

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України  
Вінницький національний технічний університет

**Б. І. Мокін, С. О. Жуков**

**МІКРОПРОЦЕСОРНІ ПРИСТРОЇ  
ДЛЯ ТЕХНІЧНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ ТЯГОВИХ  
ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ  
В ПРОЦЕСІ ЇХ НОРМАЛЬНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ**

Монографія

Вінниця

ВНТУ

2011

УДК 681.518.54:621.33

ББК 30.82:31.261.2

М74

Рекомендовано до видання Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 10 від 27.05.2010 р.).

Рецензенти:

**О. П. Чорний**, д. т. н., професор

**В. Ю. Кучерук** д. т. н., професор

**Мокін, Б. І.**

М74 Мікропроцесорні пристрої для технічного діагностування тягових електродвигунів постійного струму в процесі їх нормальної експлуатації : монографія / Б. І. Мокін, С. О. Жуков. – Вінниця : ВНТУ, 2011. – 116 с.

ISBN 978-966-641-403-1

В монографії представлені розроблені авторами математичні моделі для вдосконалення методів технічного діагностування тягових електродвигунів постійного струму та синтезовані на їхній основі мікропроцесорні пристрої для технічного діагностування тягових електродвигунів в процесі їх нормальної експлуатації.

Робота розрахована на інженерно-технічних працівників трамвайно-тролейбусних управлінь, а також може бути корисною студентам та аспірантам вузів, які спеціалізуються в галузі математичного моделювання та технічного діагностування міського електротранспорту.

УДК 656(1-21):681.5

ББК 30.82:31.261.2

ISBN 978-966-641-403-1

© Б. Мокін, С. Жуков, 2011

## ЗМІСТ

<b>Вступ</b> .....	6
<b>Розділ 1 Аналіз наукових розробок з питань оцінювання стану тягових електродвигунів постійного струму</b> .....	9
1.1. Обґрунтування актуальності дослідження .....	8
1.2. Аналіз робіт з діагностування технічного стану колектора тягового електричного двигуна постійного струму .....	13
1.3. Аналіз робіт з діагностування технічного стану підшипникового вузла тягового електричного двигуна постійного струму .....	15
1.4. Аналіз робіт з діагностування якості змазки підшипникового вузла тягового електричного двигуна постійного струму .....	19
1.5. Висновки та постановка задач дослідження .....	21
<b>Розділ 2 Математична модель та структура пристрою для оцінювання технічного стану колектора тягового електричного двигуна</b> .....	23
2.1. Вихідні передумови та постановка задачі дослідження .....	23
2.2. Математична модель для оцінювання технічного стану колектора тягового електричного двигуна .....	24
2.3. Синтез структури пристрою для оцінювання технічного стану колектора тягового електричного двигуна .....	26
2.4. Практична реалізація синтезованої структури .....	34

2.5. Мікропроцесорна реалізація пристрою для оцінювання стану колектора тягового електричного двигуна .....	37
2.6. Висновки .....	40
<b>Розділ 3 Математична модель та структура пристрою для оцінювання стану підшипникового вузла тягового електричного двигуна за рівнем вібрацій .....</b>	<b>41</b>
3.1. Вихідні передумови та постановка задачі дослідження .....	41
3.2. Математична модель для оцінювання технічного стану підшипникового вузла тягового електричного двигуна за рівнем вібрацій .....	42
3.3. Синтез структури пристрою для оцінювання технічного стану підшипникового вузла тягового електричного двигуна за рівнем вібрацій.....	44
3.4. Практична реалізація синтезованої структури.....	50
3.5. Мікропроцесорна реалізація пристрою для оцінювання технічного стану підшипникового вузла тягового електричного двигуна за рівнем вібрацій .....	54
3.6. Висновки .....	57
<b>Розділ 4 Математична модель та структура пристрою для визначення якості змазки в підшипниковому вузлі тягового електричного двигуна .....</b>	<b>58</b>
4.1. Вихідні передумови та постановка задачі дослідження .....	58

4.2. Математична модель для оцінювання якості змазки в підшипниковому вузлі тягового електричного двигуна .....	59
4.3. Синтез структури пристрою для оцінювання якості змазки підшипникового вузла тягового електродвигуна за рівнем температури .....	62
4.4. Практична реалізація синтезованої структури.....	70
4.5. Мікропроцесорна реалізація пристрою для оцінювання якості змазки в підшипниковому вузлі тягового електричного двигуна .....	73
4.6. Висновки .....	76
<b>Розділ 5_Комплексування запропонованих мікропроцесорних пристроїв у мікропроцесорну систему діагностування електропривода постійного струму в процесі його нормальної експлуатації .....</b>	<b>77</b>
5.1. Комплексування запропонованих мікропроцесорних пристроїв в систему діагностування тягового електропривода постійного струму .....	77
5.2. Метод оцінки адекватності секвенціального опису мікропроцесорних систем діагностування.....	82
5.3. Оцінювання помилок першого і другого роду при визначенні інформативних параметрів, використаних в мікропроцесорних пристроях діагностування.....	89
5.4 Висновки .....	94
<b>Висновки .....</b>	<b>95</b>
<b>Додаток А Оцінка помилок першого і другого роду .....</b>	<b>96</b>
<b>Література.....</b>	<b>101</b>

## ВСТУП

Ситуація, яка склалася на сьогоднішній день в галузі електротранспорту, викликає занепокоєння. Повне оновлення електротехнічного обладнання в цій галузі не відбувалося ще з радянських часів і вимагає, наразі, значних капіталовкладень. Сам електротранспорт відіграє дуже важливу роль в нашому суспільстві. Щодня мільйони людей користуються різними видами електротранспорту. В таких умовах виникає необхідність максимально використовувати робочий ресурс електротехнічного обладнання, що знаходиться в експлуатації, та з максимальною ефективністю попереджувати аварійні ситуації, які можуть виникати в результаті раптового виходу з ладу окремих елементів обладнання.

На сьогоднішній день трамвайний парк багатьох міст України складається переважним чином з вагонів, у яких уже давно вичерпався термін експлуатації. А подальша експлуатація електрообладнання понад нормативний строк може призводити до непередбачуваного виходу з ладу з аварійними наслідками.

З метою запобігання аварійних ситуацій застосовуються різні методи і засоби діагностування обладнання і своєчасного виявлення небезпечних дефектів. Але сьогодні діагностуванням трамваїв займаються лише в міських трамвайних депо, при цьому використовуються застарілі методи та засоби діагностування, які були створені ще багато років тому, і які не завжди дозволяють виявити небезпечні дефекти та якісно оцінити функціональний стан обладнання трамвая, особливо в процесі його нормальної експлуатації. Електропривод, як одна із найважливіших ланок електрообладнання трамвая, потребує розробки нових засобів діагностування і оцінювання стану з використанням сучасної елементної бази у першу чергу. При розробці таких засобів, слід врахувати і те, що найбільшу ефективність будуть мати такі засоби, які діагностування та оцінювання стану об'єкта проводитимуть на основі кількох інформативних параметрів і в темпі процесу, а також дозволятимуть це здійснювати під час роботи об'єкта, тобто будуть мобільними. А цього можна досягти, лише застосувавши мікропроцесорну техніку.

Таким чином, створення мікропроцесорних засобів контролю за технічним станом електропривода трамвая в процесі його експлуатації, які могли б забезпечувати високу якість оцінки ресурсу і прогнозування аварійного стану обладнання на протязі усього терміну його експлуатації на об'єкті, є задачею актуальною як в науковому плані, так і в плані підвищення ефективності транспортного обслуговування населення.

У книзі описана розробка мікропроцесорної системи діагностування тягового електропривода постійного струму в процесі його нормальної експлуатації, яка дозволяє, на відміну від існуючих, одночасно оцінювати рівень вібрацій та якість змазки в підшипниках тягового електродвигуна і технічний стан його колектора. Запропоновано новий метод оцінки адекватності секвенціального опису мікропроцесорних систем діагностування, призначений для тестування правильності побудови секвенціальної моделі на основі оригінального підходу до формалізації з застосуванням стандартних програмних середовищ.

Практична цінність одержаних результатів полягає в тому, що запропоновані мікропроцесорні пристрої діагностування тягових електродвигунів постійного струму підвищують ефективність експлуатації електротранспорту за рахунок прогнозованого виявлення несправностей ще до їх виникнення і, як наслідок, попередження аварійних ситуацій та зменшення кількості зупинок вагонів на маршрутах. Метод оцінки адекватності секвенціального опису мікропроцесорних систем діагностування дозволяє уникати помилок при розробці секвенціальної моделі на етапі синтезу цих систем.

Пристрої діагностування розроблені для умов роботи трамваїв у КП «Вінницьке трамвайно-тролейбусне управління», але легко адаптуються і до умов роботи трамваїв в ТТУ інших міст України.

Книга містить п'ять розділів.

У першому розділі проведено аналіз сучасного стану з питань діагностування транспортних електроприводів постійного струму. Особливо увага приділена аналізу існуючих методів і засобів діагностування технічного стану колектора тягового двигуна постійного струму, методів і засобів діагностування технічного стану підшипників та мето-

дів і засобів визначення якості змазки в підшипниковому вузлі. Обумовлена необхідність пошуку нових рішень в цій області.

В другому розділі запропоновано математичну модель та синтезовано структуру пристрою для оцінювання технічного стану колектора тягового електричного двигуна постійного струму в процесі його нормальної експлуатації. Розроблено структуру пристрою та алгоритм, а також функціональну схему його мікропроцесорної реалізації.

В третьому розділі запропоновано математичну модель та структуру пристрою для оцінювання стану підшипникового вузла тягового електричного двигуна постійного струму за рівнем вібрацій. Розроблено структуру пристрою та алгоритм, а також функціональну схему його мікропроцесорної реалізації.

В четвертому розділі запропоновано алгоритм побудови математичної моделі та синтезовано структуру пристрою для оцінювання якості змазки в підшипниковому вузлі тягового електричного двигуна постійного струму. Розроблено структуру пристрою та алгоритм, а також функціональну схему його мікропроцесорної реалізації.

У п'ятому розділі описано комплексування запропонованих пристроїв для діагностування окремих параметрів тягових електродвигунів постійного струму. Розроблено структуру та алгоритм роботи цієї комплексної мікропроцесорної системи. Запропоновано новий підхід до оцінювання адекватності секвенціального опису мікропроцесорної системи діагностування. Запропоновано алгоритм оцінювання помилок першого і другого роду запропонованих мікропроцесорних пристроїв на прикладі одного із інформативних параметрів.

Текст книги написаний С. О. Жуковим з використанням частини матеріалів його кандидатської дисертації, постановка задачі в якій і керівництво дослідженнями здійснювалось професором Б. І. Мокіним. Б.І. Мокіним здійснено і загальне редагування книги.

Відгуки, зауваження і побажання просимо надсилати за адресою:  
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, Видавництво ВНТУ.

## РОЗДІЛ 1

# АНАЛІЗ НАУКОВИХ РОЗРОБОК З ПИТАНЬ ОЦІНЮВАННЯ СТАНУ ТЯГОВИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

### 1.1. Обґрунтування актуальності дослідження

Нині стан справ з діагностуванням тягових електроприводів постійного струму на транспорті в режимі їх нормальної експлуатації вимагає суттєвого покращення.

В подальшому будемо виходити з того, що метою технічного діагностування є встановлення та вивчення параметрів, які характеризують стан технічних систем для прогнозування можливих відхилень, в тому числі за допустимі межі, внаслідок чого виникають аварійні ситуації та відмови обладнання, а також розробка методів та засобів експериментального визначення стану цих систем з метою своєчасного попередження порушень нормального режиму роботи. Методи технічного діагностування застосовують для раціональної організації процесів контролю роботоспроможності обладнання, пошуку та прогнозування несправностей [1].

В експлуатаційних умовах більша частина несправностей виявляється тільки тоді, коли вони проявляються явно або значно. Несправності, які ведуть до незначного збільшення затрат електроенергії на рух, зносу базових та змінних деталей, можуть бути не помічені водіями чи ремонтним персоналом. Для виявлення несправностей на різних стадіях, запобігання дефектів та відмов в експлуатаційних умовах, прогнозування часу виконання відповідних ремонтних операцій та профілактичного обслуговування необхідний контроль технічного стану вузлів, агрегатів та апаратів засобами технічного діагностування.

При розробці методів діагностування електричних машин важливою і порівняно складною задачею є визначення оптимального набору діагностичних параметрів, які використовуються при діагностуванні і характеризують технічний стан об'єкта, що контролюється [2–4].

Діагностичні параметри можуть бути загальними (інтегральними), конкретними та взаємозалежними. Загальні, або інтегральні, діагнос-

тичні параметри характеризують технічний стан об'єкта в цілому. До інтегральних параметрів можна віднести потужність двигуна, загальний рівень шуму двигуна тощо. Конкретні діагностичні параметри незалежно один від одного вказують на цілком конкретні несправності досліджуваного об'єкта.

Взаємозалежні діагностичні параметри вірно характеризують несправність тільки при взаємному порівнянні в фіксованому режимі роботи. Зазвичай, значення діагностичних параметрів вимірюються безпосередньо на об'єкті діагностування. Однак в деяких випадках використовують непрямі методи, тобто шукані значення параметрів визначають шляхом обробки значень інших параметрів, пов'язаних з діагностичними відомими функціональними залежностями [1].

Оскільки зміни технічного стану неминучі, то вузли, агрегати і апарати рухомого вагона необхідно постійно контролювати, що викликає необхідність впровадження на підприємствах міського електротранспорту (МЕТ) засобів технічного діагностування. Метою технічного діагностування будь-якого електрообладнання є забезпечення економічної його експлуатації при забезпеченні потрібної надійності і зменшенні до мінімуму витрат на технічне обслуговування та ремонт [5]. Цієї мети можна досягти, відслідковуючи технічний стан електрообладнання в процесі експлуатації.

Електричний двигун є головним елементом тягового ЕП трамвая і дуже коштовною та трудомісткою при ремонті частиною електричного обладнання. Статистика показує, що він дуже часто виходить з ладу, а це призводить до зупинки не тільки одного вагона, але припиняється рух по колії взагалі, допоки поламаний трамвай не буде відбуксовано іншим у депо. Це обумовлює необхідність здійснювати діагностування технічного стану тягового двигуна трамвая.

На практиці застосовують різні методи і засоби для діагностування електричних двигунів. Однак необхідно відзначити, що і по сьогодні не існує універсального методу, який дозволив би врахувати всі фактори, під дією яких зменшується термін роботи електричного двигуна.

Як відомо, вразливішою частиною електричної машини постійного струму є її колектор. За статистикою саме через пошкодження або

вихід із ладу колектора відбувається найбільша кількість відмов електричного двигуна, усунення яких в більшості випадків потребує проведення капітального ремонту електричної машини. Основною причиною виходу колектора з ладу є його механічний знос, який буде збільшуватись при перевищенні допустимих струмів та температур [2–4].

Також одним із слабких місць у тяговому електроприводі трамвая є підшипниковий вузол. Вірний діагноз підшипникового вузла в багатьох випадках визначає спроможність працювати усього механізму [6].

Більшість транспортних електроприводів постійного струму складаються з кількох тягових електродвигунів. Наприклад, тяговий електропривод трамваїв типу КТ4SU, що використовуються у місті Вінниця, складається з двох пар тягових електричних двигунів постійного струму послідовного збудження. Кожна пара електродвигунів живиться постійним струмом від контактного проводу напругою 600 В. З'єднані пари двигунів послідовно один з одним і кожен з них працює на окрему колісну пару. В зв'язку з цим, доцільною була б розробка комплексної системи технічного діагностування, яка б контролювала стани найслабкіших ланок усіх електричних двигунів, що входять до складу тягового електропривода [7].

Одним із ефективних способів забезпечення якісної експлуатації електрообладнання є діагностика його стану в процесі нормального режиму роботи. Для виявлення та аналізу тих чи інших несправностей основних вузлів та елементів електрообладнання, як правило, здійснюється спостереження за відхиленням вимірюваних параметрів та інших характеристик цього обладнання.

У тих випадках, коли безпосередній контроль не можливий, застосовуються методи, які полягають у моделюванні процесів у тому числі з використанням кореляційних зв'язків між тими параметрами, що контролюються і тими, що ні.

Призначена для діагностування апаратура складається з пристроїв для вимірювання контролюючого параметра і власне пристроїв діагностування, які перетворюють інформацію, отриману від вимірювальних пристроїв, у відповідності до заданого алгоритму.

Сучасний рівень розвитку засобів вимірювання та обчислювальної техніки відкриває нові шляхи підвищення ефективності використання електрообладнання, одним з яких є використання оперативної технічної діагностики.

З позицій отримання та використання діагностичної інформації принципово важливо розділити загальний комплекс діагностики стану електрообладнання на задачі оперативної і, так званої, ремонтної діагностики. Ремонтна діагностика здійснюється на зупиненому обладнанні в процесі його ревізій та ремонтів. На відміну від цього оперативна діагностика здійснюється на працюючому обладнанні з використанням методів функціональної діагностики. [8]

У роботах [8, 9] автори наголошують на тому, що комплексний характер діагностичного контролю створює можливість для отримання інтегральних оцінок стану обладнання. Це в свою чергу повинно надати можливість використовувати діагностичну інформацію не тільки для оперативного керування обладнанням та аналізу умов його роботи, а й для більш обґрунтованого планування ремонтного обслуговування з урахуванням поточного стану обладнання.

Автори звертають увагу на те, що основними задачами діагностування залишаються: підвищення надійності обладнання шляхом підвищення якості його експлуатації завдяки розвитку та удосконаленню діагностичного контролю; запобігання, по можливості, розвитку аварійних ситуацій шляхом виявлення дефектів на різних стадіях їх розвитку та удосконалення системи планово-попереджувальних ремонтів з урахуванням фактичного стану та умов експлуатації обладнання.

На сьогоднішній день актуальною є проблема капітально-відновлювального ремонту з продовженням строку служби електротранспорту. Одним із важливих напрямків модернізації є застосування різних систем діагностування та моніторингу технічного стану та параметрів експлуатації електротранспорту [10].

Для розв'язання задачі діагностування тягових електроприводів доцільним є застосування сучасних засобів мікропроцесорної техніки.

## **1.2. Аналіз робіт з діагностування технічного стану колектора тягового електричного двигуна постійного струму**

У роботі тягових електродвигунів трамваїв процес комутації відіграє досить важливу роль.

Комутацією в машинах постійного струму, як відомо [11], називається процес зміни струму в секціях якірної обмотки в момент переходу з однієї паралельної гілки обмотки в іншу. Принцип комутаційних явищ у тягових електродвигунах такий же, як і в стаціонарних установках, однак специфічні умови їхньої роботи значно погіршують загальні умови комутації і сприяють виникненню іскріння під щітками та між колекторними пластинами.

При обертанні якоря щітки роблять безперервне переключення колекторних пластин та пов'язаних з ними секцій. Якщо щільність струму, тобто струм, що приходиться на одиницю поверхні зіткнення щітки з колектором, у якому-небудь місці цієї поверхні стає занадто великою, матеріал щітки розжарюється і з'являються маленькі дугові розряди, які ми спостерігаємо у вигляді іскріння під щіткою. Іскріння поступово руйнує щітки та поверхню колектора. В залежності від сили іскріння руйнування колектора або щітки йде швидше або повільніше. При дуже сильному іскрінні вольтова дуга витягується колектором з-під щітки і перекидається на щітки іншої полярності. Машина і мережа виявляються при цьому замкнутими через вольтову дугу накоротко. Це явище, яке носить назву «колового вогню», руйнує електричну машину. Найнадійнішими в експлуатації є машини, що мають безіскрову комутацію, тобто комутацію без помітного іскріння або з дуже слабким, допустимим іскрінням [12].

На рівні міських трамвайних депо діагностування технічного стану тягового електропривода, у тому числі колектора тягового електродвигуна, не відбувається взагалі, оскільки на сьогоднішній день усі трамвайні депо працюють за системою планово-попереджувального ремонту (ППР), яка передбачає періодичне проведення технічного обслуговування і ремонтів через визначені, заздалегідь встановлені терміни. Планово-попереджувальний ремонт колектора тягового двигуна трамвая починається з візуального огляду стану колектора, потім, при

необхідності, здійснюється шліфування поверхні колектора, проточка канавок між ламелями та балансування. Але така система є зовсім не оптимальною, оскільки проведення планових ремонтів відбувається без попереднього визначення технічного стану об'єкта ремонту. Відповідно, знімається з маршруту вагон на декілька днів, ремонтний персонал в цей час здійснює великий обсяг робіт, пов'язаних з розбиранням вузлів для оцінювання їх технічного стану. Досить часто після цього виявляється, що не було потреби в ремонті і технічний стан вузла задовільний. Можлива і інша ситуація, яка ще гірша за своїми наслідками – вихід з ладу вузла електропривода в період між планово-попереджувальними ремонтами, тобто під час роботи вагона на маршруті. А це призводить до того, що на певний час паралізується рух транспорту на цьому напрямку і знімаються одночасно два вагони з маршруту (той, що вийшов з ладу і той, який його дотягне до депо). Більше того, ремонт обладнання після аварійної ситуації, як правило, значно дорожче обходиться, ніж профілактичний.

Для того, щоб перейти до оптимальної стратегії експлуатації та ремонту колекторів тягових двигунів, необхідно використовувати методи та засоби оцінювання технічного стану об'єкта. При цьому визначати параметри та оцінювати стан об'єкта необхідно на всіх етапах його виготовлення (відновлення, модернізації) та експлуатації [13].

У роботі [10] автори пропонують використовувати уніфіковану систему для діагностування та моніторингу стану електровозів, яка складається з блоків індикації, блоку обробки сигналів, аналогових датчиків, комплекту датчиків струму і напруги та енергонезалежного реєстратора. Головним недоліком системи є те, що вона дозволяє контролювати стан тільки релейно-контакторної апаратури, а також такі параметри роботи тягового електропривода, як струм і напруга.

У роботах [14, 15] автори пропонують використовувати метод оцінювання величини іскріння на колекторі електродвигуна за допомогою розрядної щітки, який дозволяє здійснювати моніторинг щіточно-колекторного вузла.

Але автори уточнюють, що найбільш зручно застосовувати цей метод тоді, коли щітка має розрізну конструкцію, інакше потрібно вносити зміни в конструкцію колекторно-щіточного вузла. Автори та-

кож звертають увагу на те, що за результатами моніторингу стану колекторно-щіткового вузла напрацьовану базу даних в процесі експлуатації можна використовувати як один із елементів системи діагностування та прогнозування ресурсу роботи тягових електродвигунів.

Відомо багато методів, засобів та пристроїв, які дозволяють покращити комутацію, визначити характер та інтенсивність іскріння на будь-якій колекторній пластині або групі пластин [16–31], але, поперше, їх реалізація також потребує внесення значних конструктивних змін у колекторно-щітковий вузол, а по-друге, вони не орієнтовані на інтеграцію у більш складну систему діагностування і в більшості випадків не можуть бути використані на працюючому обладнанні.

Автори робіт [32, 33] звертають увагу на доцільність як у технічному, так і в економічному аспекті використовувати сучасні засоби цифрової техніки, в тому числі мікропроцесорної техніки для реалізації засобів діагностування та моніторингу стану електрообладнання.

В роботах [34–36] автори пропонують використовувати системи діагностування якості комутацій на основі безконтактних датчиків-антен для реєстрації радіосигналів, які супроводжують комутаційне іскріння. Але залишаються поза увагою вибір корисного частотного спектра сигналів, що реєструються, способи фільтрації корисного сигналу та методи ефективної обробки отриманої інформації.

### **1.3. Аналіз робіт з діагностування технічного стану підшипникового вузла тягового електричного двигуна постійного струму**

В електричних двигунах малої та середньої потужності, що працюють на відносно великих швидкостях, одне з найслабкіших місць – підшипниковий вузол.

Вірний діагноз стану підшипникового вузла в багатьох випадках визначає спроможність працювати усього механізму. Відомо, що кожен вузол електричної машини має свій закон утворення вібрацій, тому при виборі або розробці моделей вібрацій слід враховувати певні особливості роботи тих вузлів, що діагностуються [37].

У роботах [38, 39] звертається увага на те, що зібраний підшипниковий вузол можна контролювати тільки методом безрозбірної діагно-

стики. Тому вбачається доцільним використання для оцінювання стану підшипникового вузла тягового двигуна трамвая методу вібродіагностики. Це спростить процедуру пошуку дефектів та дозволить виявляти їх на ранніх стадіях, що в свою чергу дозволить попереджувати виникнення аварійних ситуацій.

У роботах [40–43] описані методи та засоби діагностики стану підшипників, основані на побудові та аналізі частотного спектру вібрацій. Проте залишаються труднощі, пов'язані з вибором необхідної кількості спектральних складових.

В роботах [44–48] автори стверджують, що основні дефекти, поява яких супроводжується високим рівнем вібрацій (дисбаланси, розцентровки, вироблення корпусних деталей тощо), пов'язані з частотою обертання ротора і кратними їй гармонічними складовими. Але до цих пір ще немає однозначної методики діагностування та конкретних ознак розділення цих дефектів, оскільки усі вони базуються на визначенні змін першої роторної гармоніки.

У багатьох розробках [49–56] приділена увага діагностуванню технічного стану підшипників в стаціонарних умовах за допомогою різноманітних стендових установок. Вони дозволяють достатньо точно визначати стан досліджуваного підшипника шляхом порівняння його експлуатаційних характеристик з характеристиками еталонного підшипника. Але усі ці методи потребують великих як матеріальних так і фізичних затрат, оскільки вимагають розбирання підшипникового вузла, а отже виведення з роботи усього вагона електротранспорту.

В роботах [57, 58] запропоновано метод та пристрій прогнозування ресурсу підшипників двигуна, який враховує такі експлуатаційні параметри як величина несоосності підшипників, величина зазору в підшипниках, температура та тиск змазки в підшипнику.

В роботі [59] автори також пропонують вимірювати тиск змазки в підшипнику і враховувати цей параметр при визначенні величини зносу підшипника. В усіх випадках потрібно мати справу з конструктивною модернізацією підшипникового вузла, що призводить до великих економічних затрат.

В роботі [60] автори пропонують спосіб діагностики стану підшипників, де в якості основних параметрів пропонується використовувати

ти середньоквадратичне та амплітудне значення амплітуди вібрацій. Практичну реалізацію автори не пропонують.

В роботах [61, 62] автори пропонують для більш точного оцінювання технічного стану підшипника використовувати чотири вібродатчики, що розташовані у взаємно перпендикулярних радіальних напрямках. Але практична реалізація запропонованого методу зводиться до створення діагностичного стенду.

У багатьох роботах [63–70] описуються розробки пристроїв, які здійснюють автоматичне сортування підшипників за їх технічним станом та придатності до подальшої експлуатації, контролюють якість виготовлення підшипників. Усі ці пристрої в якості основного діагностичного параметра використовують амплітуди вібрацій або складові спектри вібрацій. Але такі пристрої доречніші для використання на підприємствах, які масово виготовляють підшипники.

У своїй роботі [41] автори акцентують увагу на те, що найбільшої ефективності при діагностуванні стану підшипника досягають ті засоби, які можна використовувати на працюючому обладнанні.

В роботі [71–74] автори пропонують контролювати технічний стан підшипників, реєструючи сумарну тривалість металічних контактів за певний час між внутрішньою обоймою підшипника, тілами кочення та зовнішньою обоймою підшипника. Суть методу полягає в підключенні підшипника в електричне коло та реєстрації тривалості імпульсів струму, що протікає через підшипник, коли утворюються розриви масляної плівки і відбувається металічний контакт, тобто замикання електричного контуру.

За схожим принципом працює пристрій, запропонований в роботі [75]. Але в ньому в якості електричного параметра використовують мікророзряди, які виникають у масляній плівці підшипника під дією магнітного поля електричної машини. За інтенсивністю цих мікророзрядів визначають стан підшипника. Нажаль, такі методи можна використовувати тільки при стендових випробовуваннях підшипників.

Ще один спосіб оцінювання технічного стану підшипників, запропонований в роботах [76, 77], полягає у вимірюванні моменту опору обертання підшипника. Недоліком цього способу оцінювання стану підшипника є необхідність проведення двох дослідів з введенням до-

даткових коливань під час роботи підшипника. Це унеможлиблює використання цього методу на працюючому обладнанні.

Схожий спосіб діагностування підшипників запропоновано в роботі [78], проте тут автори пропонують з метою підвищення якості діагностування вимірювати миттєве значення центрованого моменту при прямому та зворотному обертаннях.

В роботі [79] запропоновано спосіб діагностики підшипників, який базується на аналізі амплітудного спектра підшипника, що обертається, збуджуючи в підшипнику ультразвукові коливання. В умовах працюючого обладнання, коли вагон електротранспорту знаходиться на маршруті, запропонований метод буде давати низьку якість діагностування, обумовлену наявністю великої кількості завад.

В роботі [80] запропоновано спосіб вібраційного контролю підшипників, суть якого полягає у вимірюванні вібрацій кільця підшипника, що не обертається при частоті, яка обумовлена дефектом підшипника. Таким чином, запевняють автори, шляхом врахування взаємного впливу дефектів поверхонь підвищується якість контролю.

Автори робіт [81, 82] радять в якості діагностичного параметра при моніторингу стану підшипника використовувати величину монтажного зазору, як найважливішого показника стану підшипника.

В роботі [83] автори пропонують спосіб діагностування підшипників, що оснований на вимірюванні кута обертання підшипника за допомогою вимірювальних датчиків з високою точністю вимірювань. При вимірюванні кутів обертання їх значення фіксують з постійним часовим кроком і при постійній швидкості обертання та за змінами кутів обертання в межах кроку визначають дефекти підшипника. Складність застосування запропонованого способу полягає в необхідності використання високоточних датчиків вимірювання кута обертання, оскільки за один оберт підшипника необхідно здійснити не менш ніж 400 вимірів.

У досить великій кількості робіт [45,84–89] описано розробки методів і засобів діагностування технічного стану підшипника, які базуються на вимірюванні амплітуди вібрацій в певному частотному спектрі. В роботі [90] навіть запропоновано спосіб одночасного контролю декількох підшипникових вузлів. Проте в більшості цих робіт розроб-

лені схеми пристроїв побудовані на застарілій елементній базі. Тому і виникає необхідність використання сучасної цифрової техніки при розробці пристроїв діагностування.

Автори роботи [80] погоджуються, що необхідно розробити простий та ефективний спосіб діагностування, який би дозволив за невеликих економічних затрат створити системи діагностування стану підшипників, що дозволили б відмовитись від неефективної системи планово-попереджувальних ремонтів.

В роботі [91] автори пропонують досить простий спосіб діагностування підшипників. Вимірюється час знаходження сигналу, пропорційного вібрації, від половини значення амплітуди до максимуму та від нуля до половини значення амплітуди. По співвідношенню виміряних величин роблять висновок про стан підшипникового вузла.

В роботі [92] автори аргументують необхідність аналізувати декілька інформаційних частот, що приводить до підвищення якості діагностування, оскільки з'являється можливість виявляти дефекти різного роду та враховувати зміни швидкості обертання підшипника. А в роботі [93] автори доводять, що величина дефекту підшипника пропорційна квадрату амплітуди вібрації на інформаційних частотах.

В багатьох роботах [94–97] авторами показано способи аналітичного аналізу вібраційних процесів за допомогою перетворень Фур'є. Визначені основні інформативні параметри та запропоновані методики точного оцінювання характеру вібраційного процесу за цими параметрами.

#### **1.4. Аналіз робіт з діагностування якості змазки підшипникового вузла тягового електричного двигуна постійного струму**

В роботах [40, 98, 99] звертається увага на те, що робота підшипника в значній мірі залежить від якості змазки в ньому. Недостатня кількість змазки в підшипнику або незадовільний її стан, обумовлений наявністю в змазці пилу, бруду, різноманітних домішок, приводить до появи розривів у масляній плівці під час роботи підшипника.

Наявність таких розривів призводить до появи металічних контактів між елементами підшипника, що, в свою чергу, поступово веде до

руйнування підшипника. І якщо вчасно не виявити цю проблему, підшипник або розвалюється, або заклинює. Зрозуміло, що обидва варіанти призводять до аварійної ситуації, можливого руйнування інших рухомих елементів електропривода, що призведе до необхідності проводити коштовний ремонт пошкодженого обладнання, а зупинка вагона на маршруті призведе до затору в певному напрямку руху.

В роботі [40] запропоновано спосіб визначення кількості змазки в підшипниковому вузлі. Стан змазки в підшипнику визначають шляхом порівняння з пороговим значенням кута відхилення шийки вала в підшипнику, який розраховується за формулою

$$\varphi = \arccos\left(1 - \frac{2mgB}{I\Omega_0^2}\right), \quad (1.1)$$

де  $\varphi$  – кут відхилення шийки вала в підшипнику;  $I, m$  – момент інерції та маса вала підшипникового вузла;  $\Omega_0$  – частота згинаючої частоти вала;  $B$  – амплітуда вимірної гармонічної складової;  $g$  – прискорення сили тяжіння.

**На жаль** до практичної реалізації в сучасній елементній базі справа не дійшла. А це, як видно з формули, потребуватиме значних технічних та економічних затрат.

Відомі пристрої [100–104], призначені для вимірювання товщини шару змазки в підшипнику. Але необхідність внесення суттєвих конструктивних змін у структуру підшипникового вузла робить використання цих пристроїв не доцільним з точки зору затрат на їх інсталяцію у вагони електротранспорту.

Автори роботи [105] навіть розробили датчик товщини змащувального шару підшипника, який дозволяє здійснювати безперервне вимірювання, але складність пристрою та його значна собівартість робить доцільним використання приладу лише в лабораторних умовах.

Відомо багато складних установок [106, 107], які призначені для визначення різноманітних параметрів змазки у підшипнику, але специфіка їх будови робить актуальним їх використання лише в шарико-підшипниковій промисловості.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Соколов М. М. Диагностирование вагонов / М. М. Соколов – М. : Транспорт, 1990 – 197 с.
2. Коган Л. Я. Эксплуатация и ремонт трамваев и троллейбусов / Л. Я. Коган – М. : Транспорт, 1979. – 272 с.
3. Ефремов И. С. Технические средства городского электрического транспорта: Учеб. пособие для студ. вузов спец. «Гор. электрич. Транспорт» / И. С. Ефремов, В. М. Кобозев, В. В. Шевченко – М. : Высш. шк., 1985. – 448 с.
4. Веклич В. Д. Диагностирование технического состояния троллейбусов. В. Д. Веклич – М. : Транспорт, 1990. – 295 с.
5. ГОСТ 20911–89. Техническая диагностика. Термины и определения. – Взамен ГОСТ 20911–75; Введ. 01.01.91. – М. : Изд–во стандартов, 1990. – 13 с.
6. Марченко Б. Г. Вибродиагностика подшипниковых узлов электрических машин / Б. Г. Марченко, М. В. Мыслович, АН Украины. Ин-т эл. машин. – К. : Наук. Думка, 1992. – 195 с.
7. Техническое описание трамвайного вагона типа КТ4SU. – Praha: SKD PRAHA, 1988.
8. Шелепов И. Г. Контроль и диагностика состояния энергооборудования электростанций / И. Г. Шелепов // Энергетика и электрификация. – 2001. – № 12. – С. 40–43.
9. Артюх С. Ф. Автоматизированные системы управления технологическими процессами в энергетике / С. Ф. Артюх, М. А. Дуэль, И. Г. Шелепов – Харьков, ЧП «КиК». – 2001. – 416 с.
10. Ивахненко Д. Унифицированные средства отображения и регистрации для диагностики электровозов / Д. Ивахненко, И. Бадьян, Д. Подуст // Современные технологии автоматизации. – 2004. – № 4. – С. 36–39.
11. Андриевский С. К. Ремонт электрических машин и пускорегулирующей аппаратуры / С. К. Андриевский, М. Н. Шапиро – К. : Гостехиздат УССР, 1959. – 278 с.
12. Коварский Е. М. Ремонт электрических машин / Е. М. Коварский – М. : Госэнергоиздат, 1963. – 288 с.

13. Жуликов В. Н. Методы и средства комплексной статистической системы контроля качества ремонта тяговых электродвигателей на ремонтном предприятии / В. Н. Жуликов // Электротехника. – 2004. – № 7. – С. 8–20.
14. Осадченко А. А. Прогнозирование ресурса тягового электродвигателя / А. А. Осадченко, В. В. Щербатов, О. Л. Рапопорт // Известия вузов. Электромеханика. – 2006. – № 3. – С. 14–16.
15. Осадченко А. А. Мониторинг щеточно-коллекторного узла тягового электродвигателя при эксплуатации / А. А. Осадченко, О. Л. Рапопорт, А. Б. Цукублин // Известия Томского политехнического университета. – 2005. Т. 308. – № 7. – С. 107–109.
16. А. с. 970571 СССР, МКИ Н 02 К 13/14. Устройство для анализа коммутации коллекторных электрических машин постоянного тока / В. Ф. Шкреба, Ю. Я. Безбородов, В. В. Харламов, В. Н. Козлов (СССР). – № 3276292/24-07 ; Заявл. 16.04.81 ; Оpubл. 30.10.82, Бюл. № 40. – 3 с.
17. А. с. 970571 СССР, МКИ Н 02 К 13/14. Устройство для анализа коммутации коллекторных электрических машин постоянного тока / В. Ф. Шкреба, Ю. Я. Безбородов, В. В. Харламов, В. Н. Козлов, В. И. Тимошина (СССР). – № 3276164/24-07 ; Заявл. 16.04.81 ; Оpubл. 23.10.82, Бюл. № 39. – 3 с.
18. А. с. 1073715 СССР, МКИ Н 02 К 13/14. Устройство контроля коммутации электрических машин постоянного тока / А. В. Сазонов, В. Н. Козлов, В. М. Лузин, В. В. Харламов (СССР). – № 3761456/24-07 ; Заявл. 26.06.84 ; Оpubл. 15.11.85, Бюл. № 42. – 4 с.
19. А. с. 987747 СССР, МКИ Н 02 К 13/14. Устройство для измерения интенсивности искрения на коллекторе электрической машины / Б. Е. Сире, Л. В. Ложкин, Ю. Я. Лапенко (СССР). – № 3346283/24-07 ; Заявл. 16.10.81 ; Оpubл. 07.01.83, Бюл. № 1. – 7 с.
20. Карасев М. Ф. Индикатор искрения / М. Ф. Карасев // Труды Омского института инженеров железнодорожного транспорта. – вып. 54. – Транспорт. – 1965.
21. Качин С. И. Повышение ресурсных характеристик скользящего контакта коллекторных машин электроприводов / С. И. Качин, Ю. С. Боровиков, О. С. Качин // Известия вузов. Электромеханика. – 2006. – № 3. – С. 8–13.

22. Качин С. И. Улучшение эксплуатационных характеристик коллекторных машин малой мощности / С. И. Качин // Электричество. – 1997. – № 6. – С. 28–32.
23. Пат. РФ №2220489. МКИ Н 02 К 3/12. Якорь электрической машины / С. И. Качин, Ю. С. Боровиков. Заявл. 17.07.2002 ; Оpubл. 27.12.2003, Бюл. №36. – 5с.
24. Пат. РФ №2269192. МПК Н 02 К 3/12. Якорь коллекторной электрической машины / С. И. Качин, Ю. С. Боровиков, О. С. Качин. Заявл. 05.05.2004 ; Оpubл. 27.01.2006, Бюл. № 3. – 8 с.
25. Качин С. И. Улучшение эксплуатационных показателей коллекторных электрических машин применением анизотропных конструкций индукторов / С. И. Качин, Ю. С. Боровиков, Р. Ф. Бекишев // Изв. Вузов. Электромеханика. – 2003. – № 2. – С. 44–49.
26. Битюцкий И. Б. Численный пример гармонического анализа процесса коммутации / И. Б. Битюцкий, М. С. Калинин // Известия вузов. Электромеханика. – 2003. – № 2. – С. 35–39.
27. Применение счётных машин непрерывного действия для исследования коммутации машин постоянного тока / Е. М. Синельников, А. Г. Назикян, В. В. Клеймёнов, Ф. И. Чернявский. // Известия вузов. Электромеханика. – 1960. – № 10. – С. 58–77.
28. А. с. 892587 СССР. Устройство для улучшения коммутации коллекторных машин постоянного тока / Ю. А. Вареник, И. А. Осташевский, В. Д. Юхимчук, В. А. Яковенко. Заявл. 17.05.80 ; Оpubл. 23.12.81, Бюл. № 47. – 5 с.
29. А. с. 943995 СССР. Устройство для улучшения коммутации коллекторных электрических машин / В. А. Прудников, А. И. Скороспешкин, Л. Я. Макаровский, В. В. Трошин. Заявл. 25.02.81 ; Оpubл. 15.07.82, Бюл. № 26. – 4 с.
30. А. с. 1239790 СССР. Устройство для улучшения коммутации коллекторной машины постоянного тока / А. Б. Номнонов, В. В. Трошин, В. В. Тарановский, П. М. Калужский. Заявл. 18.12.84 ; Оpubл. 23.06.86, Бюл. № 23. – 6 с.
31. А. с. 907476 СССР. Устройство для контроля коммутации электрической машины / Е. А. Горбунов, В. Б. Волонцевич. Заявл. 18.09.80 ; Оpubл. 23.02.82, Бюл. № 7. – 5 с.

32. Юренко К. И. Микропроцессорное устройство защиты информации и диагностики для бортовых информационно-управляющих систем подвижного состава / К. И. Юренко // Известия вузов. Электромеханика. – 2005. – № 4. – С. 45–48.
33. Плис В. И. Концепция построения системы управления перспективными электровозами / В. И. Плис // Вестник Всерос. н.-и. и проектно-конструкт. Ин-та электровозостроения. – 2004. – № 1. – С.219–223.
34. Битюцкий И. Б. Компьютерная диагностика качества коммутации / И. Б. Битюцкий, А. И. Котов, М. Ю. Рогов // Известия вузов. Электромеханика. – 2001. – № 1. – С. 40–44.
35. Вегнер О. Г. Теория и практика коммутации машин постоянного тока / О. Г. Вегнер – М., Л.: Госэнергоиздат, 1961. – 272 с.
36. Дридзо М. Л. Исследование комплекса коммутационных и механических процессов в скользящем контакте электрических машин / М. Л. Дридзо, В. В. Мизинов, И. Ю. Глебова // Электротехника. – 1984. – № 10. – С. 21–24.
37. Шубов И. Г. Шум и вибрация электрических машин / И. Г. Шубов – Л.: Энергоатомиздат, 1986. – 208 с.
38. Рагульских К. М. Вибрация подшипников / К. М. Рагульских, А. Ю. Юркаускас – Л.: Ленингр. отд-ние, 1985. – 119 с.
39. Явленский К. Н. Вибродиагностика и прогнозирование качества механических систем / К. Н. Явленский– Л.: Машиностроение, 1983. – 239 с.
40. А. с. 1345086 СССР, МКИ G 01 M 13/04. Способ контроля технического состояния подшипникового узла / А. В. Авринский, С. А. Рыков, М. В. Бернблит, В. Д. Боярский (СССР). – № 4004936/31-27; Заявл. 07.01.86; Оpubл. 15.10.87, Бюл. № 38. – 4 с.
41. А. с. 1177711 СССР, МКИ G 01 M 13/04. Устройство для диагностики шарикоподшипников электродвигателя / Л. М. Гербер, Е. И. Малыхин, В. П. Миронович, Г. Н. Никифорова, А. К. Явленский, К. Н. Явленский (СССР). – № 3662698/25-27; Заявл. 12.08.83; Оpubл. 07.09.85, Бюл. № 33. – 4 с.

42. А. с. 1118883 СССР, МКИ G 01 M 13/04. Способ оценки качества шарикоподшипников / И. П. Воболис, К. М. Рагульскис (СССР). – № 3624099/25-28; Заявл. 13.07.83 ; Оpubл. 15.10.84, Бюл. № 38. – 3 с.
43. А. с. 1118883 СССР, МКИ G 01 M 13/04. Способ диагностики подшипников и устройство для его осуществления / И. П. Воболис, К. М. Рагульскис (СССР). – № 3624099/25-28 ; Заявл. 13.07.83 ; Оpubл. 15.10.84, Бюл. № 38. – 3 с.
44. Кирякин А. В. Акустическая диагностика узлов и блоков РЭА / А. В. Кирякин, И. Л. Железная. – М. : Радио и связь, 1984. – 191 с.
45. Генкин М. Д. Виброакустическая диагностика машин и механизмов / М. Д. Генкин, А. Г. Соколова. – М. : Машиностроение, 1987. – 283 с.
46. Микулинский А. М. Воздействие локальной вибрации и вопросы виброзащиты / А. М. Микулинский. – Горький : Волго-Вятское кн. изд-во, 1983. – 176 с.
47. Исаакович М. М. Устранение вибрации электрических машин. – 2-е изд., перераб. и доп. / М. М. Исаакович, Л.И. Клейман, Б. Х. Перчанок. – Л. : Энергия, 1979. – 200 с.
48. Терентьев В. Ф. Нестационарные движения оси вала в подшипниковом узле скольжения / В. Ф. Терентьев, Н. В. Еркаев, Н. А. Нагайцева // Изв. вузов. Машиностроение. – 2003. – № 11. – С. 3-11.
49. А. с. 1137367 СССР, МКИ G 01 M 13/04. Стенд для измерения вибраций подшипников качения / А. Б. Ройтман, И. Л. Гликсон, В. С. Лукьянов, В. М. Мигунов (СССР). – № 3482631/25-27 ; Заявл. 18.08.82 ; Оpubл. 30.01.85, Бюл. № 4. – 3 с.
50. А. с. 1038820 СССР, МКИ G 01 M 13/04. Устройство для контроля состояния подшипника качения / Ю. В. Корчагин, А. Е. Кауфман, А. В. Котов, А. П. Голубев (СССР). – № 3434583/25-27 ; Заявл. 07.05.82 ; Оpubл. 30.08.83, Бюл. № 32. – 2 с.
51. А. с. 1021971 СССР, МКИ G 01 M 13/04. Стенд для измерения вибраций подшипников качения / А. Б. Ройтман, И. Л. Гликсон, В. С. Лукьянов, В. М. Мигунов (СССР). – № 3387713/40-23 ; Заявл. 04.02.82 ; Оpubл. 07.06.83, Бюл. № 21. – 3 с.
52. А. с. 1013806 СССР, МКИ G 01 M 13/04. Способ диагностики шарикоподшипников по моментным характеристикам / Е. М. Родио-

нов, Л. А. Трофимюк (СССР). – № 3405292/25-27 ; Заявл. 11.03.82 ; Оpubл. 23.04.83, Бюл. № 15. – 3 с.

53. А. с. 989349 СССР, МКИ G 01 M 13/04. Устройство для диагностики подшипниковых узлов / Ю. С. Вальтас, И. П. Воболис, Р. А. Йонушас, К. М. Рагульскис (СССР). – № 3316986/25-27; Заявл. 09.07.81; Оpubл. 15.01.83, Бюл. № 2. – 3 с.

54. А. с. 979938 СССР, МКИ G 01 M 13/04. Способ определения долговечности быстровращающихся шарикоподшипников / В. М. Суминов, Е. А. Перель, И. И. Алдошина, И. А. Баранов (СССР). – № 3248396/25-28 ; Заявл. 19.02.81 ; Оpubл. 07.12.82, Бюл. № 45. – 3 с.

55. Пат. 47896 Україна, МПК G 01 K 13 / 04. Установка для випробовування електродвигунів : Пат. 47896 Україна, МПК G 01 K 13 / 04 / Кіпін М. М., Лейтар С. П., Земляний А. В., Щетинін В. Т., Воробйов В. В., Туаєва О. І., Славко Г. В. (Україна) Держпатент. – № 2001107086 ; Заявл. 18.10.2001 ; Оpubл. 15.07.2002; Бюл. № 7. – 3 с.

56. Пат. 10452 Україна, МПК G 01 K 13 / 04, Стенд для досліджень пошкоджень підшипників кочення та ковзання : Пат. 10452 Україна, МПК G 01 K 13 / 04 / Ручко В. М., Руденко В. І., Ченцов М. О. (Україна) Держпатент. – № u 200504129 ; Заявл. 29.04.2005 ; Оpubл. 15.11.2005 ; Бюл. № 11. – 3 с.

57. А. с. 1375967 СССР, МКИ G 01 M 13/04. Устройство прогнозирования ресурса коренных подшипников двигателя внутреннего сгорания / В. И. Титов (СССР). – № 4060967/25-27 ; Заявл. 11.03.86 ; Оpubл. 23.02.88, Бюл. № 7. – 4 с.

58. Рагульскис К. М. Вибрация подшипников / К. М. Рагульскис, А. Ю. Юркаускас. – Л. : Машиностроение. – 1985. – С.83–84.

59. А. с. 412514 СССР, МКИ G 01 M 13/04. Способ оценки технического состояния двигателя / А. Н. Токарев (СССР). – № 1708717/24-6 ; Заявл. 26.10.71 ; Оpubл. 25.01.74, Бюл. № 3. – 4 с.

60. А. с. 1183856 СССР, МКИ G 01 M 13/04. Способ диагностики состояния пар трения и устройство для его осуществления / В. Н. Аугутис, П. А. Варанаускас, С. В. Кажене (СССР). – № 3778420/25-27 ; Заявл. 14.05.84 ; Оpubл. 07.10.85, Бюл. № 37. – 4 с.

61. А. с. 1180722 СССР, МКИ G 01 M 13/04. Устройство для диагностики подшипниковых узлов / Р. Ю. Бансявичус, И. П. Воболис,

62. Ковалев М. П. Динамическое и статическое уравнивание гироскопических устройств / М. П. Ковалев, С. П. Моржаков, К. С. Терехова. М. : Машиностроение. – 1965. – С.66–67.
63. А. с. 1185152 СССР, МКИ G 01 М 13/04. Автомат для сортировки подшипников по времени выбега / В. А. Алексеев (СССР). – № 3710051/25-27 ; Заявл. 12.03.84; Оpubл. 15.10.85, Бюл. № 38. – 4 с.
64. А. с. 1163180 СССР, МКИ G 01 М 13/04. Способ контроля качества изготовления подшипниковых узлов / И. П. Воболис, К. М. Рагульскис (СССР). – № 3702127/25-27 ; Заявл. 10.02.84 ; Оpubл. 23.06.85, Бюл. № 23. – 4 с.
65. А. с. 1180722 СССР, МКИ G 01 М 13/04. Устройство для диагностики подшипниковых узлов / Р. Ю. Бансявичус, И. П. Воболис, К. М. Рагульскис (СССР). – № 3619307/25-27 ; Заявл. 11.07.83 ; Оpubл. 23.09.85, Бюл. № 35. – 3 с.
66. А. с. 1161838 СССР, МКИ G 01 М 13/04. Способ определения радиального зазора в подшипниках / В. А. Аллилуев, И. Б. Гуськов, А. Г. Мамедов, А. А. Онучина (СССР). – № 3644979/30-15 ; Заявл. 27.07.83 ; Оpubл. 15.06.85, Бюл. № 22. – 4 с.
67. А. с. 1161838 СССР, МКИ G 01 М 13/04. Способ оценки качества шарикоподшипников / И. П. Воболис, К. М. Рагульскис (СССР). – № 3624099/25-28; Заявл. 13.07.83; Оpubл. 15.10.84, Бюл. № 38. – 4 с.
68. А. с. 987438 СССР, МКИ G 01 М 13/04. Устройство для вибрационной диагностики состояния подшипников качения / С. И. Захаров (СССР). – № 3317026/25-27 ; Заявл. 06.07.81 ; Оpubл. 07.01.83, Бюл. № 1. – 2 с.
69. А. с. 987437 СССР, МКИ G 01 М 13/04. Устройство для вибрационной диагностики состояния подшипников качения / С. И. Захаров, Ф. Ф. Фатиев (СССР). – № 3317025/25-27 ; Заявл. 06.07.81 ; Оpubл. 07.01.83, Бюл. № 1. – 2 с.
70. А. с. 985723 СССР, МКИ G 01 М 13/04. Устройство для вибрационной диагностики подшипников качения / Т. В. Кухаренко, В. И. Самодуров, А. Ф. Тагиров (СССР). – № 3323630/25-27 ; Заявл. 07.08.81 ; Оpubл. 30.12.82, Бюл. № 48. – 3 с.

71. А. с. 1171684 СССР, МКИ G 01 М 13/04. Способ контроля технического состояния подшипников / С. А. Аринчин, В. В. Нестеренко, Х. К. Шаков (СССР). – № 3580801/25-27 ; Заявл. 16.04.83 ; Оpubл. 07.08.85, Бюл. № 29. – 3 с.

72. А. с. 1002873 СССР, МКИ G 01 М 13/04. Способ определения работоспособности подшипников качения и устройство для его осуществления / К. В. Подмастерьев, С. Ф. Корндорф, С. Н. Салищев, А. Ф. Блинов (СССР). – № 3256846/25-28 ; Заявл. 04.03.81 ; Оpubл. 07.03.83, Бюл. № 9. – 3 с.

73. А. с. 989348 СССР, МКИ G 01 М 13/04. Способ контроля состояния подшипников качения / Ю. В. Корчагин, А. Т. Лисин, А. П. Голубев (СССР). – № 3310421/25-27 ; Заявл. 26.06.81 ; Оpubл. 15.01.83, Бюл. № 2. – 3 с.

74. А. с. 1490539 СССР, МКИ G 01 М 13/04. Устройство для диагностики подшипников электрических машин / Г. Ф. Карпов (СССР). – № 4338928/25-27 ; Заявл. 04.12.87 ; Оpubл. 30.06.89, Бюл. № 24. – 3 с.

75. А. с. 1155893 СССР, МКИ G 01 М 13/04. Способ определения работоспособности подшипников качения и устройство для его осуществления / Ю. Д. Новиков, В. Ф. Лучук, А. М. Марков, Е. И. Малыхин, Л. М. Гербер (СССР). – № 3640246/25-27 ; Заявл. 24.05.83 ; Оpubл. 15.05.85, Бюл. № 18. – 3 с.

76. А. с. 1163181 СССР, МКИ G 01 М 13/04. Способ оценки технического состояния двигателя / И. П. Воболис, Ю. С. Вальтас, К. М. Рагульскис (СССР). – № 3702128/25-27 ; Заявл. 10.02.84 ; Оpubл. 23.06.85, Бюл. № 23. – 4 с.

77. А. с. 1702213 СССР, МКИ G 01 М 13/04. Способ контроля подшипников качения по моменту сопротивления вращению / Е. И. Трофимов (СССР). – № 4675041/27 ; Заявл. 28.02.89 ; Оpubл. 30.12.91, Бюл. № 48. – 4 с.

78. А. с. 1013806 СССР, МКИ G 01 М 13/04. Способ диагностики шарикоподшипников по моментным характеристикам / Е. М. Родионов, Л. А. Трофимюк (СССР). – № 3405292/25-27 ; Заявл. 11.03.82 ; Оpubл. 23.04.83, Бюл. № 15. – 4 с.

79. А. с. 894404 СССР, МКИ G 01 М 13/04. Способ диагностики подшипников и устройство для его осуществления / Т. И. Шеломенцев,

80. А. с. 1038819 СССР, МКИ G 01 М 13/04. Способ вибрационного контроля подшипников качения / Р. Ю. Бансевичюс, А. Ю. Юркаускас, К. М. Рагульскис, С. А. Даргужис (СССР). – № 3427139/25-27 ; Заявл. 21.04.82 ; Оpubл. 30.08.83, Бюл. № 32. – 4 с.

81. А. с. 941866 СССР, МКИ G 01 М 13/04. Способ диагностики подшипников качения / А. А. Акимов, А. С. Пилипченко, Г. Г. Баскаков (СССР). – № 3000632/25-27 ; Заявл. 03.11.80 ; Оpubл. 07.07.82, Бюл. № 25. – 4 с.

82. А. с. 976324 СССР, МКИ G 01 М 13/04. Способ определения радиального зазора подшипников / О. И. Кирса, А. С. Киреев, А. И. Запара (СССР). – № 3245144/25-27 ; Заявл. 29.01.81 ; Оpubл. 23.11.82, Бюл. № 43. – 4 с.

83. А. с. 1610366 СССР, МКИ G 01 М 13/04. Способ диагностики подшипников качения и скольжения / А. А. Акимов, А. С. Пилипченко, Г. Г. Баскаков (СССР). – № 7774257/25-27 ; Заявл. 11.08.86 ; Оpubл. 30.11.90, Бюл. № 44. – 4 с.

84. А. с. 1117476 СССР, МКИ G 01 М 13/04. Устройство для вибрационной диагностики подшипников / В. Н. Игнатов (СССР). – № 3520825/25-27; Заявл. 13.12.82 ; Оpubл. 07.10.84, Бюл. № 37. – 3 с.

85. А. с. 1004801 СССР, МКИ G 01 М 13/04. Способ контроля состояния подшипников качения по времени выбега / В. Д. Половинкин, И. Д. Зверев, Л. А. Сапрыкина, М. И. Жевелев (СССР). – № 3341545/25-27; Заявл. 30.09.81 ; Оpubл. 15.03.83, Бюл. № 10. – 3 с.

86. А. с. 1065714 СССР, МКИ G 01 М 13/04. Способ обнаружения дефектов в подшипниках скольжения / В. Г. Кошевой, В. А. Симонов, В. Ю. Семенов (СССР). – № 3453827/25-27 ; Заявл. 02.06.82 ; Оpubл. 07.01.84, Бюл. № 1. – 2 с.

87. А. с. 1046643 СССР, МКИ G 01 М 13/04. Способ вибрационной диагностики состояния подшипников / Г. Д. Оксень (СССР). – № 3458073/25-27 ; Заявл. 24.06.82 ; Оpubл. 07.10.83, Бюл. № 37. – 2 с.

88. Пат. 26496 Україна, МПК G 01 М 13/04. Спосіб контролю технічного стану підшипників колінчатого валу : Пат. 26496 Україна,

89. Пат. 79681 Україна, МПК G 01 M 13/04, Спосіб діагностики підшипникових опор : Пат. 26496 Україна, МПК G 01 M 13/04 / Большаков В. І., Крот П. В., Коренной В. В., Соловйов К. В., Далічук А. П.(Україна) Держпатент. – № 2001107086 ; Заявл. 18.10.2001 ; Опубл. 15.07.2002 ; Бюл. № 7. – 3 с.

90. А. с. 1038821 СССР, МКИ G 01 M 13/04. Устройство для вибрационной диагностики подшипников / В. В. Бородавкин, М. А. Куликов, В. Г. Шуваев (СССР). – № 3436788/25-27 ; Заявлено 14.05.82 ; Опубл. 30.08.83, Бюл. № 32. – 3 с.

91. А. с. 1293528 СССР, МКИ G 01 M 13/04. Способ диагностики подшипниковых узлов / Л. М. Гербер, П. В. Кравченко, В. С. Воронель, Т. А. Зуева (СССР). – № 3876936/25-27 ; Заявл. 03.01.85 ; Опубл. 28.02.87, Бюл. № 8. – 2 с.

92. А. с. 1038818 СССР, МКИ G 01 M 13/04. Устройство для вибрационной диагностики подшипников / В. Г. Шуваев (СССР). – № 3419228/25-27 ; Заявл. 07.04.82 ; Опубл. 30.08.83, Бюл. № 32. – 3 с.

93. А. с. 1744561 СССР, МКИ G 01 M 13/04. Устройство для диагностики подшипников качения / В. А. Голубков, Е. Е. Чаадаева, В. П. Рузанов, Т. Т. Шарафудинов, А. А. Кутищев, Ю. А. Григорьева (СССР). – № 4782032/27 ; Заявл. 15.01.90 ; Опубл. 30.06.92, Бюл. № 24. – 6 с.

94. А. с. 1784851 СССР, МКИ G 01 M 13/04. Способ обнаружения дефектов подшипника / А. В. Погребняк, Э. Д. Тартаковский, Е. А. Игуменцев, В. Е. Ивлюшин (СССР). – № 4872895/27 ; Заявл. 09.08.90 ; Опубл. 30.12.92, Бюл. № 48. – 6 с.

95. Обоснование диагностических признаков дисбаланса роторов / [А. С. Лопатин, А. М. Марков, В. А. Смирнов, В. Л. Христензен] // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2004. – № 2. – С. 36–39.

96. Бесклетный М. Е. Вибрационная диагностика дисбаланса ротора / М. Е. Бесклетный, Е. А. Игуменцев // – М. : Энергомашиностроение. – 1980. – № 4. – С. 27–29.

97. Васильев Ю. Н. Вибрационный контроль технического состояния газотурбинных агрегатов / Васильев Ю. Н., Бесклетный М. Е., Игуменцев Е. А. – М. : Недра. – 1987. – 198 с.

98. Терентьев В.Ф. Аналитико-численное моделирование параметров смазочного слоя в роликовых подшипниках качения / В.Ф. Терентьев // Изв. вузов Машиностроение. – 2004. – № 7. – С. 31–34.

99. Терентьев В. Ф. Нестационарные движения оси вала в подшипниковом узле скольжения / В. Ф. Терентьев, Н. В. Ернаев, Н. А. Нагайцева // Изв. вузов Машиностроение. – 2003. – № 11. – С. 3–11.

100. А. с. 699388 СССР, МКИ G 01 M 13/04. Тарировочное устройство прибора для измерения толщины смазочной плёнки в подшипниках / Ф. П. Снеговский, В. Н. Гринавцев, Л. А. Аронов, В. С. Осадчий, Н. Г. Булюк (СССР). – № 2551867/25–27 ; заявл. 05.12.77 ; опубл. 25.11.79, Бюл. № 43. – 2 с.

101. А. с. 900149 СССР, МКИ G 01 M 13/04. Устройство для измерения толщины смазочного слоя / В. Ш. Шварцман, Д. Л. Бакашвили, Т. В. Имерлишвили, Н. А. Карсанидзе, Г. Р. Чхаимдзе (СССР). – № 2968919/25–27 ; заявл. 05.08.80 ; опубл. 23.01.82, Бюл. № 3. – 4 с.

102. А. с. 1562725 СССР, МКИ G 01 M 13/04 Устройство контроля смазки подшипника / Б. М. Демский, В. Г. Вороной (СССР). – № 4455485/25–27 ; заявл. 05.07.88 ; опубл. 07.05.90, Бюл. № 17. – 6 с.

103. А. с. 1513384 СССР, МКИ G 01 M 13/04 Способ оценки состояния смазочной плёнки в подшипниках качения / Т. И. Ногачева, С. Ф. Коридорф, В. Я. Варгашкин (СССР). – № 4282932/25–27 ; заявл. 18.05.87 ; опубл. 07.10.89, Бюл. № 37. – 8 с.

104. А. с. 1733945 СССР, МКИ G 01 M 13/04 Установка для измерения толщины смазочного слоя в шарикоподшипниках / М. Ф. Дмитриченко, Р. Г. Мнацаканов, В. С. Белоус, В. Г. Грабчак (СССР). – № 4821328/27 ; заявл. 02.04.90 ; опубл. 15.05.92, Бюл. № 18. – 6 с.

105. Пат. 65352 Україна, МПК G 01 M 13/04. Пристрій для безперервного вимірювання товщини та тиску змащувального шару в підшипниках ковзання / Сніговський Ф. П., Верещака М. П., Савчук М. П. (Україна) Держпатент. – № 2001107086 ; заявл. 18.10.2001 ; опубл. 15.07.2002 ; Бюл. № 7. – 3 с.

106. А. с. 821992 СССР, МКИ G 01 M 13/04. Способ непрерывного измерения толщины смазочного слоя подшипников скольжения / Ф. П. Снеговский, В. И. Рой (СССР). – № 2767157/25–27 ; заявл. 19.04.79 ; опубл. 15.04.81, Бюл. № 14. – 2 с.

107. А. с. 805100 СССР, МКИ G 01 M 13/04. Устройство для измерения толщины смазочного слоя в подшипниках скольжения / Ф. П. Снеговский, В. Н. Гринавцев, Н. Г. Булюк, Л. А. Аронов, В. С. Осадчий, И. А. Семерникова (СССР). – № 2624683/25–27 ; заявл. 01.06.78 ; опубл. 15.02.81, Бюл. № 6. – 4 с.

108. А. с. 864037 СССР, МКИ G 01 M 13/04. Способ контроля подшипников / В. Т. Гузеев, К. Я. Гузеев, Г. А. Исупов (СССР). – № 2654632/25–27 ; заявл. 14.08.78 ; опубл. 15.09.81, Бюл. № 34. – 4 с.

109. А. с. 957038 СССР, МКИ G 01 M 13/04. Способ определения ресурса смазки подшипников / Л.С. Гольдин, Н.Г. Задыхина, Г.А. Нагорнякова, Е.П. Цингарелли (СССР). – № 2799956/25–27 ; заявл. 20.07.79 ; опубл. 07.09.82, Бюл. № 33. – 2 с.

110. А. с. 1564510 СССР, МКИ G 01 M 13/04. Устройство для обнаружения нарушений масляной плёнки по бортам и поверхностям качения в роликовом подшипнике измерения толщины смазочного слоя в подшипниках скольжения / Б. Д. Блинов, Т. С. Васильева (СССР). – № 4415973/25–27 ; заявл. 25.04.88 ; опубл. 15.05.90, Бюл. № 18. – 4 с.

111. А. с. 1397776 СССР, МКИ G 01 M 13/04. Устройство для регистрации нарушений масляной плёнки в подшипниках качения / Б. Д. Блинов, Т. С. Васильева (СССР). – № 4151646/25–27 ; заявл. 25.11.86 ; опубл. 23.05.88, Бюл. № 19. – 4 с.

112. А. с. 1767378 СССР, МКИ G 01 M 13/04. Устройство для определения состояния подшипникового узла / В. П. Чечуевский (СССР). – № 4918963/25–27 ; заявл. 18.03.91 ; опубл. 07.10.92, Бюл. № 37. – 6 с.

113. Новожилов Ю. Н. Устройство для контроля температуры подшипников / Ю. Н. Новожилов // Промышленная энергетика. – 2002. – № 10. – С. 28–29.

114. Коварский Е. М. Ремонт электрических машин / Е. М. Коварский – М. : Госэнергоиздат, 1963. – 288 с.

115. Жуков С.О. Математическая модель для оценки состояния коллектора тягового двигателя трамвая / Б. І. Мокін, С. О. Жуков // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2005. – № 6. – С. 97–101.

116. Захаров В. Н. Автоматы с распределенной памятью / В. Н. Захаров – М. : Энергия, 1975.– 136 с.

117. Мокин Б. И. Математические модели и информационно-измерительные системы для технической диагностики трансформаторных вводов / Б. И. Мокин, В. В. Грабко, Динь Тхань Вьет. – Винница : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 1997.– 130 с.

118. Грабко В. В. Моделі та системи технічної діагностики високовольтних вимикачів : [монографія] / В. В. Грабко , Б. І. Мокін . – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 1999. – 74 с.

119. Грабко В. В. Методи та інформаційно-вимірювальні системи для технічної діагностики силових косинусних конденсаторів : [монографія] / В. В. Грабко, М. П. Боцула. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2003. – 144 с.

120. Жуков С. О. Синтез структуры системы диагностирования состояния коллектора тягового двигателя трамвая / Б. І. Мокін, С. О. Жуков // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2007. – № 3. – С. 53–59.

121. Жуков С. О. Синтез структуры системы оценки состояния коллектора тягового двигателя трамвая / Б. І. Мокін, С. О. Жуков // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2007. – № 5. – С. 53–58.

122. Пат. 14408 Україна, МПК Н 02 К 13/14, Пристрій для аналізу комутації колекторних електричних машин постійного струму: Пат. 14408 Україна, МПК Н 02 К 13/14 / Мокін Б. І., Жуков С. О. (Україна) Держпатент. – № у 2005 10887 ; Заявл. 17.11.2005 ; Опубл. 15.05.2006 ; Бюл. № 5. – 8 с.

123. Пат. 26497 Україна, МПК Н 02 К 13/14, Пристрій для оцінки стану колектора електричної машини постійного струму: Пат. 26497 Україна, МПК Н 02 К 13/14 / Мокін Б. І., Жуков С. О. (Україна) Держпатент. – № у 2007 05202 ; Заявл. 11.05.2007 ; Опубл. 25.09.2007 ; Бюл. № 15. – 6 с.

124. Шило В. Л. Популярныe цифровыe микросхемы : [справочник] / В. Л. Шило. – М. : Радио и связь, 1987. – 352 с.
125. Применение интегральных микросхем в электронной вычислительной технике : [справочник] / [Р. В. Данилов, С. А. Ельцова, Ю. П. Иванов и др.] ; под ред. Б. Н. Файзулаева, Б. В. Тарабрина. – М. : Радио и связь, 1987. – 384 с.
126. Тарабрин Б. В. Справочник по интегральным микросхемам / [под общ. ред. Тарабрина Б. В.] – М. : Энергия, 1977.
127. Костинюк Л. Д. Мікропроцесорні засоби та системи : [навчальний посібник] / Л. Д. Костинюк, Я. С. Паранчук . – Львів : Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2001. – 200 с.
128. Интегральные микросхемы : Микросхемы для аналого-цифрового преобразования и средств мультимедиа. – [выпуск № 2]. – М. : ДОДЭКА, 1996. – 384 с.
129. Федорков Б. Г. Микросхемы ЦАП и АЦП : функционирование, параметры, применение / Б. Г. Федорков , В. А. Телец. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 320 с.
130. Гитис Э. И. Аналого-цифровые преобразователи : [учеб. пособие для вузов] / Э. И. Гитис, Е. А. Пискунов. – М. : Энергоиздат, 1981. – 360 с.
131. Сердюченко В. Я. Розробка алгоритмів та програмування мовою Turbo Pascal : [навчальний посібник] / В. Я. Сердюченко. – Харків : Паритет, 1995. – 352 с.
132. Вершинин О. Е. Применение микропроцессоров для автоматизации технологических процессов / О. Е. Вершинин. – Л. : Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1986. – 208 с.
133. Чумаченко І. В. Мікроконтролерні прилади : структура і використання : [навчальний посібник] / І. В. Чумаченко, М. Д. Кошовий, В. В. Лопатин. – Харків : Нац. аерокосмічний ун-т «ХАІ», 2001. – 277 с.
134. Жуков С. О. Микроконтроллерное устройство для оценки состояния коллектора тягового двигателя трамвая / Б. І. Мокін, С. О. Жуков // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2007. – № 6. – С. 5–8.

135. Мокін Б. І. Математичні методи ідентифікації електромеханічних процесів. Ідентифікація ЕМП в лінійних стохастичних системах із зосередженими параметрами / Б. І. Мокін, В. Б. Мокін. – [частина II]. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 1999. – 98 с.

136. Пат. 16125 Україна, МПК G 07 C 3/10, Пристрій для контролю електричного двигуна: Пат. 16125 Україна, МПК G 07 C 3/10 / Мокін Б. І., Грабко В. В., Розводюк М. П., Жуков С. О. (Україна) Держпатент. – № у 2006 02168 ; Заявл. 27.02.2006 ; Опубл. 17.07.2006 ; Бюл. № 7. – 18 с.

137. Пат. 16647 Україна, МПК G 07 C 3/10, Пристрій для контролю електричного двигуна: Пат. 16647 Україна, МПК G 07 C 3/10 / Мокін Б. І., Грабко В. В., Розводюк М. П., Жуков С. О. (Україна) Держпатент. – № у 2006 02167 ; Заявл. 27.02.2006 ; Опубл. 15.08.2006 ; Бюл. № 8. – 20 с.

138. Жуков С. О. Комп'ютеризована система діагностування технічного стану тягового електропривода / Б. І. Мокін, С. О. Жуков // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2008. – № 3. – С.28–31.

139. Жуков С. О. Новий метод моделювання секвенціального опису комп'ютеризованої системи [Електронний ресурс] / Мокін Б. І., Мокін В. Б., Жуков С. О. // Електронне фахове видання. Наукові праці ВНТУ. – 2008. – №2. – Режим доступу до журн. : <http://nbuv.gov.ua/e-journals/VNTU/2008-2/2008-2.htm>.

140. Основи метрології та вимірювальної техніки / [М. Дорожовець, В. Мотало, Б. Стадник та інші] ; за ред. Б. Стадника. – Львів. : Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2005. – 530 с. – (Основи метрології : у 2 т., т.1).

*Наукове видання*

**Мокін Борис Іванович  
Жуков Сергій Олександрович**

**МІКРОПРОЦЕСОРНІ ПРИСТРОЇ  
ДЛЯ ТЕХНІЧНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ ТЯГОВИХ  
ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ  
В ПРОЦЕСІ ЇХ НОРМАЛЬНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ**

Монографія

Редактор Н. Мазур

Оригінал-макет підготовлено С. Жуковим

Підписано до друку 10.03.2011 р.  
Формат 29,7×42¼. Папір офсетний.  
Гарнітура Times New Roman.  
Друк різнографічний. Ум. др. арк. 6,7  
Наклад 100 прим. Зам № 2011-070

Вінницький національний технічний університет,  
КІВЦ ВНТУ,  
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,  
ВНТУ, ГНК, к. 114.  
Тел. (0432) 59-85-32.  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.

Віддруковано у Вінницькому національному  
технічному університеті,  
в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі,  
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,  
ВНТУ, ГНК, к. 114.  
Тел. (0432) 59-81-59  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.