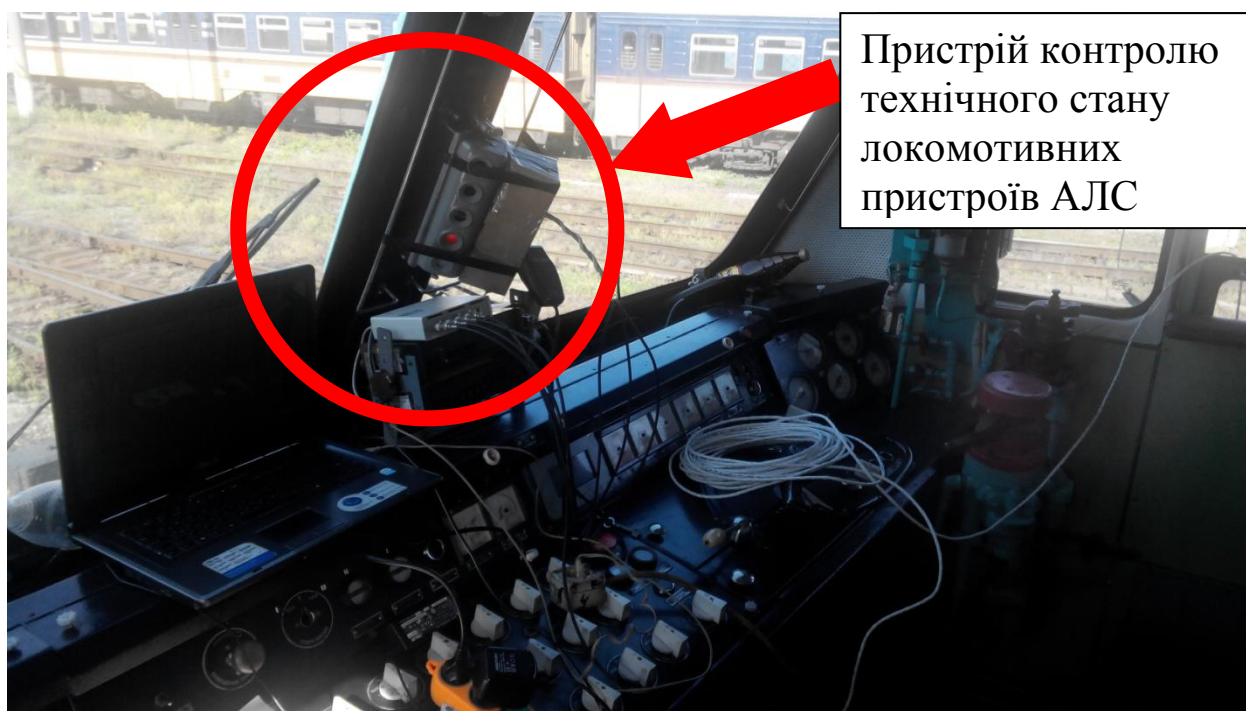


Рисунок 4.10 – Випробування пристрою контролю в кабіні локомотива



Рисунок 4.11. Робоче вікно програми LGraph2

Робоче вікно програмного середовища LGraph2 показано на рис. 4.11 і призначене для синхронного виведення сигналу на екран з одночасним її записом у пам'ять комп'ютера.

З роботи пристрою контролю (рис. 4.12) видно, як система буде вхідний сигнал у програмному полі. Сигнальний струм коду «Ж» примушує змінитися

вогневі показання світлофору, що відображено у графіках вище кривої струму у вигляді ступінчатих перепадів кривих струму, отриманих від вхідного впливу сигнальних показань світлофору на сприймаючі елементи пристрою контролю.



Рисунок 4.12 – Робоче вікно програми LGraph2 при прийомі кодового сигналу «Ж» зі шлейфу

Проведене визначення відповідності роботи локомотивних пристроїв шляхом порівняння показань та їх зміни з кодами у випробувальному шлейфі показало, що застосування пристрою контролю дозволяє підвищити точність та достовірність вимірювань, автоматизує процес перевірки, усуває людський фактор та дає змогу накопичувати результати на електронному носії. Крім цього, з'являється також можливість використовувати розроблений спосіб зняття показань локомотивного світлофора [182] в процесі руху поїзда з метою автоматичної фіксації локомотивних показань, відслідковування появи ймовірних збоїв та подальшого їх аналізу за допомогою вейвлет-перетворення, запропонованого в 3 розділі цієї роботи. Це надасть змогу покласти основу розробки більш сучасного способу декодування кодів АЛС, що в свою чергу, значно підвищить заводозахищеність та вірогідність роботи системи в цілому.

4.5 Висновки до четвертого розділу

За матеріалами, викладеними у розділі, зробимо такі висновки:

1. На даний час експлуатаційні та технічні вимоги до системи АЛС в Україні виконуються з використанням ручної праці, що пов'язано з високими затратами часу, включає в себе велику кількість ручних операцій та не забезпечує необхідної точності. Аналіз технології обслуговування системи показав, що передбачається використання морально і технічно застарілих методів і вимірювальних засобів. Тому для забезпечення надійної роботи АЛС необхідно удосконалювати технічне обслуговування її пристроїв і, зокрема, автоматизувати та підвищувати ефективність контролю працездатності системи.

2. Спираючись на аналіз ймовірних причин виникнення збоїв в роботі АЛС, наведений в першому розділі цієї роботи, можна стверджувати, що деякі збої усуваються організаційно-технічними заходами шляхом підвищення якості технічного обслуговування пристроїв, що закріплені за відповідними підрозділами – службами П, Ш, Е та ін. Зокрема, якість перевірки системи АЛС можна підвищити шляхом автоматизування процесу реєстрації змін показань локомотивного світлофору та технології перевірки каналу АЛС на контрольному пункті.

3. Розроблено спосіб контролю технічного стану локомотивних пристроїв автоматичної локомотивної сигналізації на контрольному пункті, який забезпечує автоматичну реєстрацію фотоприймачем показань локомотивного світлофору, вимірює час горіння ламп світлофору, відповідну послідовність зміни показань та, завдяки ЕОМ, автоматично аналізує працездатність системи. Даний спосіб покладено в основу принципу дії пристрою контролю технічного стану локомотивних пристроїв автоматичної локомотивної сигналізації на контрольному пункті.

4. Розроблено дослідний зразок пристрою контролю технічного стану локомотивних пристроїв автоматичної локомотивної сигналізації на контрольному пункті. Цей апаратно-програмний комплекс автоматизує процес перевірки зміни показань локомотивного світлофора в кабіні машиніста при плановому технічному обслуговуванні локомотивних пристроїв на контрольному пункті АЛС.

5. Використання пристрою контролю технічного стану локомотивних пристроїв АЛС на контрольному пункті надає можливість автоматично вимірювати тривалість, інтенсивність горіння ламп світлофора та контролює правильність зміни показань локомотивного світлофора без використання ручної праці, що суттєво зменшує час перевірки, тим самим підвищуючи продуктивність праці. Пристрій також передбачає формування електронного протоколу, що засвідчує виконання перевірки та стан каналу АЛС, наявність якого виключає людський фактор впливу на висновок щодо працездатності системи і відповідно зменшує вірогідність появи відмов у роботі АЛС в процесі експлуатації через недбале виконання посадових обов'язків.

6. Проведені експериментальні дослідження розробленого пристрою в спеціалізованій лабораторії кафедри «Автоматика та телекомунікації» Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна та в експлуатаційних умовах контрольно-вимірювальної ділянки локомотивного депо Дніпро-Головний. Визначення відповідності роботи локомотивних пристроїв шляхом автоматичного порівняння локомотивних показань та їх зміни з кодами у випробувальному шлейфі підтвердили, що застосування пристрою контролю дозволяє підвищити точність та достовірність вимірювань, автоматизує процес перевірки, усуває людський фактор, дає змогу накопичувати результати на електронному носії та зменшує загальний час, затрачений на виконання перевірки, що в свою чергу, призведе до скорочення числа затримок локомотивів через відмови, які виникають з причин неякісного обслуговування. Отримані результати застосування пристрою контролю технічного стану локомотивних пристроїв АЛС підтверджують значне підвищення рівня технічного обслуговування локомотивів на контрольному пункті.

7. Пропонується удосконалення технології перевірки локомотивних пристроїв АЛС на контрольному пункті двома шляхами:

- повна заміна застарілої елементної бази, що використовується для перевірки показань локомотивного світлофора на контрольному пункті, на сучасну з

використанням цифрових методів обробки сигналів засобами обчислювальної техніки;

- часткова модернізація технології перевірки показань локомотивного світлофора на контрольному пункті, що дозволяє підвищити ефективність роботи електромеханіка контрольного пункту, за рахунок включення в існуючі пристрої додаткових технічних засобів з удосконаленими методами обробки сигналів локомотивного світлофора.

8. Пропонується використання розробленого способу контролю технічного стану локомотивних пристроїв автоматичної локомотивної сигналізації в період роботи системи в реальних умовах під час руху поїзда, що надає можливість автоматично фіксувати зміну показань локомотивного світлофору, включаючи пробіски вогнів світлофора при наявності збоїв кодів. Застосування даного способу разом з методом аналізу вхідного сигналу за допомогою вейвлет-аналізу, запропонованому в 3-му розділі цієї роботи, можуть бути покладені в основу розробки цифрового дешифратора АЛС нового покоління з покращеними характеристиками завадозахищеності, що значно підвищить надійність роботи системи в цілому.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі запропоновано вирішення наукового завдання удосконалення технології обслуговування автоматичної локомотивної сигналізації шляхом розробки і наукового обґрунтування методу моніторингу сигнального струму з використанням спектрального вейвлет-аналізу для своєчасного виявлення дефектів кодового струму АЛС та методу і засобу автоматизованого контролю технічного стану локомотивних пристроїв АЛС на контрольному пункті.

Основні наукові результати полягають в наступному:

1. Найбільш розповсюджена на залізницях України система АЛСН на теперішній час є єдиною системою, що на додаток до автоматичного блокування, забезпечує безпеку руху поїздів на перегоні. Збої і відмови у її роботі займають достатньо велику частку серед усіх відмов пристроїв СЦБ, при цьому їх кількість значно зросла в останні роки в умовах підвищення швидкості руху поїздів. В 2019 році загальна кількість збоїв у роботі АЛС, віднесених за різними службами, становила 1330 випадків, з них майже половина – збої системи АЛС, що вплинули на рух швидкісних поїздів «ІНТЕРСІТІ» та «ІНТЕРСІТІ+», і становить 551 випадок.

2. Збої обумовлені багатьма факторами. Основними причинами з боку колійних пристроїв – є відхилення часових параметрів кодів АЛС від нормативних, а також електромагнітні завади різного походження у рейкових колах, в тому числі в місцях косої перетину з ЛЕП. На ряді доріг збої в районі перетину з ЛЕП займають до 50% всіх збоїв АЛС, а через заважаючий вплив магнітного поля рейок відбувається до 25-30% збоїв. Основними причинами з боку локомотивних пристроїв – є зношеність апаратури та неякісне обслуговування системи, обумовлене людською недбалістю. Тому вирішення наукового завдання удосконалення технології обслуговування АЛС, що призведе до підвищення якості виконання планових робіт, зменшення кількості збоїв та покращення показників надійності роботи локомотивних пристроїв в цілому, є актуальним.

3. Проведені експериментальні дослідження електромагнітного впливу ЛЕП на роботу локомотивних пристроїв АЛСН показали, що вхідний фільтр АЛСН має

недостатню селективність, яка є причиною появи на виході фільтру завад з частотами близькими до сигнального струму. Максимальна ЕРС завади, що наводиться ЛЕП в приймальних котушках, може досягати 800 мВ, що еквівалентно заважаючому струму приблизно 5,5 А в рейках. Це підтверджує значний заважаючий вплив ЛЕП на роботу АЛСН, особливо в місцях косоного перетину залізниць, та необхідність розробки дієвих засобів захисту від нього.

4. Розроблена комплексна математична модель каналу зв'язку між рейковим колом та вхідними пристроями АЛСН. Розраховані середні значення напруги та струму на приймальних котушках, які дорівнюють 9,1 мА та 19,18 В відповідно, активний кілометричний опір рейкової нитки змінному струму, який дорівнює 1,296 Ом, внутрішню кілометричну індуктивність рейкового кола, яка дорівнює $4,947 \cdot 10^{-4}$ Гн. На основі цих результатів розрахунків визначено взаємну індуктивність між рейками і приймальними котушками АЛСН, яка дорівнює 3,16 Гн, що дозволило більш точно врахувати вплив електромагнітних завад на побудовану комплексну математичну модель каналу передачі кодів. Досліджено вплив на вхід системи АЛСН трьох різних за походженням видів електромагнітних завад: викликаній намагнічуванням кінців рейок і гостряків стрілок, обумовленої близьким розташуванням ЛЕП та стаціонарної випадкової, що має гауссівську щільність розподілу ймовірностей миттєвих значень.

5. Аналіз методів та засобів, що спрямовані на підвищення завадостійкості системи АЛС та застосовуються в теперішній час, показав, що планова перевірка кодів АЛС за допомогою спеціальної вагон-лабораторії з подальшою обробкою записаних даних, виконується оператором вручну, потребує багато часу і не забезпечує необхідної точності: похибка при визначенні місцезнаходження ізостика становить кілька десятків метрів, а похибка при вимірюванні струму більше 20 А (до 30-50%). В результаті на аналіз даних має суттєвий вплив людський фактор, що є неприпустимим, особливо в умовах впровадження підвищених швидкостей руху поїздів. Тому подальше підвищення завадостійкості системи АЛС, можливе лише за умови розробки нових методів аналізу сигнального струму та впроваджені

автоматизації контролю та перевірки працездатності системи в процесі її обслуговування.

6. Розроблено та науково обґрунтовано метод моніторингу сигнального струму АЛС, в основу якого покладено декодування сигналів під впливом завад за допомогою спектрального вейвлет-аналізу, застосування якого надає змогу оперативно розпізнавати в сигнальному струмі різні за походженням завади і визначати їх часову локалізацію. Використання запропонованого методу оптимізує процес обробки даних і є перспективним для автоматичного аналізу сигнального струму АЛС в умовах підвищення швидкості руху поїздів.

7. Запропоновано метод, який базується на розробленому способі та пристрої контролю технічного стану локомотивних пристроїв АЛС, використання яких в процесі обслуговування системи на контрольному пункті дозволяє скоротити час проведення перевірки майже в 4 рази. При цьому реєструються часові параметри кодів з точністю до тисячних секунди, запобігаючи необхідності проведення повторних вимірювань, фіксуються найменші пробіски вогнів світлофора, які можуть свідчити про наявність помилок у роботі системи, та без участі людини перевіряється достовірність передачі і декодування сигналів АЛС, автоматично надаючи висновок щодо працездатності системи. В результаті значно підвищується якість технічного контролю АЛС та збільшується продуктивність праці, що особливо важливо для безпеки руху на залізниці в умовах підвищення швидкості руху поїздів.

Впровадження результатів дисертаційної роботи підтверджується відповідними актами (Додаток А).

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Нормативні акти з безпеки руху поїздів // Держ. адміністр. залізничного транспорту України. Головне управління безпеки руху та екології. – К.: Транспорт України, 2004. – 223 с.
2. Самсонін В.М. Безпека руху поїздів на залізничному транспорті: навч. посібник / В.М. Самсонін, А.Б. Бойнік, О.Й. Соколов. К.: КУЕТТ, 2004. – 170 с.
3. Зорин В.И. Современные системы обеспечения безопасности железнодорожного транспорта / В.И. Зорин // Ж.-д. трансп. – 2000.– № 11. – С. 52-53.
4. Балуюев Н.Н. Развитие средств ЖАТ. Стратегия и тактика. / Н. Н. Балуюев // Автоматика, связь, информатика. – 2012. – № 8. – С. 2.
5. Бойник А.Б. Перспективные системы интервального регулирования движения поездов на перегонах / А.Б. Бойник, Г.В. Коваленко, Р.В. Макаренко // Залізничний транспорт України. – 2001. – № 6. – С. 23-25.
6. Тильк И.Г. Перспективы развития систем ИРДП / И.Г. Тильк, В.В. Ляной // Автоматика, связь, информатика. – 2007. – № 8. – С. 7-9.
7. Дмитриев В.С. Новые системы автоблокировки / В.С. Дмитриев, В.А. Минин. – М.: Транспорт, 1981. – 247 с.
8. Панов С.Ф. Расследование причин и классификация сбоев АЛСН / С.Ф. Панов // Автоматика, связь, информатика. – 2010. – № 3. – С. 22.
9. Причины сбоев в работе устройств АЛСН. Безопасное управление поездом. Характеристики опытных машинистов и их обучение. [Электронный ресурс]. – 2013. – Режим доступа: <http://poezdupr.ru/prichiny-sboev-v-rabote-ustrojstv-alsn/>.
10. Ван Дер Тол Я. Оценка влияния помех на работу системы АЛСН // Железные дороги мира. – 1987. – № 6.– С. 30-32.
11. Гололобова О.О. Дослідження перешкод АЛС / Сучасні інформаційні та комунікаційні технології на транспорті, в промисловості і освіті: тези XIV

Міжнародної науково-практичної конференції. Секція Автоматизовані системи управління на транспорті і в промисловості (Дніпро, 15-16 грудня 2020 р.) – Д.: ДІТ. 2020. – С. 19-20.

12. Буряк С.Ю., Гололобова О.О. Причини збоїв автоматичної локомотивної сигналізації та методи боротьби з ними / Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту: тези 80 Міжнародної науково-практичної конференції. Секція 6 Автоматизовані системи управління на транспорті (Дніпро, 23-24 квітня 2020 р.) – Д.: ДНУЗТ, 2020. – С. 133-135.
13. Гололобова О.О., Буряк С.Ю., Гаврилюк В.І, Возняк О.М. Причини відмов пристроїв автоматичної локомотивної сигналізації / Енергооптимальні технології, логістика та безпека на транспорті: матеріали 2-ї Міжнародної науково-практичної конференції (Львів, 19-20 вересня 2019 р.) – Львів: Львівська філія ДНУЗТ, 2019. – С. 21-22.
14. Гололобова О.А. Повышение помехоустойчивости системы АЛС / Безопасность та електромагнітна сумісність на залізничному транспорті: тези VIII Міжнародної науково-практичної конференції (Чернівці, 01-03 лютого 2017 р.) – Дніпро, Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2017. – С. 24.
15. Гололобова О.А. Повышение помехоустойчивости канала АЛС / Современные информационные и коммуникационные технологии на транспорте, в промышленности и образовании: тезисы X Международной научно-практической конференции. Секция 1 Автоматизированные системы управления на транспорте (Днепропетровск, 14-15 декабря 2016 г.) – Д.: ДИИТ. – 2016. – С. 34.
16. Гололобова О.А. Исследование причин сбоев в работе рельсовых цепей и их влияния на устройства автоматической локомотивной сигнализации / Современные проблемы развития интеллектуальных систем транспорта: тезисы Международной научно-практической конференции (Днепропетровск, 27-31 января 2014 г.) – Д.: ДИИТ. – 2014. – С. 29-30.

17. Гололобова О.А. Исследование работы системы автоматической локомотивной сигнализации в условиях помех / О.А. Гололобова // Наука и транспорт. Вестник Белорусского государственного университета транспорта. – Беларусь: БелГУТ, 2016.– Вып. 2 (33). – С. 126-129.
18. Горенбейн Е.В. Сбои кодов АЛСН и их учет / Е.В. Горенбейн, С.В. Лукоянов, В.В. Вологжанин // Автоматика, связь, информатика. – 2012. – № 7. – С. 18-22.
19. Киякина Т.Е., Селиверов Д.И. Причины сбоев в работе автоматической локомотивной сигнализации, методы решения проблем [Электронный ресурс] / Технические науки в России и за рубежом: материалы II Междунар. науч. конф. (г. Москва, ноябрь 2012 г.). – М.: Буки-Веди, 2012. – С. 47-49. – Режим доступа: <http://moluch.ru/conf/tech/archive/55/2950/>.
20. Леушин В.Б. Анализ причин сбоев в системе АЛСН / В.Б. Леушин, К.Э. Блачев, Р.Р. Юсупов // Автоматика, связь, информатика. – 2013. – № 4. – С. 20-25.
21. Леушин В.Б. Аналитические исследования помех в каналах АЛС при экстремальных условиях / В.Б. Леушин // Совершенствование автоматизации управления движением поездов: межвуз. сб. науч. трудов ин-тов инж. ж.-д. тр-та. – М.: МИИТ, 1981. – Вып. 680. – С. 59-60.
22. Лукоянов С.В. Сбоев кодов АЛСН на скоростном участке стало меньше / С.В. Лукоянов // Автоматика, связь, информатика. – 2011. – № 9. – С. 22-25.
23. Лукоянов С.В. Сбоев кодов АЛСН на скоростном участке стало меньше / С.В. Лукоянов // Автоматика, связь, информатика. – 2011. – № 11. – С. 34-36.
24. Антоненко В.С. Анализ работоспособности автоматической локомотивной сигнализации числового кода / В.С. Антоненко, Ю.А. Кравцов, В.М. Сафро, А.Б. Чегуров // Известия ПГУПС. – 2011. – № 1. – С. 101-112.
25. Пультяков А.В. Системный анализ устойчивости работы систем автоматической локомотивной сигнализации [Электронный ресурс] / А.В. Пультяков М.Э. Скоробогатов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. Иркутский государственный университет путей

сообщения. – г. Иркутск, Российская Федерация. Иркутский государственный университет путей сообщения. – 2018. – № 1 (57). – С. 79-89. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/sistemnyy-analiz-ustoychivosti-raboty-sistem-avtomaticheskoy-lokomotivnoy-signalizatsii/viewer>.

26. Кульков С.А. Исключение сбоя кодов АЛСН / С.А. Кульков, Р.В. Савельев, С.Н. Ситунов // Автоматика, связь, информатика. – 2013. – № 9. – С. 4.
27. 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. – 2015. – № 5 (59). – С. 7.
28. Бабаєв М.М. Електромагнітна обстановка в межах залізничної колії і її вплив на роботу сигнального авторегулювання при організації швидкісного руху / М.М. Бабаєв, М.Г. Давиденко, М.С. Кошевий // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2008. – № 4 (Додаток). – С. 72
29. Стратегія розвитку залізничного транспорту на період до 2020 року [Електронний ресурс] // Схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України № 1555-р. від 16 грудня 2009 р. Урядовий портал. – Режим доступу: <https://www.kmu.gov.ua/npas/243219821>.
30. Впровадження швидкісного руху пасажирських поїздів на залізницях України в 2004 – 2015 рр. Розрахункова вартість модернізації та реконструкції основних напрямків залізниць України для впровадження швидкісного руху // Додатки до концепції. – К.: Держ. адміністр. залізничного транспорту України, 2004. – 36 с.
31. Концепція державної цільової програми впровадження на залізницях швидкісного руху пасажирських поїздів на 2005-2015 рр. // Схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України. – № 979-р. від 31.12.2004 р.
32. Самсонкін В.Н. Человеческий фактор в обеспечении безопасности железнодорожного транспорта / В.Н. Самсонкин // Залізн. трансп. України. – 2003. – № 5-6. – С. 65-67.

33. Горелик А.В. Оценка качества технической эксплуатации систем железнодорожной автоматики и телемеханики / А.В. Горелик, Н.А. Тарадин, А.С. Веселова, Д.В. Солдатов // Автоматика на транспорте. – 2017. – Т.3. – № 3. – С. 319-334.
34. Аналіз експлуатаційної роботи галузі автоматики, телемеханіки та зв'язку. – К.: Укрзалізниця, 2015-2019 рр.
35. Аналіз стану безпеки руху поїздів на залізницях України за 12 місяців 2015 – 2019 року. Міністерство транспорту України. Державна адміністрація залізничного транспорту. – 2016 – 2020.
36. Коваленко А.О., Гололобова О.О. Різновиди автоматичного контролю за рухом потяга та пильністю машиніста / Інформаційно-управляючі технології та системи на залізничному транспорті: тези Всеукраїнської конференції студентів та молодих вчених; за ред. ст. вик. Паніка Л.О. та Дзюби В.В. Дніпровського нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна (Дніпро, 23-27 березня 2020 р.) – Д.: Вид-во Дніпровського нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2020 – С. 41-42.
37. Міщенко М.О., Гололобова О.О. Вдосконалення перевірки роботи системи АЛС та їх подальші перспективи / Інформаційно-управляючі технології та системи на залізничному транспорті: тези Всеукраїнської конференції студентів та молодих вчених; за ред. ст. вик. Паніка Л.О. та Дзюби В.В. Дніпровського нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна (Дніпро, 23-27 березня 2020 р.) – Д.: Вид-во Дніпровського нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2020 – С. 49-50.
38. Гололобова О.А., Ямбург К.О. Повышение безопасности движения поездов путем улучшения систем мониторинга локомотивной бригады / Проблемы та перспективи розвитку залізничного транспорту: тези 79 Міжнародної науково-практичної конференції. Секція 6 Автоматизовані системи управління на транспорті (Дніпро, 16-17 травня 2019 р.) – Д.: ДНУЗТ, 2019. – С. 210-211.

39. Гололобова О.О. Автоматизація технічного обслуговування пристроїв автоматичної локомотивної сигналізації / Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: тезисы 75 Международной научно-практической конференции. Секция 7 Автоматизированные системы управления на транспорте (Днепропетровск, 14-15 мая 2015 г.) – Д.: ДИИТ. – 2015. – С. 196.
40. Samosvat V.O. Features of design of tied-arch bridges with flexible inclined suspension hangers / V.O. Samosvat, Zhang Rongling, O.O. Hololobova, S.Y. Buriak // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Д.: ДНУЗТ, 2017. – Вип. 5 (71). – С. 131-140.
41. Буряк С.Ю. Впровадження системи технічної діагностики стрілочних переводів / С.Ю. Буряк, В.І. Гаврилук, О.О. Гололобова // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Д.: ДНУЗТ, 2015. – Вип. 3 (57). – С. 7-22.
42. Буряк С.Ю. Удосконалення технології обслуговування централізованих стрілок з електроприводом змінного струму в умовах експлуатації: дис. канд. техн. наук: 05.22.20 / Буряк Сергій Юрійович. – Д., 2015. – 166 с.
43. Бойник А.Б. Системи інтервального регулювання руху потягів на перегонах: навчальний посібник / А.Б. Бойник, С.В. Кошовий, С.В. Панченко. – Харків: УКРГАЖТ, 2005. – 256 с.
44. Воронин В.А. Системи інтервального регулювання / В.А. Воронин // Автоматика, связь, информатика. – 2007. – №7. – С. 2-3.
45. Кравцов Ю.А. Системи залізничної автоматики і телемеханики: учебник для вузов / Ю.А. Кравцов, В.Л. Нестеров, Г.Ф. Лекута и др.; под ред. Ю.А. Кравцова. – М.: Транспорт, 1996. – 400 с.
46. Казаков А.А. Автоматизированные системы интервального регулирования движения поездов / А.А. Казаков, В.Д. Бубнов, Е.А. Казаков. – М.: Транспорт, 1995. – 320 с.

47. Казаков А.А. Устройства автоматики, телемеханики и связи на железнодорожном транспорте: учебник для техникумов ж.-д. транспорта / А.А. Казаков, В.М. Давыдовский, Е.А. Казаков. – 7-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1983.
48. Котляренко Н.Ф. Путевая блокировка и авторегулировка: учебник для вузов / Н.Ф. Котляренко, А.В. Шишляков, Ю.В. Соболев. И.З. Скрипин, Н.А. Шишлякин; под ред. Н.Ф. Котляренко. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1983. – 408 с.
49. Сапожников Вл.В. Эксплуатационные основы автоматики и телемеханики: учебник для вузов ж.-д. транспорта / Вл.В. Сапожников, И.М. Кокурин, В.А. Кононов, А.А. Лыков, А.Б. Никитин; под ред. проф. Вл.В. Сапожникова. – М.: Маршрут, 2006. – 247 с.
50. Сапожников В.В. Теоретические основы железнодорожной автоматики и телемеханики: учеб. для вузов / В.В. Сапожников, Ю.А. Кравцов, Вл.В. Сапожников; под ред. В.В. Сапожникова. – М.: Транспорт, 1995. – 320с.
51. Лекута Г.Ф. Перспективы развития и совершенствования хозяйства сигнализации и связи / Г.Ф. Лекута // Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте. –1987. – № 9. – С. 28.
52. Дмитриев В.С. Основы железнодорожной автоматики и телемеханики: учебник для техникумов ж.-д. транспорта / В.С. Дмитриев, И.Г. Серганов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1988. – 233 с.
53. Бабаєв М.М. Електротехніка та електромеханіка систем залізничної автоматики: підручник / М.М. Бабаєв, М.Г. Давиденко, Г.І. Загарій та ін. – Харків: УкрДАЗТ, 2011. – 608 с.
54. Казаков А.А. Автоблокировка, локомотивная сигнализация и автостопы: учебник для техникумов ж.-д. трансп. / А.А. Казаков, Е.А. Казаков. – 7-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1980. – 360 с.
55. Брылеев А.М. Автоматическая локомотивная сигнализация и авторегулировка / А.М. Брылеев, О. Поупе, В.С. Дмитриев, Ю.А. Кравцов, Б.М. Степенский. – Москва: Транспорт, 1981. – 319с.

56. Леонов А.А. Техническое обслуживание автоматической локомотивной сигнализации / А.А. Леонов. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1982. – 255 с.
57. Вековищев А.В. Сравнительная оценка помехоустойчивости систем АЛС-ЕН и АЛСН / А.В. Вековищев // Межвуз. сб. научн. тр. — Москва: МИИТ, 1988. — № 790. — С. 73-76.
58. Лисенков В.М. Принципы построения и методы технической реализации микропроцессорной системы автоблокировки АБ-Е2 / В.М. Лисенков, И.В. Беляков, В.А. Грушка, И.П. Ковалев, Ю.Н. Неклюдов // Автоматика, связь, информатика. – 1998. – № 1. – С. 8-11.
59. Астрахан В.И. Унифицированное комплексное локомотивное устройство безопасности (КЛУБ-У): учеб. пос. / В.И. Зорин, Г.К. Кисельгоф и др.; под ред. В.И. Зорина и В.И. Астрахана. – М.: ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2008. – 177 с.
60. Ляной В. Система микропроцессорной централизации стрелок и сигналов [Электронный ресурс] / В. Ляной / Control Engineering Россия. – 2016. – № 5(65). – С. 58-62. – Режим доступа: <https://controleng.ru/wp-content/uploads/6558.pdf>.
61. Скоростной и высокоскоростной железнодорожный транспорт. В прошлом, настоящем и будущем: К 150-летию ж.-д. магистрали С.-Петербург – Москва / Под общ. ред. В.И. Ковалева. – СПб., 2001.–Т. 1. – 320 с.
62. Развитие систем диспетчерского управления движением поездов [Электронный ресурс] / Евразия Вести – 2018. – XII. – Режим доступа: <http://www.eav.ru/publ1.php?publid=2018-12a07>.
63. Зайцева Т.Н. Обеспечение безопасности на зарубежных железных дорогах / Т.Н. Зайцева // Ж.-д. трансп. Сер. «Безопасность движения»: ОИ/ЦНТИИТЭИ МПС. – 1998. – Вып.1-2. – С. 24-58.
64. Кирпа Г.Н. Высокоскоростные железные дороги мира. Железные дороги мира в 21 веке: монография / Г.Н. Кирпа, В.В. Корниенко, А.Н. Пшинько и др. – Днепропетровск. – 2004. – С. 123-193.

65. Васекин А.И. Спутниковые технологии в управлении перевозочным процессом / А.И. Васекин // Автоматика, связь, информатика. – 2001. – № 12. – С. 32-33.
66. Антвейлер Б. Объединение в сети систем СЦБ (на примере Швейцарии) [Электронный ресурс] / Б. Антвейлер // Железные дороги мира – 2008 – № 1 – С. 62-68. – Режим доступа: <http://www.zdmira.com/arhiv/2008/zdm-2008-no-01-2>.
67. Боронцев В.Б. Обеспечение безопасности движения на зарубежных железных дорогах / В.Б. Боронцев // Ж.-д. трансп. Сер. «Безопасность движения». – 1992. – Вып. 3-4. – С. 1-70.
68. Бабаев М.М. Аналіз існуючих вітчизняних і закордонних систем АЛС на залізничному транспорті / М.М. Бабаєв, В.О. Сотник // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2010. – Вип. 116. – С. 120-127.
69. Кантор И.И. Высокоскоростные железнодорожные магистрали: трасса, подвижной состав, магнитный подвес: учеб. пособие для вузов д.-ж. трансп. / И.И. Кантор. – М.: Маршрут, 2004. – 51 с.
70. Theeg G. Railway Signalling and Interlocking. International Compendium / G. Theeg, S. Vlasenko. – Hamburg: Eurailpress, 2009. – 448 p.
71. Railroad-Highway Grade Crossing Handbook – Revised Second Edition [Electronic resource] // U.S. Department of Transportation. Federal Highway Administration. – August 2007. – Retrieves from https://railroads.dot.gov/sites/fra.dot.gov/files/fra_net/1464/HRGXHandbook.pdf.
72. Шухина Е.Е. Локомотивные системы обеспечения безопасности / Е.Е. Шухина // Автоматика, связь, информатика – 2013 – № 2 – С. 2-3.
73. Инструкция о порядке пользования комплексным локомотивным устройством безопасности № ЦТ-ЦШ-907 от 25.04.2001 г. – М.: Техинформ, 2001.
74. Попов П.А. Подсистема евробализов. Техническое описание / П.А. Попов, А.С. Ададунов // Автоматика, связь, информатика. – 2010. – № 9. – С. 14-15.

75. Компактная АЛС на основе системы ETCS [Электронный ресурс] // Железные дороги мира. – 2006. – № 7. – С. 67-71. – Режим доступа: <http://www.zdmira.com/arhiv/2006/zdm-2006-no-07#TOC--9>.
76. Pottendorfer M. First commercial application of ERTMS/ETCS level 1: lessons learned / M. Pottendorfer, D. Rhein // Alcatel Telecomm. Rev. – 2004 – № 2. – P. 174-180.
77. Koch Bernd. ETCS in Großbritannien / Bernd. Koch // ETR –Eisenbahntechnische Rundschau – 2002. – 51, № 7-8. – P. 467-471.
78. Hanni Hanspeter. Die Einföhrung von ETCS in der Schweiz / Hanspeter. Hanni // ETR –Eisenbahntechnische Rundschau – 2003. – 52, № 10. – P. 602-608.
79. ETCS and GSM-R open the way for seamless cross-border rail traffic // Panorama UIC. – 2004. – № 22. – P. 6-7.
80. Emery D. Enhanced ETCS L2/L3 control system / D. Emery // Advanced train control systems. – Southampton: WIT Press, 2010. – P. 113-122.
81. Jansen D.N. The impact of GSM-R on railway capacity / D.N. Jansen, S.G. Klages, E. Wendler // Advanced train control systems. – Southampton: WIT Press, 2010. – P. 143-153.
82. Ян К. Хардер. Развитие высокоскоростных магистралей в мире. Тренды 2020-2030 годов [Электронный ресурс] / Техника железных дорог. – № 2(34) май 2016. – С. 28-35 – Режим доступа: http://www.ipem.ru/files/files/tzd_web_versions/tzd_34_web_full.pdf.
83. Кошевий С.В. Електромагнітні завади в межах рейкової лінії і їх вплив на роботу автоматичної локомотивної сигналізації / С.В. Кошевий, М.М. Бабаев, М.С. Кошевий // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2008. – №4 (72). – С. 13-18.
84. Аркатов В.С. Рельсовые цепи. Анализ и техническое обслуживание / В.С. Аркатов, Ю.А. Кравцов, Б.М. Степенский. – М.: Транспорт, 1990. – 295 с.
85. Гололобова О.А. Устройства автоматической локомотивной сигнализации в условиях отказов рельсовых цепей / Энергетика, энергосбережения на початку

XXI століття: тези докладів Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених, спеціалістів, аспірантів (Маріуполь, 20 березня 2014 р.) – Маріуполь.: ДВНЗ «ПДТУ». – 2014. – С. 111-113.

86. Шаманов В.И. Ассиметрия тяговых токов под катушками АЛС / В.И. Шаманов, Ю.А. Трофимов // Автоматика, связь, информатика. – 2008. – № 11. – С. 37-39.
87. Кравцов Ю.А. Оценка воздействия асимметрии на работу РЦ / Ю.А. Кравцов, И.Ю. Зенкович, В.С. Антоненко, В.М. Сафро, А.А. Иваненко // Автоматика, связь, информатика. – 2007. – № 7. – С. 30.
88. Горенбейн Е.В. Оценка влияния асимметрии на работу рельсовых цепей и АЛС / Е.В. Горенбейн // Автоматика, связь, информатика. – 2010. – № 12. – С. 35.
89. Пультяков А.В. Анализ влияния неравномерной намагниченности рельсов на устойчивость работы АЛСН [Электронный ресурс] / А.В. Пультяков, Ю.А. Трофимов // Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация Иркутский государственный университет путей сообщения Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – С. 206-210. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-vliyaniya-neravnomernoy-namagnichennosti-relsov-na-ustoychivost-raboty-alsn.pdf>.
90. Степанов М.А. Способы устранения сбоев в работе железнодорожной системы автоматизации и телемеханики, вызванных повышенной намагниченностью рельсов [Электронный ресурс] / М.А. Степанов, А.П. Степанов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация. – 2015. – № 1 (45). – С. 168-172. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/sposoby-ustraneniya-sboev-v-rabote-zheleznodorozhnoy-sistemy-avtomatiki-i-telemehaniki-vyzvannyh-povyshennoy-namagnichennostyu-relsov.pdf>.

91. Соболев Ю.В. Дослідження умов роботи локомотивних пристроїв АЛС при безупинному проходженні поїзда через станцію / Ю.В. Соболев, С.В. Кошевий, М.С. Кошевий, С.М. Бібіков // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2009. – № 1. – С. 32-43
92. Шаманов В.И. Устойчивость работы АЛСН при электротяге переменного тока / В.И. Шаманов // Автоматика, связь, информатика. – 2010. – № 8. – С.6.
93. Григорьев В.Л. Оптимизация электропроводности рельсового стыка при пропуске тяжеловесных поездов. / В.Л. Григорьев, А.В. Котельников // Автоматика, связь, информатика. – 2005. – № 8. – С. 13-16.
94. Шевердин И.Н. Влияние тяжеловесных поездов на рельсовые цепи и АЛС / И.Н. Шевердин, В.И. Шаманов // Автоматика, связь, информатика. – 2004. – № 8. – С. 24-29.
95. Комаревцева К.О. Дослідження впливу коливань кузова локомотива на функціонування роботи локомотивних пристроїв АЛСН [Електронний ресурс] / К.О. Комаревцева, С.В. Кошевий // Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту. – 2014. – Вип. 146. – С. 136-144. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Znpudazt_2014_146_30.
96. Гаврилюк В.І. Ймовірнісна модель впливу тягового струму на рейкові кола / В.І. Гаврилюк, О.В. Завгородний // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2010. – № 4. – С. 73-76.
97. Гололобова О.А. Работа автоматической локомотивной сигнализации в условиях влияния токов линий электропередач / Інформаційно-управляючі технології та системи на залізничному транспорті: тези Всеукраїнської конференції студентів та молодих вчених. – Д.: ДНУЗТ. – 2014. – С. 62-63.
98. Hololobova O.O. Study of transmission lines effect on the system operationon of continuous automatic cab signalling / O.O. Hololobova, V.I. Havryliuk, M.O. Kovryhin, S.Yu. Buriak // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Д.: ДНУЗТ, 2014. – Вип. 5 (53). – С. 17-28.

99. Гололобова О.А. Электромагнитная совместимость устройств автоматической локомотивной сигнализации / Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: тезисы 74 Международной научно-практической конференции. Секция 7 Автоматизированные системы управления перевозок (Днепропетровск, 15-16 мая 2014 г.) – Д.: ДИИТ. – 2014. – С. 224-226.
100. Электромагнитная совместимость устройств автоматической локомотивной сигнализации с тяговой сетью [Электронный ресурс] // Центральная научная библиотека. – Режим доступа: http://www.0ck.ru/transport/elektromagnitnaya_sovmestimost_ustrojstv.html.
101. Сердюк Т.Н. Электромагнитная совместимость системы тягового электроснабжения с рельсовыми цепями / Т.Н. Сердюк, В.И. Гаврилук // Залізничний транспорт України. – 2005. – Вип. 3/2. – С. 178-180.
102. Кошевий С.В. Електромагнітне середовище вздовж ділянки залізниці і його вплив на роботу автоматичної локомотивної сигналізації / С.В. Кошевий, М.С. Кошевий, М.М. Бабаєв // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2008. – № 4 (72). – С. 13-18.
103. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів ДНАОП 0.00-1.21-98. Затв.: Наказ Держнаглядохоронпраці від 09.01.98 №4 / Міністерство юстиції України 10.02.98 за №93/2533. – К., 1998. – 125 с.
104. Правила устройства электроустановок Украины 2009 (по разделам) [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.ohranatruda.in.ua/pages/5004/>.
105. Конструктивные параметры воздушных линий электропередачи. [Электронный ресурс] / Школа для электрика. – 2010-2014. – Режим доступа: <http://electricalschool.info/main/vl/829-konstruktivnye-parametry-vozdushnykh.html>.
106. Пат. 2475395 Россия, В61L25/02. Устройство защиты работы устройств автоматической локомотивной сигнализации от помех линий электропередач [Электронный ресурс] / Косолапов А. М., Полевой Ю. И.

(Россия); заявитель и патентовладелец Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Самарский государственный университет путей сообщения». – Режим доступа: <http://www.findpatent.ru/patent/247/2475395.html>.

107. Безнаритний А.М. Аналіз стану пристроїв автоблокування, методів його обслуговування та контролю / А.М. Безнаритний, В.І. Гаврилюк, О.О. Гололобова // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Д.: ДНУЗТ, 2014. – Вип. 1 (49). – С. 22-32.
108. Правила безпечної експлуатації пристроїв автоматики, телемеханіки та зв'язку на залізницях України. ЦШ-0030. // Затв. Держ. адміністр. залізничного транспорту України №288-Ц від 17.11.2003 р. – К., 2004. – 155 с.
109. Інструкція з технічного обслуговування пристроїв сигналізації, централізації та блокування. ЦШЕОТ 0012 – К.: Укрзалізниця, 1998. – 72 с.
110. Інструкція з технічного обслуговування пристроїв сигналізації, централізації та блокування (СЦБ), ЦШ/0060 – К.: Укрзалізниця, 2009. – 87 с.
111. Пристрої сигналізації, централізації та блокування. Технологія обслуговування. ЦШ/0042. – К.: Укрзалізниця, 2006. – 461 с.
112. Дьяконов В. MATLAB. Обработка сигналов и изображений: спец. справ. / В. Дьяконов, И. Абраменкова. – Санкт-Петербург: Питер, 2002. – 608 с.
113. Герман-Галкин С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MATLAB 6.0: учеб. пособие / С.Г. Герман-Галкин. – СПб.: КОРОНА принт, 2001. – 320 с.
114. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB SimPowerSystems и Simulink / И.В. Черных. – М.: ДМК Пресс, 2008. – 288 с.
115. Chaparro L.F. Signals and Systems Using MATLAB / L. F. Chaparro. – Dep. of Electrical and Computer Eng. Univ. of Pittsburgh. Amsterdam, Boston, Heidelberg, London, New York, Oxford, Paris, San Diego, San Francisco, Singapore, Sidney, Tokyo: Academic Press, 2011. – 752 p.

116. Tervo R.J. Practical Signals Theory with MATLAB Applications. / R.J. Tervo. – Hoboken, New Jersey, Wiley, 2014. – 486 p.
117. Beucher O. Introduction to MATLAB & Simulink: a project approach / O. Beucher, M. Weeks. – 3-rd ed. // Hingham, Massachusetts New Delhi: Infinity Science Press LLC, 2008. – 390 p.
118. Сороко В.И. Аппаратура железнодорожной автоматики и телемеханики: справочник в 3-х кн / В.И. Сороко, В.М. Кайнов. – М.: НИФ «ПЛАНЕТА»; 2003. – Кн. 3. – 1120 с.
119. Сороко В.И., Разумовский Б.А. Аппаратура железнодорожной автоматики и телемеханики: Справочник. В 2-х томах. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1981 – 352 с.
120. Сотник В.О. Взаємна індуктивність рейки та приймальної локомотивної котушки / В.О. Сотник, М.Г. Давиденко // Зб. наук. праць: тези доп, 74-ї Міжнар. наук.-техн. конф. – Харків: УкрДАЗТ, 2012. – Вип. 129. – С. 202-203.
121. Сотник В.О. Аналіз кореляційних залежностей для синтезу приймача кодів АЛСН / В.О. Сотник, М.М. Бабаєв, М.М. Чепцов // Зб. наук. праць. – Донецьк: ДоніЗТ, 2013. – Вип. 34. – С. 49-56.
122. Сотник В.О. Особенности индуктивной связи рельсов и локомотивных катушек системы: АЛСН на участке стрелочного перевода / В.О. Сотник // Внедрение перспективных микропроцессорных систем железнодорожной автоматики и средств телекоммуникаций на базе цифровизации: тези доп. 26-ї Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Алушта, вересень 2013 р.) // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2013 – № 4 (Додаток). – С. 99.
123. Сотник В.О. Особливості індуктивного зв'язку рейок та локомотивних катушок системи АЛСН на ділянці стрілкового перевода / В.О. Сотник // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2011. – Вип. 129. – С. 129-144.

124. Кошевий М.С. Вплив коливань кузова локомотива на взаємну індуктивність між рейками та локомотивними приймальними котушками / М.С. Кошевий // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2009. – № 3 (76). – С. 18-23.
125. Кошевий С.В. Дослідження індуктивного каналу автоматичної локомотивної сигналізації при проходженні приймальними котушками зони стрілочних переводів / С.В. Кошевий, В.О. Сотник, М.С. Кошевий // Перспективні комп'ютерні, керуючі та телекомунікаційні системи для залізничного транспорту України: тези доп. 22-ї Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Алушта, 23-25 вересня 2009 р.) // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2009. – № 4 (Додаток). – С. 58.
126. Калантаров П.Л. Расчет индуктивностей: справочная книга / П.Л. Калантаров, Л.А. Цейтлин. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1986. – 486 с.
127. Шаманов В.И. Индуктивная связь локомотивных катушек АЛСН с рельсовыми линиями / В.И. Шаманов // Автоматика, связь, информатика. – 2011 – № 11 – С. 2-6.
128. Соболев Ю.В. Математична модель каналу передачі числового коду АЛСН / Ю.В. Соболев, М.Г. Давиденко, О.М. Ананьєва, В.О. Сотник // Зб. наук, праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2010. – Вип. 119. – С. 78-88.
129. Ананьєва О.М. Математичні моделі каналу передачі сигналів числових кодів автоматичної локомотивної сигналізації / О.М. Ананьєва, М.Г. Давиденко, В.О. Сотник // Электромагнитная совместимость и безопасность на железнодорожном транспорте: тез. IV Междунар. науч.-практ. конф. – г. Днепропетровск: ДНУЖТ им. акад. В. Лазаряна. – 2011 р. – С. 12.
130. Лисенков В.М. Индуктивная связь с поездами / В.М. Лисенков. – М.: Транспорт, 1976. – 112 с.
131. Лисенков В.М. Теория автоматических систем интервального регулирования / В.М. Лисенков. – М.: Транспорт, 1987. – 150 с.

132. Ананьева О.М. Прием сигналов АЛСН в условиях действия двухкомпонентной помехи / О.М. Ананьева, М.Г. Давиденко // Информ.-керуючі системи на залізн. трансп. – 2015. – Вип. 5. – С. 52-56.
133. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. электрические цепи / Л.А. Бессонов. – М.: Гардарики, 2000. – 638 с.
134. Ананьева О.М. Математична модель вхідного сигнального струму локомотивного приймача числових кодів АЛСН / О.М. Ананьева, В.О. Сотник, Ю.В. Соболев // Зб. наук. праць. – Донецьк: ДоніЗТ, 2011. – Вип. 26. – С. 67-70.
135. Ананьева О.М. Динамічна модель каналу передачі сигналів АЛСН / О.М. Ананьева // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2011. – Вип. 121. – С. 120-132.
136. Ананьева О.М. Математична модель блок-ділянки рейкового кола як формувача струму в перерізі приймання сигналів АЛСН / О.М. Ананьева, М.Г. Давиденко // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2011. – Вип. 122. – С. 43-51.
137. Ананьева О.М. Математическая модель смеси сигнала и многокомпонентной помехи на входе путевых устройств железнодорожной автоматики / О.М. Ананьева // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті, 2017. – Вип. 6. – С. 16-19.
138. Ананьева О.М. Синтез нелинейного приемника сигналов АЛСН в условиях действия аддитивной двухкомпонентной помехи / О.М. Ананьева, М.Г. Давиденко // Информ.-керуючі системи на залізн. трансп. – 2015. – Вип. 6. – С. 46–50.
139. Ананьева О.М. Вплив неоднорідностей рейкової лінії на приймання сигналів АЛСН / О.М. Ананьева, В.О. Сотник // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2011. – Вип. 124. – С. 77-83.
140. Ананьева О.М. Часові характеристики струму шунта та електрорушійної сили локомотивних котушок системи АЛСН / О.М. Ананьева, М.Г. Давиденко,

- В.О. Сотник, М.М. Бабаєв // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2011. – Вип. 127. – С. 56-78.
141. Бабаєв М.М. Математична модель каналу передачі сигналів числових кодів АЛСН / М.М. Бабаєв, О.М. Ананьєва, М.Г. Давиденко, В.О. Сотник // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2011. – Вип. 134. – С. 187-199.
142. Гололобова О.О. Математичне моделювання вхідних пристроїв системи автоматичної локомотивної сигналізації / О.О. Гололобова // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Д.: ДНУЗТ, 2014. – Вип. 2 (50). – С. 21-30.
143. Гололобова О.О. Моделювання індуктивного сполучення локомотивних пристроїв автоматичної локомотивної сигналізації неперервного типу з рейковим колом / О.О. Гололобова // Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті. – Д.: ДНУЗТ, 2019. – Вип. 17. – С. 99-108.
144. Oksana Hololobova, Serhii Buriak, Volodymyr Havryliuk, Ihor Skovron, & Oleksii Nazarov (2019). Mathematical modelling of the communication channel between the rail circuit and the inputs devices of automatic locomotive signalization. MATEC Web of Conferences Volume 294 (2019) 2nd International Scientific and Practical Conference “Energy-Optimal Technologies, Logistic and Safety on Transport” (EOT-2019). Retrieved from https://www.matec-conferences.org/articles/matecconf/pdf/2019/43/matecconf_eot18_03009.pdf.
145. Гололобова О.О. Випробування математичної моделі роботи індуктивного зв'язку системи автоматичної локомотивної сигналізації / Сучасні інформаційні та комунікаційні технології на транспорті, в промисловості і освіті: тези XIII Міжнародної науково-практичної конференції. Секція Інформаційна безпека (Дніпро, 11-12 грудня 2019 р.) – Д.: ДІТ. – 2019. – С. 197-198.
146. Гололобова О.О. Переваги використання математичної моделі при вивченні роботи АЛС / Інформаційно-управляючі технології та системи на залізничному транспорті: матеріали молодих вчених та студентської

- конференції; за ред. ст. вик. Дзюби В.В. та Паніка Л.О.; Дніпроп. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2013. – С. 83-84.
147. Завгородний А.В. Моделирование электромагнитных процессов в системе тягового электроснабжения / А.В. Завгородний, В.И. Гаврилюк // – Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізнич. трансп. – 2009. – №3. – С. 11-15.
148. Buriak S. Modeling of electromechanical systems / S. Buryak, V. Navriliuk, O. Hololobova // Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті. – Д.: ДНУЗТ, 2018. – Вип. 16. – С. 43-50.
149. Буряк С.Ю. Исследование диагностических признаков стрелочных электроприводов переменного тока / С.Ю. Буряк, В.И. Гаврилюк, О.А. Гололобова, А.М. Безнарытний // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Д.: ДНУЗТ, 2014. – Вип. 4 (52). – С. 7-22.
150. Gavrilyuk V., Zavgorodnyj A. Computer simulation of electromagnetic interference from railway electric power system harmonics // Archives of transport system telematics. – 2009. – Vol. 2. – № 1. – P. 33-37.
151. Сотник В.О. Математичне моделювання каналу передачі кодових сигналів АЛСН на ділянці стрілкового перевалу / В.О. Сотник // Перспективные компьютерные, управляющие и телекоммуникационные системы для железнодорожного транспорта Украины: тезисы доп. 25-ї Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Алушта, вересень 2012 р.) // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2012. – № 4 (Додаток). – С. 113.
152. Трепшин В.Ф. Измерение параметров рельсовых цепей из вагона-лаборатории: монография [Электронный ресурс] / В.Ф. Трепшин – Всероссийский институт железнодорожного транспорта (ВНИИЖТ). Уральское отделение. Екатеринбург, 2007. – 35 с. – Режим доступа: http://static.scbist.com/scb/tc_meas.pdf.

153. Обзор существующих систем диагностики и контроля параметров устройств железнодорожной автоматики, телемеханики и связи [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://studizba.com/lectures/106-transport/1400-sistemy-tehnicheskoy-diagnostiki/25833-13-obzor-suschestvujuschih-sistem-diagnostiki-i-kontrolja-parametrov-ustrojstv-zheleznodorozhnoj-avtomatiki-telemehaniki-i-svjazi.html>.
154. Гололобова О.А. Методы контроля помех в АЛСН / Безопасность и электромагнитная совместимость на железнодорожном транспорте: тезисы V Международной научно-практической конференции (14-17 февраля 2012 г., пгт. Чинадиево) – Д.: ДИИТ. – 2012. – С. 24-25.
155. Володарский В.А. Возможности повышения качества анализа сбоев АЛСН / В.А. Володарський, И.И. Куликов // Автоматика, связь, информатика. – 2003. – № 3. – С. 2-4.
156. Бугров Я.С. Высшая математика. Дифференциальные уравнения. Кратные интегралы. Ряды. Функции комплексного переменного: учеб. для вузов / Я.С. Бугров, С.М. Никольский. – 4-е изд. – Ростов: Феникс, 1997. – 512 с.
157. Бойник А.Б. Корреляционный прием и дешифрация кода АЛСН по спектральному признаку / А.Б. Бойник, М.Н. Чепцов, А.М. Трунаев // Информ.-керуючі системи на залізн. трансп.– 2008. – № 2. – С. 64-68.
158. Djukanovic S. A Parametric Method for Multicomponent Interference Suppression in Noise Radars / S. Djukanovic, V. Popovic // IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems. – 2012. – Vol. 48. – Iss. 3. – P. 2730–2738.
159. Gavrilyuk V.I., Serdyuk T.N. Telemetric system for the control of signal parameters of rail circuits // Transport systems telematics. II International Conferense. – Katowice-Ustron (Poland). – 2002. – P.185-190.
160. Буряк С.Ю. Дистанционное диагностирование состояния стрелочных переводов по временной характеристике и спектральному составу токовой кривой / С.Ю. Буряк, В.И.Гаврилюк, О.А. Гололобова, М.А. Коврыгин // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного

університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Д.: ДНУЗТ, 2015. – Вип. 2 (56). – С. 39-57.

161. Буряк С.Ю., Гололобова О.А. Неисправности колесных пар и методы их обнаружения / Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: тезисы 76 Международной научно-практической конференции. Секция 6 Автоматизированные системы управления на транспорте (Днепропетровск, 19-20 мая 2016 г.) – Д.: ДИИТ. – 2016. – С. 149-150.
162. Буряк С.Ю., Гололобова О.О. Определение повреждений поверхности катания колес во время движения / Безпека та електромагнітна сумісність на залізничному транспорті: тези VII Міжнар. науково-практичної конф. (с. Розлуч, 16-19 лютого 2016 р.) – Д.: ДІТ. – 2016. – С. 17-18.
163. Гончаров К.В. Синтез цифрового локомотивного приемника автоматической локомотивной сигнализации / К.В. Гончаров // «Наука и прогресс транспорта» Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В.Лазаряна. – 2013. – Вип. 1 (43), – 30-38 с.
164. Сергієнко А.Б. Цифрова обробка сигналів / А. Б. Сергієнко. – СПб.: Пітер, 2003. – 604 с.
165. Hololobova O.O. Application of fourier transform and wavelet decomposition for decoding the continuous automatic locomotive signaling code / O.O. Hololobova, V.I. Navryliuk // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Д.: ДНУЗТ, 2017. – Вип. 1 (67). – С. 7-17.
166. Гололобова О.А. Применение вейвлет-преобразования для дешифрации кода АЛСН / Современные информационные и коммуникационные технологии на транспорте, в промышленности и образовании: тезисы IX Международной научно-практической конференции. Секция 2 Системы управления технологическими процессами, микропроцессорные системы (Днепропетровск, 16-17 декабря 2015 г.) – Д.: ДИИТ. – 2015. – С. 43.

167. Алексеев К.А. Очерк «Вокруг SWT» [Электронный ресурс] / К. А. Алексеев. – Режим доступа: <http://matlab.exponenta.ru/wavelet/book3/index.php>.
168. Астафьева Н.М. Вейвлет-анализ: основы теории и примеры применения [Электронный ресурс] / Н.М. Астафьева // Успехи физических наук. – 1996. – Т. 166, № 11. – С. 1145 -1170. Режим доступа: <http://www.mathnet.ru/links/0559717e7d39e19bb113e1b06d02c24f/ufn1260.pdf>.
169. Дремин И.М. Вейвлеты и их использование [Электронный ресурс] / И.М. Дремин О.В. Иванов, В.А.Нечитайло // Успехи физических наук. – 2001. – Т. 171, № 5. – С. 465–501. Режим доступа: <http://www.mathnet.ru/links/a58340c3d176826de06f7c75f9ecc3cb/ufn1876.pdf>.
170. Дьяконов В.П. Вейвлет-анализ в MATLAB реальных осциллограмм [Электронный ресурс] / В.П. Дьяконов // Измерения в технике и связи. – С. 19–25. – Режим доступа: http://www.tmi-s.com/upload/kipis_articles/article_Dyakov_3-2010.pdf.
171. Мистецкий В. Разработка. Непрерывное wavelet преобразование [Электронный ресурс] / В. Мистецкий // Хабрахабр. – 2010. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/103899/>.
172. Новиков Л.В. Основы вейвлет-анализа сигналов: учеб. пособие / Л.В. Новиков. – Санкт-Петербург: ИАиП РАН. –1999. – 152 с.
173. Lewalle J. Введение в анализ данных с применением непрерывного вейвлет-преобразования [Электронный ресурс], [пер. с англ. Грибунин В.Г.] / J. Lewalle. – Режим доступа: <http://www.autex.spb.ru/download/wavelet/books/lewallle.pdf>.
174. Правила технічної експлуатації залізниць України. – К.: Міністерство транспорту України, 2003.– 133 с.
175. Зайцев В.О. Коментарі та роз'яснення щодо застосування положень правил технічної експлуатації залізниць України / В.О. Зайцев. – Київ, 2004.– 408 с.
176. Практичні рекомендації з проведення комісійних місячних оглядів П69 колій, стрілочних переводів, пристроїв СЦБ та зв'язку, контактної мережі на станціях залізниць України / Розробники: О. Ф. Вергун та інші. ЦД 0032 – К.: Транспорт України, 2000. – 72 с.

177. Архипов Е.В. Справочник электромонтера / Е.В. Архипов, В.Н. Гуревич. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1999. – 351 с.
178. Бубнов В.Д. Устройства СЦБ, их монтаж и обслуживание: полуавтоматическая и автоматическая блокировка: учебник для технических школ ж.д. транспорта / В.Д. Бубнов, В.С. Дмитриев. – 2-е изд. – М.: Транспорт, 1989. – 366с.
179. Комплекси технічних засобів систем керування та регулювання руху поїздів. Електромагнітна сумісність. Вимоги та методи випробовування: ДСТУ 4151-2003.
180. Комплекси технічних засобів систем керування та регулювання руху поїздів. Функційна безпечність. Вимоги та методи випробовування: ДСТУ 4178-2003.
181. Інструкція з технічного обслуговування локомотивних пристроїв автоматичної локомотивної сигналізації безперервного типу (АЛС) і пристроїв контролю пильності машиніста на залізницях України. ЦТ-ЦШ-0072. – К.: Укрзалізниця, 2004. – 92 с.
182. Пат. 107472 Україна, МПК В61L 25/06 (2006/01) Спосіб контролю технічного стану локомотивних пристроїв автоматичної локомотивної сигналізації на контрольному пункті / Гололобова О.О., Гаврилюк В.І., Буряк С.Ю. (Україна); заявник та патентовласник Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна. – № u 2015 11682 заявл. 26.11.15.; опубл. 10.06.16, Бюл. № 11.
183. Пат. 146189 Україна, МПК В61L 25/06 (2006/01) Пристрій контролю технічного стану локомотивних пристроїв автоматичної локомотивної сигналізації на контрольному пункті / Гололобова О.О. (Україна); заявник та патентовласник Дніпровський національний університет залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна. – № u 2020 00066 заявл. 02.01.2020.; опубл. 27.01.2021, Бюл. № 4.
184. Технічні вказівки на виконання робіт по обслуговуванню локомотивних та стаціонарних пристроїв на КП АЛС. РМ 32 ЦШ 09.23. – М.: Транспорт, 1984. – 32 с.

185. Бервинов В.И. Локомотивные устройства безопасности: учебник для техникумов и колледжей ж.д. транспорта. / В.И. Бервинов, Е.Ю. Доронин. – М.: Маршрут, 2005. – 156 с.
186. Инструкция по техническому обслуживанию автоматической локомотивной сигнализации непрерывного типа (АЛСН) и устройств контроля бдительности машиниста № ЦТ ЦШ 857 від 24.09.2001 р.
187. Пат. RU 2278795 С2 РФ, МПК В61L 25/06 (2006/01) Устройство для измерения параметров сигналов автоматической локомотивной сигнализации / Логинов Сергей Николаевич, Коба Сергей Васильевич, Спирков Владимир Иванович, Семенов Алексей Владимирович (РФ); заявник та патентовласник закрытое акционерное общество «Рязанская радиоэлектронная компания». – № 2004128263/11 заявка 22.09.2004.; опубл. 10.03.2006, Бюл. № 18.

ДОДАТОК А

АКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

МІНІСТЕРСТВО ІНФРАСТРУКТУРИ УКРАЇНИ

Регіональна філія «Придніпровська залізниця» АТ «Укрзалізниця»

Запорізька дистанція сигналізації та зв'язку

69002, Запорізька обл., м. Запоріжжя, вул. Залізнична, 11а, тел. (061) 720-22-40

м. Запоріжжя

«30» липня 2020 р.

АКТ

про використання результатів дисертаційної роботи на отримання ступеня кандидата технічних наук асистента кафедри «Автоматика та телекомунікації» Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

ГОЛОЛОБОВОЇ ОКСАНИ ОЛЕКСІЇВНИ

на тему:

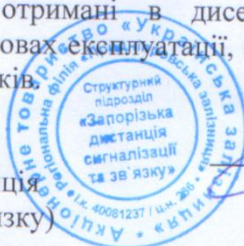
УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ОБСЛУГОВУВАННЯ
АВТОМАТИЧНОЇ ЛОКОМОТИВНОЇ СИГНАЛІЗАЦІЇ

Розроблений в результаті виконання дисертаційної роботи асистента Гололобової Оксани Олексіївни пристрій, який дозволяє автоматизувати фіксацію зміни показань локомотивного світлофора і їх відповідності до послідовності зміни та значення кодів у рейковому колі, було застосовано на Запорізькій дистанції сигналізації та зв'язку.

Автоматизація процесу перевірки роботи локомотивного світлофора дозволила усунути людський фактор, проводити роботу зі створення бази даних по кожній окремій рухомій одиниці та виконувати аналіз стану локомотивних пристроїв системи автоматичної локомотивної сигналізації з урахуванням попередніх даних. На підставі порівняння результатів перевірок роботи з'явилася можливість прогнозувати поступово виникаючі пошкодження і попереджати їх. Додатковою є можливість перевіряти фактичний стан пристроїв на даний момент часу та контролювати дії, щодо усунення недоліків в їх роботі при обслуговуванні.

Результати, отримані в дисертаційній роботі, випробувані та підтверджені в умовах експлуатації, а також можуть бути застосовані при навчанні працівників.

Начальник ШЧ-11
(Запорізька дистанція
сигналізації та зв'язку)



(підпис)

М.П.

/ Ямбург О. І. /
(прізвище та ініціали)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з науково-педагогічної,
економічної роботи, перспективного
та інноваційного розвитку
Дніпровського національного
університету залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна



А. В. Радкевич

2020 р.

АКТ

про використання результатів дисертації Гололобової Оксани Олексіївни
«УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ОБСЛУГОВУВАННЯ
АВТОМАТИЧНОЇ ЛОКОМОТИВНОЇ СИГНАЛІЗАЦІЇ»

м. Дніпро

«13» липня 2020р.

Дніпровським національним університетом залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна виконано наступні науково-дослідні роботи, в яких використано результати дисертації Гололобової О.О. «Удосконалення технології обслуговування автоматичної локомотивної сигналізації»:

- «Дослідження і розробка інтегрованої комп'ютерної системи оптимізації перевезень, енергозбереження, безпеки руху та інтелектуалізація процедур управління залізничним транспортом України». Реєстраційний номер 0114U005164.

- «Розробка системи безперервного автоматизованого діагностування стрілочних переводів централізованих стрілок в умовах експлуатації на станції». Реєстраційний номер 0110U000330.

- «Наукове обґрунтування підвищення функціональної безпеки пристроїв залізничної автоматики шляхом забезпечення електромагнітної сумісності з тяговою мережею». Реєстраційний номер 0115U002425.

Начальник науково-дослідної
частини університету

Р. В. Рибалка

ЗАТВЕРДЖУЮ
Перший проректор Дніпровського
національного університету залізничного
транспорту імені академіка В. Лазаряна

 Б. Є. Боднар
«04» вересня 2020 р.

АКТ

Про використання результатів дисертації Гололобової Оксани Олексіївни
«УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ОБСЛУГОВУВАННЯ АВТОМАТИЧНОЇ
ЛОКОМОТИВНОЇ СИГНАЛІЗАЦІЇ»

м. Дніпро

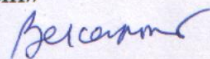
«04» вересня 2020 р.

Цей акт складений про те, що у навчальному процесі Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна при підготовці бакалаврів та магістрів за спеціальностями 151 «Автоматика та комп'ютерно-інтегровані технології» та 273 «Залізничний транспорт» використовуються наукові та практичні результати, що отримані в дисертації Гололобової О.О., а саме:

1. Метод моніторингу сигнального струму локомотивної сигналізації з використанням спектрального вейвлет-аналізу, який введено до навчальної дисципліни «Діагностування систем автоматики»; метод автоматизації періодичного контролю працездатності локомотивних пристроїв АЛСН на контрольному пункті дистанції сигналізації та зв'язку з використанням апаратно-програмного комплексу, що використовується при вивченні дисципліни «Спеціальні вимірювання в системах залізничної автоматики»; комплексна математична модель каналу зв'язку між рейковим колом та локомотивними пристроями АЛСН, що введена до дисципліни «Моделювання систем автоматики».

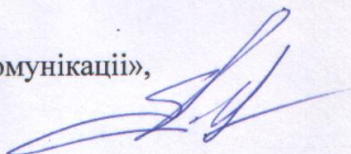
2. Результати дисертації використовуються при виконанні дипломних магістерських робіт спеціальностей 151 «Автоматика та комп'ютерно-інтегровані технології», 273 «Залізничний транспорт».

декан факультету
«Комп'ютерні технології і системи»
д.т.н., професор



В. В. Скалозуб

завідувач кафедри
«Автоматика та телекомунікації»,
д.ф.-м.н., професор



В. І. Гаврилюк

ДОДАТОК Б
СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ ТА
ВІДОМОСТІ ПРО АПРОБАЦІЮ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЇ

- в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. Oksana Hololobova, Serhii Buriak, Volodymyr Havryliuk, Ihor Skovron, & Oleksii Nazarov (2019). Mathematical modelling of the communication channel between the rail circuit and the inputs devices of automatic locomotive signalization. MATEC Web of Conferences Volume 294 (2019) 2nd International Scientific and Practical Conference “Energy-Optimal Technologies, Logistic and Safety on Transport” (EOT-2019). Retrieved from https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/pdf/2019/43/mateconf_eot18_03009.pdf.
2. Гололобова О.О. Моделювання індуктивного сполучення локомотивних пристроїв автоматичної локомотивної сигналізації неперервного типу з рейковим колом / О.О. Гололобова // Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті. – Д.: ДНУЗТ, 2019. – Вип. 17. – С. 99-108.
3. Buriak S. Modeling of electromechanical systems / S. Buryak, V. Havriliuk, O. Hololobova // Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті. – Д.: ДНУЗТ, 2018. – Вип. 16. – С. 43-50.
4. Hololobova O.O. Application of fourier transform and wavelet decomposition for decoding the continuous automatic locomotive signaling code / O.O. Hololobova, V.I. Havryliuk // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Д.: ДНУЗТ, 2017. – Вип. 1 (67). – С. 7-17.
5. Гололобова О.А. Исследование работы системы автоматической локомотивной сигнализации в условиях помех / О.А. Гололобова // Наука и транспорт. Вестник Белорусского государственного университета транспорта. – Беларусь: БелГУТ, 2016. – Вип. 2 (33). – С. 126-129.
6. Буряк С.Ю. Дистанционное диагностирование состояния стрелочных переводов по временной характеристике и спектральному составу токовой

кривой / С.Ю. Буряк, В.И. Гаврилюк, О.А. Гололобова, М.А. Коврыгин // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Д.: ДНУЗТ, 2015. – Вип. 2 (56). – С. 39-57.

7. Hololobova O.O. Study of transmission lines effect on the system operationon of continuous automatic cab signalling / O.O. Hololobova, V.I. Havryliuk, M.O. Kovryhin, S.Yu. Buriak // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Д.: ДНУЗТ, 2014. – Вип. 5 (53). – С. 17-28.
8. Гололобова О.О. Математичне моделювання вхідних пристроїв системи автоматичної локомотивної сигналізації / О.О. Гололобова // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Д.: ДНУЗТ, 2014. – Вип. 2 (50). – С. 21-30.
9. Безнаритний А.М. Аналіз стану пристроїв автоблокування, методів його обслуговування та контролю / А.М. Безнаритний, В.І. Гаврилюк, О.О. Гололобова // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Д.: ДНУЗТ, 2014. Вип. 1 (49). – С. 22-32.
10. Пат. 107472 Україна, МПК В61L 25/06 (2006/01) Спосіб контролю технічного стану локомотивних пристроїв автоматичної локомотивної сигналізації на контрольному пункті / Гололобова О.О., Гаврилюк В.І., Буряк С.Ю. (Україна); заявник та патентовласник Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна. – № и 2015 11682 заявл. 26.11.15.; опубл. 10.06.16, Бюл. № 11.

- які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

11. Гололобова О.О. Дослідження перешкод АЛС. / Сучасні інформаційні та комунікаційні технології на транспорті, в промисловості і освіті: тези XIV

Міжнародної науково-практичної конференції. Секція Автоматизовані системи управління на транспорті і в промисловості (Дніпро, 15-16 грудня 2020 р.) – Д.: ДІТ. 2020. – С. 19-20.

12. Буряк С.Ю., Гололобова О.О. Причини збоїв автоматичної локомотивної сигналізації та методи боротьби з ними / Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту: тези 80 Міжнародної науково-практичної конференції. Секція 6 Автоматизовані системи управління на транспорті (Дніпро, 23-24 квітня 2020 р.) – Д.: ДНУЗТ, 2020. – С. 133-135.
13. Коваленко А.О., Гололобова О.О. Різновиди автоматичного контролю за рухом потяга та пильністю машиніста / Інформаційно-управляючі технології та системи на залізничному транспорті: тези Всеукраїнської конференції студентів та молодих вчених; за ред. ст. вик. Паніка Л.О. та Дзюби В.В. Дніпровського нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна (Дніпро, 23-27 березня 2020 р.) – Д.: Вид-во Дніпровського нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2020 – С. 41-42.
14. Міщенко М.О., Гололобова О.О. Вдосконалення перевірки роботи системи АЛС та їх подальші перспективи / Інформаційно-управляючі технології та системи на залізничному транспорті: тези Всеукраїнської конференції студентів та молодих вчених; за ред. ст. вик. Паніка Л.О. та Дзюби В.В. Дніпровського нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна (Дніпро, 23-27 березня 2020 р.) – Д.: Вид-во Дніпровського нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2020 – С. 49-50.
15. Гололобова О.О. Випробування математичної моделі роботи індуктивного зв'язку системи автоматичної локомотивної сигналізації / Сучасні інформаційні та комунікаційні технології на транспорті, в промисловості і освіті: тези XIII Міжнародної науково-практичної конференції. Секція Інформаційна безпека (Дніпро, 11-12 грудня 2019 р.) – Д.: ДІТ. – 2019. – С. 197-198.

16. Гололобова О.О., Буряк С.Ю., Гаврилюк В.І, Возняк О.М. Причины відмов пристроїв автоматичної локомотивної сигналізації / Енергооптимальні технології, логістика та безпека на транспорті: матеріали 2-ї Міжнародної науково-практичної конференції (Львів, 19-20 вересня 2019 р.) – Львів: Львівська філія ДНУЗТ, 2019. – С. 21-22.
17. Гололобова О.А., Ямбург К.О. Повышение безопасности движения поездов путем улучшения систем мониторинга локомотивной бригады / Проблемы та перспективи розвитку залізничного транспорту: тези 79 Міжнародної науково-практичної конференції. Секція 6 Автоматизовані системи управління на транспорті (Дніпро, 16-17 травня 2019 р.) – Д.: ДНУЗТ, 2019. – С. 210-211.
18. Гололобова О.А. Повышение помехоустойчивости системы АЛС / Безпека та електромагнітна сумісність на залізничному транспорті: тези VIII Міжнародної науково-практичної конференції (Чернівці, 01-03 лютого 2017 р.) – Дніпро, Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2017. – С. 24.
19. Гололобова О.А. Повышение помехоустойчивости канала АЛС / Современные информационные и коммуникационные технологии на транспорте, в промышленности и образовании: тезисы X Международной научно-практической конференции. Секция 1 Автоматизированные системы управления на транспорте (Днепропетровск, 14-15 декабря 2016 г.) – Д.: ДИИТ. – 2016. – С. 34.
20. Буряк С. Ю., Гололобова О.А. Неисправности колесных пар и методы их обнаружения / Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: тезисы 76 Международной научно-практической конференции. Секция 6 Автоматизированные системы управления на транспорте (Днепропетровск, 19-20 мая 2016 г.) – Д.: ДИИТ. – 2016. – С. 149-150.
21. Буряк С.Ю., Гололобова О.О. Определение повреждений поверхности катания колес во время движения / Безпека та електромагнітна сумісність на залізничному транспорті: тези VII Міжнар. науково-практичної конф. (с. Розлуч, 16-19 лютого 2016 р.) – Д.: ДІТ. – 2016. – С. 17-18.

22. Гололобова О.А. Применение вейвлет-преобразования для дешифрации кода АЛСН / Современные информационные и коммуникационные технологии на транспорте, в промышленности и образовании: тезисы IX Международной научно-практической конференции. Секция 2 Системы управления технологическими процессами, микропроцессорные системы (Днепропетровск, 16-17 декабря 2015 г.) – Д.: ДИИТ. – 2015. – С. 43.
23. Гололобова О.О. Автоматизація технічного обслуговування пристроїв автоматичної локомотивної сигналізації / Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: тезисы 75 Международной научно-практической конференции. Секция 7 Автоматизированные системы управления на транспорте (Днепропетровск, 14-15 мая 2015 г.) – Д.: ДИИТ. – 2015. – С. 196.
24. Гололобова О.А. Электромагнитная совместимость устройств автоматической локомотивной сигнализации / Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: тезисы 74 Международной научно-практической конференции. Секция 7 Автоматизированные системы управления перевозок (Днепропетровск, 15-16 мая 2014 г.) – Д.: ДИИТ. – 2014. – С. 224-226.
25. Гололобова О.А. Работа автоматической локомотивной сигнализации в условиях влияния токов линий электропередач / Інформаційно-управляючі технології та системи на залізничному транспорті: тези Всеукраїнської конференції студентів та молодих вчених. – Д.: ДНУЗТ. – 2014. – С. 62-63.
26. Гололобова О.А. Устройства автоматической локомотивной сигнализации в условиях отказов рельсовых цепей / Энергетика, енергозбереження на початку ХХІ століття: тези докладів Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених, спеціалістів, аспірантів (Маріуполь, 20 березня 2014 р.) – Маріуполь.: ДВНЗ «ПДТУ». – 2014. – С. 111-113.
27. Гололобова О.А. Исследование причин сбоя в работе рельсовых цепей и их влияния на устройства автоматической локомотивной сигнализации /

Современные проблемы развития интеллектуальных систем транспорта: тезисы Международной научно-практической конференции (Днепропетровск, 27-31 января 2014 г.) – Д.: ДИИТ. – 2014. – С. 29-30.

28. Гололобова О.О. Переваги використання математичної моделі при вивченні роботи АЛС / Інформаційно-управляючі технології та системи на залізничному транспорті: матеріали молодих вчених та студентської конференції; за ред. ст. вик. Дзюби В.В. та Паніка Л.О.; Дніпроп. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2013. – С. 83-84.
29. Гололобова О.А. Методы контроля помех в АЛСН / Безопасность и электромагнитная совместимость на железнодорожном транспорте: тезисы V Международной научно-практической конференции (пгт. Чинадиево, 14-17 февраля 2012 г.) – Д.: ДИИТ. – 2012. – С. 24-25.

- які додатково відображають наукові результати дисертації:

30. Пат. 146189 Україна, МПК В61L 25/06 (2006/01) Пристрій контролю технічного стану локомотивних пристроїв автоматичної локомотивної сигналізації на контрольному пункті / Гололобова О.О. (Україна); заявник та патентовласник Дніпровський національний університет залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна. – № u 2020 00066 заявл. 02.01.2020.; опубл. 27.01.2021, Бюл. № 4.
31. Samosvat V.O. Features of design of tied-arch bridges with flexible inclined suspension hangers / V.O. Samosvat, Zhang Rongling, O.O. Hololobova, S.Y. Buriak // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Д.: ДНУЗТ, 2017. – Вип. 5 (71). – С. 131-140.
32. Буряк С.Ю. Впровадження системи технічної діагностики стрілочних переводів / С.Ю. Буряк, В.І. Гаврилюк, О.О. Гололобова // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету

залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Д.: ДНУЗТ, 2015. – Вип. 3 (57). – С. 7-22.

33. Буряк С.Ю. Исследование диагностических признаков стрелочных электроприводов переменного тока / С.Ю. Буряк, В.И. Гаврилюк, О.А. Гололобова, А.М. Безнарытний // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Д.: ДНУЗТ, 2014. – Вип. 4 (52). – С. 7-22.

ДОДАТОК В

ЗБОЇ АЛС ШВИДКІСНИХ ПОЇЗДІВ ПО ЗАЛІЗНИЦЯХ ТА СЛУЖБАХ

Таблиця В.1 – Розподіл збоїв АЛС по залізницях та службах, які вплинули на рух швидкісних поїздів «Інтерсіті» та «Інтерсіті+»

Збої АЛС по службах	Рік	Залізниця						Всього:
		Донецька	Львівська	Одеська	Південна	Південно-західна	Придніпровська	
Інші	2019	0	2	10	3	26	1	42
	2018	0	1	5	0	1	3	10
	2017	0	0	3	0	0	1	4
	2016	-	-	1	-	2	-	3
	2015	-	-	-	-	-	-	-
Втручання сторонніх осіб	2019	0	0	0	0	0	0	0
	2018	0	0	0	0	0	0	0
	2017	0	0	0	2	0	1	3
	2016	-	-	-	-	1	-	1
	2015	-	-	-	-	1	-	1
Причина не встановлена	2019	11	15	51	19	132	13	241
	2018	8	8	38	14	45	15	128
	2017	0	24	23	45	13	35	140
	2016	1	19	9	64	35	30	158
	2015	3	34	4	25	-	12	80
Т	2019	0	0	0	0	3	0	3
	2018	0	0	2	0	0	0	2
	2017	0	0	0	0	0	0	0
	2016	-	-	4	5	-	3	12
	2015	-	-	-	-	-	-	-
УЗШК	2019	0	0	3	0	25	5	33
	2018	0	0	0	0	0	0	0
	2017	0	1	8	0	11	0	20
	2016	-	-	-	7	4	-	11
	2015	1	5	-	-	20	-	25
Е	2019	0	1	2	4	9	2	18
	2018	0	5	2	1	19	0	27
	2017	0	2	2	2	1	0	7
	2016	-	3	1	5	23	3	35
	2015	-	3	-	9	4	-	15
П	2019	0	6	57	1	81	0	145
	2018	0	3	71	3	31	1	109
	2017	0	2	23	3	20	1	49
	2016	-	10	8	5	92	1	116
	2015	-	16	31	31	151	-	225
Ш	2019	0	8	8	7	40	6	69
	2018	0	9	12	21	10	8	60
	2017	0	10	5	23	2	11	51
	2016	2	8	7	41	34	13	105
	2015	4	9	2	26	151	12	197
Загальна кількість збоїв по залізницях	2019	11	32	131	34	316	27	551
	2018	8	26	130	39	106	27	336
	2017	0	39	64	75	47	49	274
	2016	3	40	30	127	191	50	441
	2015	8	67	37	91	327	24	543