

УДК 656.25 : 621.318

Б. М. БОНДАРЕНКО – к. т. н., доцент кафедри АТЗ Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, bond_16@mail.ru

АКУСТИЧНИЙ КОНТРОЛЬ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПРИЛАДІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ РУХУ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Статтю представив д.т.н., проф. А. П. Разгонов

Вступ

Безпека руху на залізниці визначається типовими елементами і вузлами в системах управління, значну частину з яких складають електромагнітні реле першого класу надійності. Зараз на залізницях України знаходяться в експлуатації сотні тисяч електромагнітних реле. Досвід експлуатації підтверджує факт їх надійної роботи: ресурс деяких типів реле перевищує десятки років. Але технологія перевірки параметрів електромагнітних реле розроблена багато років тому відповідно до тогочасного рівня технічного розвитку та в основному не змінилася дотепер, в ній відсутня автоматизація діагностування, всі роботи з перевірки та ремонту реле виконуються уручну. Як наслідок, витрачається багато ресурсів і часу та існує велика залежність робіт від кваліфікації спеціаліста.

Обчислювальна техніка сьогодні дозволяє удосконалити технологію перевірки параметрів реле залізничної автоматики за рахунок автоматизації процесів вимірювання і використання програмних засобів діагностики. У багатьох країнах, що використовують електромагнітні реле в залізничній автоматизації, розв'язуються питання контролю електричних і часових параметрів електромагнітних реле за допомогою різних автоматичних цифрових пристроїв і систем. Наприклад, автоматична тестова система Automatic Relay Test System INDIA індійського виробництва, RelayPro Automated Relay Tester виробництва MRD Rail Technologies Австралії, автоматичний

програмний комплекс ІАПК РТУ російського виробництва.

Однак, з використанням мікропроцесорної техніки залишаються невирішеними проблеми надійного контролю механічних параметрів електромагнітних реле. Зараз для цього використовуються методи і технології, розроблені у середині минулого сторіччя. Причому виконання ремонтно-профілактичних робіт вимагає високої кваліфікації фахівців, що виконують уручну основний об'єм технологічних операцій по вимірюванню і контролю механічних параметрів реле. Такі роботи передбачають значний час, зокрема розбирання і збирання приладу, що перевіряється, не залежно від його фактичного стану.

Ефективним методом попередження аварій, виявлення несправностей у вузлах двигунів, підшипників, гідросистем, гідролокаторів, електромеханічних вузлів радіоелектронної апаратури (РЕА) є акустичні методи [1]. Акустичні методи діагностування можуть використовуватись для таких електромеханічних пристроїв, як соленоїди, реле, контактори. Зокрема реле генерують електродинамічний і електромагнітний шуми, які можуть бути використані для їх діагностування.

Технологія профілактичних робіт на релейній апаратурі повинна включати тестовий контроль параметрів електромагнітних реле і оптимізацію міжремонтного періоду. Ця проблема розв'язується із застосуванням способів для вимірювання і контролю параметрів реле [2].

У викладеному дослідженні обґрунтовується побудова акустичного каналу діагно-

стування та розглядається принцип аналізу шумових сигналів електромагнітного реле на прикладі зміни одного з механічних параметрів.

Акустичні шуми реле та методи їх ідентифікації

Акустичний сигнал реле являє собою суму шумових сигналів від різних джерел. Такий шум може мати деяку тональність, яка визначається частотою, що відповідає максимальній амплітуді в його спектрі. Спектр шуму може бути рівномірним, позбавленим будь-якої тональності.

Найбільш інформативною діагностичною характеристикою шумового сигналу є розподіл ймовірностей амплітуд звукового тиску.

Акустичні шумові сигнали механізму реле, як показують експерименти мають періодичні і неперіодичні складові. Параметри шумових сигналів змінюються з часом - у бездефектних реле повільно, у реле, що наближається до стану руйнування, дуже швидко. Тому можна вважати, що в межах усього терміну служби реле його характерний шумовий сигнал є інтервально-стаціонарний процес за умови, що інтервали спостережень вибираються розумно, а сигнали розглядаються як реалізації випадкового процесу з нормальним розподілом.

Одним з основних елементів комплексу програм обробки акустичних сигналів на базі аналогово-цифрового перетворювача (АЦП) є цифрова фільтрація, яка використовується для відновлення сигналу після дискретизації та фільтрації непотрібних частотних складових [3]. Набір програм дозволяє обчислювати параметри розподілу максимальне і мінімальне значення, стандартне відхилення і кореляційну функцію. Алгоритми модифікації включають масштабування, цифрову фільтрацію та інтегрування.

Після цього виникає задача ідентифікації шумових сигналів, тобто побудова математичної моделі (статистичної або дина-

мічної) діагностування об'єкта (з дефектом і без дефекту) на основі експериментальних даних з метою вибору інформативних (визначальних) параметрів для побудови діагностичної системи. При цьому доводиться вирішувати два завдання: аналіз шумових сигналів в частотній і часовій областях, визначення зв'язків між складовими шумового сигналу і станом реле що діагностується.

Відомі два методи ідентифікації акустичних шумових сигналів: на основі частотного (спектрального) аналізу і з використанням просторових характеристик розподілу сигналів. При спектральному аналізі стан об'єкта, що діагностується, оцінюється показником порівняльного становища, при якому середньоквадратичний рівень спектрального компонента відповідного шумового або вібраційного процесу порівнюється з граничним, який вважається типовим для обладнання без дефекту [4].

Мета діагностування полягає у виявленні розвитку відмови раніше області найбільш інтенсивного зносу або руйнування точки (рис. 1.) Тому необхідно мати часову залежність роботи дефектних і бездефектних об'єктів контролю, а для забезпечення достовірних результатів застосовувати статистичні методи моделювання.



Рис. 1. Залежність інтенсивності зношування елементів реле від часу

Відповідно до ймовірнісного підходу всі відхилення від норми розглядаються як випадкові величини, а основною вимогою до конструкції є мінімально допустима ймовірність руйнування. Труднощі реалізації методів діагностування при експлуатації реле полягає в тому, що лише в окремих випад-

ках є інформація про кожний конструктивний параметр електромагнітного реле, яка достатня для надійного опису розподілу ймовірностей виходу цього параметра за межі допустимої величини.

Звичайно використовують фізико-статистичні моделі, що описують взаємозв'язок Y -нормованого параметра об'єкта, що діагностується (ступінь зносу деталі, розрегулювання - і X -параметра шуму (амплітуди певної складової, потужності шуму і т. п.). Тоді метод статистичної ідентифікації буде полягати в тому, щоб приймати ті чи інші рішення виходячи з ймовірностей випадкової величини X , за якою ми можемо судити про величину Y .

Визнаним способом накопичення інформації та встановлення основних діагностичних оцінок є метод експертних оцінок, які є результатом накопиченого досвіду у фахівців і на основі яких складаються переліки основних несправностей і основних ознак, як правило, що є в експлуатаційній документації у вигляді таблиць типових несправностей.

Для ідентифікації методом розпізнавання образів можуть бути використані алгоритми [9], але у всіх випадках необхідно знати закони розподілу контрольованих параметрів, які в основному можуть бути визначені експериментально.

Перераховані методи ідентифікації шумових сигналів відповідним станам реального реле (справне, несправне) можуть бути успішно застосовані якщо існує достовірна статистика оцінки шумових сигналів. Зокрема представляє інтерес закон густини ймовірності розподілу шумових сигналів [5].

Постановка завдання

Для створення акустичного каналу вимірювання електродинамічних процесів, роботи електромагнітних реле необхідно визначити тип акустичних датчиків, які перетворюють акустичні коливання в електричні сигнали.

Використовуючи електродинамічні процеси, які супроводжують роботу електромагнітних реле необхідно зафіксувати та проаналізувати створенні акустичні коливання, з метою технічного діагностування блоку реле.

Рішення поставленого завдання

Під час роботи реле коливання передаються елементам конструкції реле і повітря у вигляді акустичної енергії, поширюваної в середовищі. В різних точках середовища виникає змінний звуковий тиск, який і повинен сприйматися первинним перетворювачем (мікрофоном). Рівень звукового тиску в певних точках простору залежить від потужності джерела, умов розповсюдження (інтенсивності звуку в певному напрямі) і відстані до джерела.

Рівень сигналів на виході приймача залежатиме ще і від шумів навколишнього середовища і технічних характеристик приймача. Мікрофон перетворює акустичну енергію (коливання тиску) в електричну. Це перетворення можна здійснювати різними способами. За способом перетворення мікрофони діляться на електродинамічні, вугільні, п'єзоелектричні і електростатичні. Мікрофони характеризуються рядом параметрів, основні з яких приведені в [9].

Основні технічні характеристики конденсаторних мікрофонів, які можуть використовуватися в акустичному діагностуванні електромагнітних реле надані в [6].

Для прийому акустичних сигналів можуть застосовуватися і контактні п'єзоперетворювачі [7]. Але вони мають ряд недоліків, пов'язаних з обов'язковим контактом з твердим тілом. Тому останніми роками з'явилися нові методи і засоби реєстрації коливань, які використовують методи візуалізації акустичних коливань на базі елементів нелінійної оптики і акустичної голографії. [8]. Але основний недолік цих методів – їх висока вартість.

При прийомі шумових сигналів, як правило, розв'язуються дві вимірювальні зада-

чі: виявлення джерел шуму і визначення рівня їх шумів [9].

У випадку з електромагнітним реле основним джерелом шуму є якір реле. Але навколо блоку реле створюються електромагнітні хвилі, які можуть негативним чином вплинути на електродинамічні мікрофони, для зменшення цього впливу усередині такого мікрофону розташовують додаткову обмотку. Вугільні мікрофони мають низьку якість перетворення середніх та високих звукових частот. Тому для зменшення електромагнітного впливу та підвищення якості перетворення акустичних коливань доцільно використовувати п'єзоелектричні або електростатичні мікрофони. П'єзоелектричні мікрофони дуже перспективні для таких досліджень, оскільки є можливість їх сумісного одночасного використання на кожному зовнішньому елементі реле та у будь-якому місті його корпусу. Але при виростанні п'єзоелектричних мікрофонів важко забезпечити однаковий тиск та однакову крапку приєднання мікрофону до елементів реле, які перевіряються. Електростатичні мікрофони володіють меншою залежністю від зміни зовнішнього електромагнітного поля, в порівнянні з електродинамічними мікрофонами, та не існує великих проблем з їх розташуванням біля корпусу реле. Для якнайменших спотворень при перетворенні звукових коливань в електричний сигнал, доцільно розташувати мікрофони в середині шумонепроникної чарунки з блоком реле, біля його корпусу, в безпосередній близькості від якоря реле. В якості мікрофону оптимальним за простотою, якістю сигналу та вартістю буде застосування конденсаторного мікрофону наприклад типу МК51.

Велике значення при вимірюваннях і аналізі шумів при роботі реле має правильний вибір часу реєстрації (спостереження). Час реєстрації цих шумів повинен на порядок або більш перевищувати найтриваліші періоди шумового сигналу.

Крім того, шуми різних елементів реле можуть ставитися в широких межах по час-

тоті і по рівню залежно від режиму роботи і виду несправності. Тому для акустичного діагностування і визначення параметрів необхідно застосовувати у комплексі з мікрофоном перетворювачі та пристрої які можуть проводити статистичну обробку сигналів. Наприклад до виходу первинного перетворювача – мікрофону підключається вторинний перетворювач – АЦП та комп'ютер для управління, обробки і запису сигналів, які застосовуються у комплексі [2]. У запропонованому вимірювальному комплексі використовується електростатичний мікрофон, сертифікований АЦП типа LCARD E – 140, зі своїм інтерфейсом, та комп'ютер, що забезпечує високий ступінь точності результатів при мінімальних витратах коштів, часу і мінімальних вимогах до кваліфікації фахівців, що виконують роботу.

Аналіз акустичного шуму реле

Розглянемо один з варіантів контролю працездатності релейної апаратури залізничної автоматики з використанням методу шумової діагностики (ідентифікація шумових сигналів на основі використання моментів щільності розподілу імовірності випадкових шумових сигналів).

На рис. 2 представлені шумова діаграма роботи реле 1 в поєднанні з фактичним рухом якоря 2 після подання струму в обмотку реле НМШ 2-900.

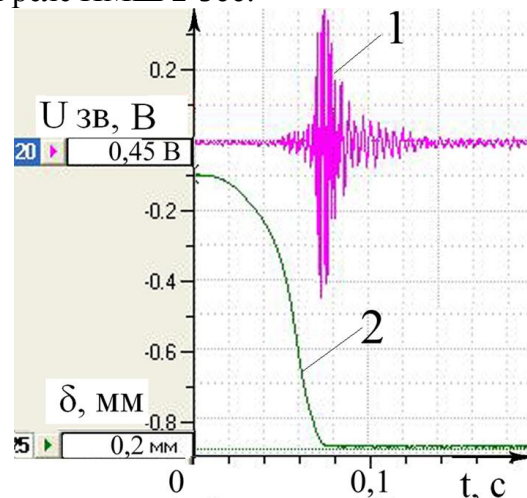


Рис.2. Шумова діаграма 1 та рух якоря реле 2

Початок зростання амплітуди шуму співпадає з зупинкою якоря реле під час його удару о полюсний наконечник реле та може використовуватись для діагностування роботи реле.

На рис. 3 представлені акустичні шумові «портрети» механічних переміщень, що відбуваються під час включення всередині справного блоку реле типу НМШ 2-900 (рис. 3 а), при зносі антимагнітного штифта (рис. 3 б) та при штучно збільшеному антимагнітному штифті (рис. 3 в).

На діаграмі (рис. 3 б) видно, що амплітуда акустичних коливань при спрацьовуванні реле більша (величина *a*). Це обумовлено великим вільним ходом і прискоренням якоря перед ударом зменшеного антимагнітного штифта о полюсний наконечник. Час до максимуму цієї амплітуди від початку включення, також більший (величина *в*). Це обумовлено більшою відстанню, яку проходить якор до удару зменшеного антимагнітного штифта о полюсний наконечник.

На діаграмі (рис. 3 в) видно, що амплітуда акустичних коливань при спрацьовуванні реле менша (величина *a*). Це обумовлено зменшеним вільним ходом і меншим прискоренням якоря перед ударом збільшеного антимагнітного штифта о полюсний наконечник. Час до максимуму цієї амплітуди від початку включення, менший (величина *в*). Це обумовлено меншою відстанню, яку проходить якор до удару збільшеного антимагнітного штифта о полюсний наконечник.

Дослідження проведені з різною висотою антимагнітного штифта показують, що в цих випадках амплітудні показники мають більш характерні розбіжності ніж відповідні часові показники. Це обумовлено збільшенням прискорення якоря перед його ударом о полюсний наконечник, при зменшеній висоті штифта (й навпаки). Швидкість якоря та енергія з якою він ударяється о полюсний наконечник також зростає (або

зменшується), відповідно зростає або зменшується енергія акустичної хвилі, що добре фіксує мікрофон.

Акустичні діаграми роботи реле доповнюють інформацію для визначення характеру несправності реле, отриману при вимірюванні струму і фізичного зазору працюючого реле.

Таким чином, шумові портрети об'єкту, що діагностується, повинні порівнюватися з еталонними записами можливих відхилень. Розбіжність (схожість) можна успішно оцінити за допомогою наведених вище параметричних або імовірнісних критеріїв, а також інших критеріїв та методів, вживаних в математичній статистиці і кластерному аналізі [10].

Розглянемо варіант випадкового процесу виникнення акустичних коливань при зменшеному антимагнітному штифті.

З рис. 3 видно, що випадковий сигнал носить характер імовірності в певному часовому інтервалі.

Представимо опис цього випадкового процесу у вигляді густини розподілу імовірності $f(A, A_0, \sigma)$, де $A > 0$ – випадкова величина представлена десятковим логарифмом відношення $A = 20 \lg \frac{U_1}{U_0}$, де U_0 – опорне значення, а U_1 – отримане значення шуму.

В цьому випадку густина імовірності може бути описана наступною рівністю:

$$f(A, A_0, \sigma) = \begin{cases} 0 & \text{при } A \leq 0 \\ \frac{1}{M \sigma A \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\lg A - \lg A_0)^2}{2\sigma^2}} & \text{при } A > 0, \end{cases} \quad (3)$$

при $A > 0$,

де $M = \frac{1}{\lg e} = 2,303$; A_0 – математичне очікування випадкової величини $A = 20 \lg \frac{U_1}{U_0}$;

σ – середньоквадратичне відхилення випадкової величини A .

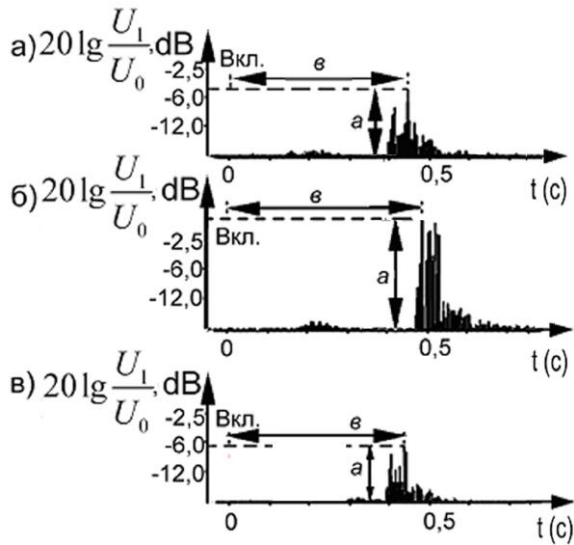


Рис. 3. Акустичні діаграми:
а) справного реле НМШ2-900; б) при зменшеному антимагнітному штифті; в) при збільшеному антимагнітному штифті

Вираз (3) є описом густини розподілу випадкової величини $A = 20 \lg \frac{U_1}{U_0}$ (нормальний логарифмічний розподіл).

Ступінь наближення (3) до нормального закону визначається величиною σ .

Правомірність застосування виразу (3) для опису випадкового процесу (рис. 3 а) може бути підтверджена методами математичної статистики і оцінки ступеня наближення статистичного розподілу випадкової величини до теоретичного розподілу.

Статистична обробка випадкових сигналів, отриманих за допомогою програмного вимірювального комплексу, дозволила визначити щільність імовірності амплітуд шумових сигналів при спрацьовуванні реле НМШ 2-900.

Амплітуди шумового сигналу при зменшеному антимагнітному штифті реле значно більше амплітуд відповідного сигналу нормального реле. Цю обставину можна використовувати для відбору реле для подальшого ремонту і регулювання.

Шумові сигнали носять випадковий характер тому представляють інтерес отримання таких характеристик як щільність імовірності розподілу шумових сигналів.

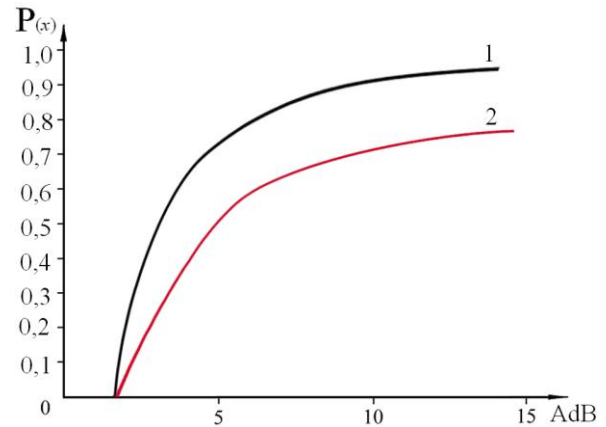


Рис. 4. Функція розподілу імовірності шумових сигналів:
1- несправного реле, 2- справного реле

Використовуючи апарат статистичної оцінки законів розподілу випадкових величин амплітуди A , мають вигляд (рис 4, 5), що узгоджується з логарифмічним нормальним розподілом (рис 6).

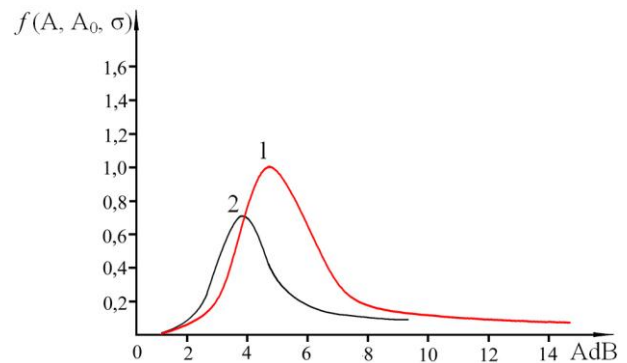


Рис. 5. Щільність розподілу імовірності шумових сигналів:
1- несправного реле, 2- справного реле

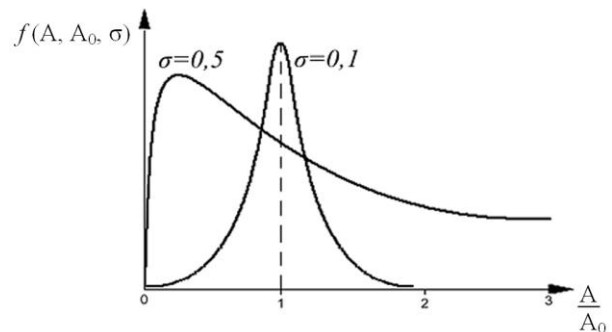


Рис. 6. Щільність розподілу імовірності

При цьому функція розподілу $f(A, A_0, \sigma)$ матиме вигляд

$$f(A, A_0, \sigma) = \begin{cases} 0 & \text{при } A \leq 0; \\ \Phi(U) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^U e^{-\frac{t^2}{2}} dt & \end{cases} \quad (4)$$

при $A > 0$, де $U = \frac{\lg A - \lg A_0}{\sigma}$.

Процедуру відбракування ненадійних реле можна здійснювати за допомогою програмного комплексу шляхом порівняння середніх значень амплітуд шумових сигналів еталонного реле, й того що перевіряється. Якщо середнє значення шумових сигналів реле що перевіряється, більше аналогічної характеристики еталонного реле, то ухвалюється рішення відбракування першого з подальшим аналізом причин відхилення від норми і відповідного регулювання або ремонту.

Так при перевірці реле НМШ2-900 середня амплітуда шумових сигналів еталонного реле: $A_e = 0,47$ dB, а несправного реле – $A = 0,6$ dB, що підтверджує необхідність його регулювання або ремонту. При цьому надійність прийняття рішення складає більш 90%.

При збільшеному антимагнітному штифті характер шумових сигналів також представляє собою імовірний процес (рис.2в). Прийняття рішення про справність реле в цьому випадку може бути здійснене по вище розглянутому критерію – порівняння середніх значень амплітуд шумових сигналів справного і не справного реле.

У практичній роботі по розробці і впровадженню методів акустичної діагностики РЕА може виникнути необхідність розробки системи стандартів для підприємств галузі. В цьому випадку основними будуть три групи стандартів: по методах і засобах акустичної діагностики в широкому плані, а також по конкретних методах або методах діагностування і в окремих випадках галузевий класифікаційний стандарт.

При розробці цих документів слід використовувати основні положення теорії і практики стандартизації в області засобів вимірювання. [11]. На додаток до них при розробці стандартів по акустичній діагнос-

тиці складових частин РЕА можуть використовуватися принципи стандартизації методів і засобів інтегральної діагностики [12].

Висновки

Акустичний контроль електромагнітної апаратури є достатньо надійним способом діагностування електромагнітних реле систем залізничної автоматики.

Для якнайменших спотворень при перетворенні звукових коливань в електричний сигнал, доцільно розташувати мікрофони в середині шумонепроникної чарунки біля корпусу реле, в безпосередній близькості від якоря реле. В якості мікрофонів оптимальними за простотою, якістю сигналу та вартістю є застосування електростатичних мікрофонів.

Для акустичного контролю і визначення розподілу шумових сигналів необхідно застосовувати у комплексі з мікрофонами перетворювачі й комп'ютер з відповідним програмним забезпеченням для управління та статистичної обробки сигналів. У пристрої [2] до виходу первинного перетворювача – мікрофону підключаються вторинний перетворювач – АЦП, типу LCARD E – 140, зі своїм інтерфейсом і комп'ютер для управління, обробки і запису сигналів.

Акустичний канал у цьому комплексі використовується сумісно з оптичним, електричним і електродинамічним каналами діагностики реле і доповнює інформацію про стан об'єкту.

Бібліографічний список

1. Коллакот Р. А. Диагностирование технического оборудования / Пер. с англ. / Р. А. Коллакот. Под ред. Ю. Н. Мясникова. – Л. : Судостроение, 1980. – 281 с.
2. Пат. на винахід 70568 Україна, МПК(2006), G 01B 7/02, G 05 B 23/02. Пристрій для вимірювання переміщення якоря електромагнітного реле / Разгонов А. П., Андрєєвських О. В., Бондаренко Б. М.; заявник і патентовлас-

- ник ДНУЗТ ім. ак. В. Лазаряна. – №20031211242 заявл. 09.12.2003 ; опубл. 25.04.2007. Бюл. №5.
3. Рабинер Л. Теория и применение цифровой обработки сигналов / Л. Рабинер, Б. Гоулд. Пер. с англ. – М. Мир, 1982. – 847 с.
 4. Контроль шума в промышленности / Под ред. Дж. Вебба. Пер. с англ. – Л. Судостроение, 1981. – 312 с.
 5. Ксистрис. Оценка надежности машин по степени усталостного повреждения, накопленного вследствие случайных вибраций. / Ксистрис, Санкар, Остигат // Конструирование и технология машиностроения. – 1978. – № 4. – С. 14 – 21.
 6. Электронная аппаратура: Каталог 1983/1984 г. фирмы «Брюль и Кьер».
 7. Ермолов И. Н. Теория и практика ультразвукового контроля / Ермолов И. Н. – М. : Машиностроение, 1981. – 240 с.
 8. Гик Л. Д. Акустическая голография / Л. Д. Гик. Ред. Н. Н. Пузырев. – Н.-сиб. : Наука, 1981. – 64 с.
 9. Клюкин, П. И. Акустические измерения в судостроении. / П. И. Клюкин, А. Е. Колесников – Л. : Судостроение, 1966. – 404 с.
 10. Классификация и кластер / Под ред. Дж. Вэн Райзин, Пер. с англ./ Под ред. Ю. И. Журавлева. – М. : Мир, 1980. – 388 с.
 11. Бойцов, В. В. Роль метрологии в решении народнохозяйственных задач. / Бойцов В. В. // Измерительная техника. – 1978. – № 8. – С. 3–5.
 12. Дубицкий, Л. Г. Принципы стандартизации методов и средств интегральной диагностики. / Л. Г. Дубицкий, Сретенский В. Н., Р. И Козлов. // Электронная техника. Сер. 8. Управление качеством, метрология, стандартизация. – 1980. – вып. 7 (85).
- Ключові слова:** електромагнітне реле, діагностування реле, підвищення безпеки руху залізничного транспорту.
- Ключевые слова:** электромагнитное реле, диагностика реле, повышение безопасности движения железнодорожного транспорта.
- Keywords:** electromagnetic relay, relay diagnostics, increase of railway traffic safety.
- Надійшла до редколегії 20.02.2013