

**НАПРЯМОК  
«РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ»**

УДК 629.4.083:629.463

*Д. І. Волошин, І. М. Афанасенко*

**УПРАВЛІННЯ ДИНАМІЧНОЮ СТІЙКІСТЮ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ  
З РЕМОНТУ ВАГОНІВ**

*D. I. Voloshin, I. N. Afanasenko*

**MANAGEMENT DYNAMIC FIRMNESS OF PRODUCTION SYSTEMS  
ON REPAIR OF CARS**

В останні роки підприємства залізничного транспорту України функціонують у досить складних умовах з огляду на економічні і технічні фактори. Маючи на увазі, що виробнича система являє собою складну стохастичну систему, додаткова невизначеність зовнішніх умов сприяє накопиченню критичних станів виробництва у часі. Це приводить до ситуації, коли окреме напруження на систему або каскад напружень може «викинути» систему за межі області динамічної стійкості.

Нестационарність поведінки виробничих систем з ремонту вагонів створює передумови до проведення досліджень в області структурної та параметричної адаптації математичного апарата їх формалізації.

У момент часу  $t$  для періоду  $[t, t + \tau]$  управляюча система з урахуванням передбачуваного стану середовища в цьому періоді  $R_{t, t+\tau}$  створює управляючі дії  $u_t$ , виходячи з умови досягнення максимуму критерію оптимальності.

Даний критерій може бути формалізований як

$$\Phi(\varphi(x_t, u_t, R_{t, t+\tau})), \quad (1)$$

де  $\varphi$  – функція переходів стану виробничої системи;

$x_t$  – стан виробничої системи в окремий момент часу  $t$ .

Тобто виробнича система буде стійкою у часі, якщо для будь-якого наперед заданого  $\varepsilon > 0$  існує  $\delta > 0$ , і при кожних  $\tilde{x}_t \in x_t, \tilde{R}_{t, t+\tau} \in R$  з виконання умови

$$\left\| \left( \tilde{x}_t, \tilde{R}_{t, t+\tau} \right) - \left( x_t, R_{t, t+\tau} \right) \right\| \leq \delta, \quad (2)$$

можна визначити

$$\left\| \Phi \left( Y_x(\tilde{x}_{t+\tau}) \right) - \Phi \left( \varphi(x_t, u_t, R_{t, t+\tau}) \right) \right\| \leq \varepsilon, \quad (3)$$

де  $\|\dots\|$  – певна виробнича норма;

$Y_x(\tilde{x}_{t+\tau})$  – фактичне значення змінної  $x_{t+\tau}$ .

При обмеженому відхиленні  $\delta$  фактичної траєкторії системи від теоретичної показник ефективності її роботи повинен залишатися у межах, які визначаються  $\varepsilon$ .

Проведені дослідження дають змогу побудови такої технології управління виробничою системою, яка спирається на алгоритми підтримки роботи підприємства в умовах неповної інформації.

УДК 629.42.016.2

*Д. С. Жалкін*

### ВИЗНАЧЕННЯ ТЯГОВИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ДИЗЕЛЬ-ПОЇЗДА ПРИБРИДИЗАЦІЇ ЙОГО СИЛОВОЇ УСТАНОВКИ

*D. Zhalkin*

#### DETERMINATION OF THE TRACTION PROPERTIES OF THE DIESEL RAIL VEHICLES DURING THE HYBRIDIZATION OF THE POWER PLANT

Рух дизель-поїзда з комбінованою силовою установкою описується рівнянням балансу сил [4]

$$m \frac{dv}{dt} = F_k - W_k - B, \quad (1)$$

де  $m$  – маса дизель-поїзда, кг;  
 $v$  – швидкість руху дизель-поїзда, м/с;  
 $t$  – значення часу, с;  
 $F_k$  – сила тяги, кН;  
 $B$  – гальмівна сила, кН;  
 $W_k$  – повний опір руху, кН.

Потужність гібридної силової установки, яка використовується для утворення сили тяги  $F_k$ , кН

$$N_k = N_{\text{ДВЗ}} \pm E_3 / 3600, \quad (2)$$

де  $N_{\text{ДВЗ}}$  – потужність дизеля тепловоза, кВт;  
 $E_3$  – енергія, що витрачається для заряджання накопичувача енергії, мДж.

При використанні додаткової потужності від накопичувача енергії під час розгону дизель-поїзда для забезпечення комфортності пасажирів пропонується урахувати не тільки максимальне допустиме прискорення, але і максимальні допустимі значення ривка  $j$  (*jerk*), м/с<sup>3</sup>,

$$\vec{j} = \frac{da}{dt} = \frac{\Delta \vec{a}}{\Delta t} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t^2} = \frac{\Delta x}{\Delta t^3}. \quad (3)$$

Введення обмежень на максимальні значення ривка (до 2-5 м/с<sup>3</sup>) забезпечує комфортні умови руху пасажирів при скороченні часу руху та витрат палива під час розгону дизель-поїзда.

УДК 629.113.014.9

*О. Б. Бабанін, О. В. Буцький*

## МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПОВНОПОТОЧНОГО ФІЛЬТРУ ДЛЯ ОЧИСТКИ ДИЗЕЛЬНОЇ ОЛИВИ

*О. В. Babanin, O. V. Butskiy*

### MATHEMATICAL MODEL FULL STREAM THE FILTER FOR CLEARING DIESEL OIL

У процесі роботи дизеля тепловоза постійно відбувається безперервне забруднення оливи та зміна показників її якості. Швидкість забруднення оливи, кількість і склад домішок, що в ній утворюються, безпосередньо впливають на знос і нагароутворення, а в остаточному підсумку на моторесурс і надійність дизеля у цілому [1].

В експлуатації на тепловозах повнопотокові фільтри з елементами "Нарва-6" у системах змащення вузлів тепловозів працюють дуже ненадійно [2]. Виходячи із цього вченими кафедри ЕРРС УкрДУЗТ було запропоновано принципово новий фільтрувальний елемент, виконаний на основі поліпропілену, та розроблено його математичну модель. Основними параметрами цієї моделі є початкове

значення оптичної щільності оливи, швидкість зростання її забрудненості та термін служби фільтра.

На підставі цієї моделі отримано залежності, які дають змогу визначати фільтрувальну здатність поліпропіленових фільтрів від терміну їх роботи на тепловозі.

#### *Список використаних джерел*

1. Москалев, П. В. Математическое моделирование пористых структур [Текст] / П. В. Москалев, В. В. Шитов. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 214 с.
2. Григорьев, М. А. Очистка масла в двигателях внутреннего сгорания [Текст] / М. А. Григорьев. – М. : Машиностроение, 1993. – 312 с.

УДК 629.424.2:504

*С. Г. Жалкін, О. Д. Жалкін*

## ПОКРАЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ДИЗЕЛЬ-ПОЇЗДІВ З ГІБРИДНОЮ СИЛОВОЮ УСТАНОВКОЮ

*S. G. Shalkin, O. D. Shalkin*

### IMPROVEMENT OF ECOLOGICAL INDICATORS OF HYBRID POWER DIESEL TRAINS

Дизель-поїзди за один оберт мають значну кількість зупинок на станціях і посадкових платформах. Час руху між зупинками може складати 8-10 хвилин, якщо дизель-поїзд працює у приміському русі, а

стоянка – у середньому 3-5 хвилин. На кінцевих станціях (станція оберт) простій може складати декілька годин, а посадка пасажирів відбувається протягом 20-30 хвилин. На стоянках при наближенні до

зупинки, а також при розгоні дизелі потяга працюють на неекономічних режимах з високою питомою витратою палива. На режимах холостого ходу та малих навантаженнях шкідливі речовини мають високий рівень ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  та ін.).

При обладнанні дизель-поїзда гібридною силовою установкою роботи на неекономічних режимах під час зупинки на станціях і платформах, наближенні до

зупинки або віддаленні від неї скорочується тривалість роботи на холостому ході, перехідних режимах й малих навантаженнях. Крім економії палива, значно скорочуються викиди шкідливих речовин під час руху по населеному пункту та на зупинках, тому що дизель вимикається, а рух підтримується гібридним гідронакопичувачем енергії.

УДК 629.08: 681.5

*Ю. М. Дацун, В. В. Рядковський*

### **ФОРМУВАННЯ АДАПТИВНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЛОКОМОТИВОРЕМОНТНИМ ВИРОБНИЦТВОМ**

*Y. N. Datsun, V. V. Riadkovsky*

### **FORMATION OF AN ADAPTIVE CONTROL SYSTEM FOR LOCOMOTIVE REPAIR PRODUCTION**

Локомотиворемонтні виробництва залізниць України на теперішній час знаходяться у вкрай складному становищі. Тривалий брак коштів призвів до високого ступеня зношеності основних фондів та погіршення кадрового потенціалу виробництв. У той же час у замовленнях на проведення ремонтів окремих вузлів локомотивів починають брати участь невідомчі підприємства різних форм власності. Така ситуація у недалекому майбутньому може призвести до перерозподілення програми ремонту локомотивів на користь невідомчих підприємств.

Підвищення ефективності роботи і конкурентоспроможності локомотиворемонтних виробництв залізниці має здійснюватись завдяки комплексному вирішенню ряду стратегічних питань. У першу чергу необхідна зміна принципів фінансування ремонтної складової, модернізація та оновлення основних фондів, удосконалення систем управління ремонтними виробництвами.

Ефективне вирішення таких питань можливе за рахунок впровадження автоматизованих систем управління та підтримки прийняття рішень. Високий ступінь зношеності локомотивів призводить до того, що до моменту їх надходження у ремонт заздалегідь неможливо визначити необхідний обсяг відновлювальних робіт. У таких умовах особливої актуальності набувають питання розроблення методологічних і методичних основ розвитку адаптивного механізму управління у першу чергу організаційною структурою ремонтних виробництв. Нелінійність таких виробництв обумовлена виникненням синергетичного ефекту функціонування системи як результату спільної дії її підсистем й елементів. Це виражається у тому, що системі притаманні не тільки якості кожної її складової, а й ряд принципів нових властивостей, системних якостей, породжених взаємодією цих частин.

Для формування адаптивної системи управління ремонтними виробництвами пропонується застосування мультиагентних

технологій, що враховують невизначеність щодо обсягу відновлювальних робіт по рухомому складу.

УДК 629.424.2

*О. О. Анацький*

## МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ПУСКУ ДИЗЕЛЯ ТЕПЛОВОЗА ЧМЕЗ

*О. О. Anatskyi*

### MODERNIZATION OF THE DIESEL SYSTEM START OF CHMEZ

Для пуску двигуна внутрішнього згорання використовуються головним чином електрична енергія (електропуск) та енергія стисненого повітря (пневматичний пуск). У рідких випадках застосовується також енергія вибуху (піротехнічний пуск), кінетична енергія обертючих мас (інерційний пуск) або енергія деформованої пружини та ін.

Електростартерна система пуску тепловозних дизелів являє собою найважливішу складову частину систем, що забезпечують запуск дизеля. Від технічного стану системи пуску дизеля залежить безперебійна робота залізничного транспорту в цілому.

Недосконалість систем пуску маневрових тепловозів головним чином пояснюється застосуванням застарілих підходів і методів при їх проектуванні та розрахунках [1].

Вищевказана ситуація визначає актуальність і важливість проведення науково-дослідних робіт, спрямованих на подовження строку служби акумуляторних батарей маневрових тепловозів і застосування нового схематехнічного рішення системи пуску тепловозних дизелів.

Електростартерна система пуску тепловозних дизелів має недоліки – великий обертальний момент, який

розвивається при пуску дизеля для подолання моменту опору провертання колінчастого вала, призводить до наростання пускових струмів пікових значень. Це тягне за собою зниження строку експлуатації акумуляторної батареї і підвищення зносу пар тертя валопроводів і зубчастих передач [2].

Пропонується під час модернізації пускових і регулювальних систем тепловозів встановлювати декомпресор, що дасть змогу зменшити насосні втрати в циліндрах. Це призведе до зменшення витрати палива та збільшення економічності роботи двигуна, а також підвищить надійність акумуляторних батарей.

#### *Список використаних джерел*

1. Диагностика и регулировка тепловозов [Текст] / А. З. Хомич, С. Г. Жалкин, А. Э. Симсон, Э. Д. Тартаковский. – М. : Транспорт, 1977. – 222 с.

2. Анацький, О. О. Аналіз факторів, впливаючих на пускові характеристики дизельних двигунів тепловозів та допоміжних пристроїв для полегшення пуску [Текст] / О. О. Анацький, С. В. Бобрицький // Вісник Східноукраїнського нац. ун-ту імені Володимира Даля. – Северодонецьк, 2015. – № 1(218). – 215 с.

**ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ДИНАМІКИ СЕРЕДНІХ І РЕГРЕСІЙНИХ РІВНЯНЬ  
З ІНДИКАТОРНИМИ ЗМІННИМИ ДЛЯ ОЦІНКИ СЕЗОННИХ КОЛИВАНЬ  
ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ ТЕПЛОВОЗІВ**

*V. Kovalenko*

**APPLICATION OF THE METHOD OF DYNAMICS OF THE MEAN AND REGRESSION  
EQUATIONS WITH INDICATOR VARIABLES FOR EVALUATING THE EFFICIENCY  
OF RELIABILITY INDICATORS OF LOCOMOTIVES**

Ефективність тягового рухомого складу (ТРС) зумовлюється ефективністю функціонування системи поточного ремонту (ТОР), яка характеризується кількістю несправних одиниць (ТРС) у кожний момент часу. Моделювання системи ТОР тепловозів можна провести на основі нестационарних марківських процесів із безперервним часом, для чого складається система диференціальних рівнянь Колмогорова-Ланчестера. При цьому враховується, що інтенсивності переходу із стану в стан, а також імовірності знаходження тепловозів у кожному із станів залежать від сезону їх експлуатації:

$$\lambda_{ij} = f(t), \quad \mu_{ij} = f(t), \quad P_{ij} = f(t).$$

Інтенсивності потоків  $\lambda$  та  $\mu$  визначені за статистичними даними про експлуатацію приписного парку тепловозів по різних зонах експлуатації, умовно розділених на Східну, Західну, Південну та Північну. Розв'язання системи рівнянь дозволяє одержати комплексні оцінки показників надійності тепловозів, а отже, і ступень завантаження системи ТОР ТРС для

стаціонарного режиму у різні сезони експлуатації.

Відповідно до вищевказаної методики по зонах експлуатації були проведені розрахунки ймовірностей знаходження тепловозів на технічному обслуговуванні ТО-3 ( $P_{ТО-3}$ ), поточному ремонті ПР-1 ( $P_{ПР-1}$ ), а також неплановому ремонті ( $P_{НР}$ ) – комплексного показника надійності тепловозів, знаючи при цьому, який можна розрахувати коефіцієнт готовності  $K_G$ .

Надати кількісну оцінку сезонним змінам  $K_G$  можна на основі регресійних рівнянь, в яких результативна ознака  $Y$  розглядається залежно від ряду факторів  $X_i$  ( $i=1,2,K$ ) і фіктивних змінних  $d_i$  ( $i=1,2,z$ ). Останні відображують кількісні розрізнення у формуванні результативної ознаки за окремими класами спостережень.

Відповідно до даної методики були одержані регресійні рівняння з фіктивними змінними, на основі яких кількісно оцінено сезонні коливання  $K_G$  по кожній із зон експлуатації тепловозів.

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ УТРИМАННЯ НЕТЯГОВОГО  
РУХОМОГО СКЛАДУ**

*О. Krashenin, O. Ponomarenko*

**IMPROVEMENT OF TECHNOLOGY FOR THE MAINTENANCE  
OF NON-TRACTION ROLLING STOCK**

Сучасний нетяговий рухомий склад (вагони) являє собою складну систему, ресурс якої лімітують декілька основних елементів (вузлів).

З нормативної документації залежно від найменування вузлів можна визначити час і витрати на проведення діагностування їх технічного стану, час на можливу заміну при профілактичному ремонті (при відмові), а також вартість кожного вузла, що дозволяє оцінити прибуток від експлуатації вагона за весь термін його використання. А для складних замінюваних вузлів визначити витрати, які залежать від припрацювання після чергової заміни їх зношених деталей. Заміна деяких деталей по мірі їх відмови в більшості випадків економічно недоцільна, оскільки веде до частих зупинок вагона для розбирання вузлів, тривалих простоїв і у зв'язку з цим до зростання витрат на ремонт. Час простоїв, у період яких вагон не працює, не приносить підприємству прибуток, тому замість замін через відмови окремих деталей доцільні профілактичні заходи, що будуються на об'єднанні декількох дострокових замін деталей у вузлах

одночасно. Для вибору варіанта групування деталей при їх одночасній заміні пропонується використовувати критерій мінімуму сумарних витрат на проведення замін для забезпечення ресурсу вагона за базовою деталлю – рамою вагона.

Введення профілактичних замін, з одного боку, зменшує час на заміну, оскільки вона здійснюється групою елементів (або складальними одиницями), зменшує витрати на припрацювання, бо тільки розбирання-збирання елементів вагона (без їх розукомплектування) знижує термін їх використання до 40 % внаслідок порушення характеру сполучень та взаємного розташування поверхонь, які припрацювались. З іншого боку, одночасна заміна декількох елементів різної довговічності приводить до зростання витрат від неповного використання ресурсів деталей та недоотримання прибутку від експлуатації вагона.

Вирішення даного протиріччя є основою створення оптимальної системи замін деталей вузлів вагона, яка забезпечить мінімум витрат на ремонт за весь час експлуатації.

УДК 629.424.3:621.436–61

*А. О. Каграманян, Д. О. Аулін, О. В. Басов*

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТЕПЛОВИЗНИХ ДИЗЕЛІВ  
ЗА РАХУНОК ВПРОВАДЖЕННЯ РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ  
ОЧИЩЕННЯ СИСТЕМ ДИЗЕЛЯ І ТЕПЛОВИЗА**

*A. A. Kagramanian, D. A. Aulin, A. V. Basov*

**EFFICIENCY IMPROVEMENT OF LOCOMOTIVE-TYPE DIESEL ENGINE  
OPERATION DUE TO INTRODUCTION OF RESOURCE-SAVING TECHNOLOGIES  
FOR CLEANING DIESEL AND DIESEL LOCOMOTIVE SYSTEMS**

Під час експлуатації тепловозів на поверхнях елементів систем дизеля і тепловоза відбувається відкладення і накопичення забруднень різного складу та різних механізмів утворення. Накопичення відкладень на елементах систем дизеля і тепловоза призводить до зміни характеристик і показників роботи силової установки, а в окремих випадках може істотно впливати на ресурс дизеля в цілому.

Для вирішення цієї проблеми фахівцями Українського державного університету залізничного транспорту, локомотивного господарства, НВП «ТОР» розроблено й апробовано технологію безрозбірного очищення паливних системи і циліндро-поршневої групи з

використанням спеціальної миючої рідини.

Підсумком експериментальних робіт із застосування технології безрозбірного очищення є обґрунтована періодичність її планового проведення під час технічного обслуговування і поточних ремонтів тепловозів, а також рекомендації щодо застосування технології при раптових змінах технічного стану дизелів тепловозів.

Крім того, за алгоритмом, аналогічним із тим, що використовувався при розробленні та впровадженні технології безрозбірного очищення паливних систем і паливної апаратури, доцільним є розроблення технологій безрозбірного очищення для систем охолодження і газоповітряної системи.

УДК 629.4; 621.436

*Д. Е. Сулежко, А. П. Фалендиш, А. Л. Сумцов, Д. А. Іванченко*

**МОДЕЛЬ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕННЯ ВИБОРУ СТЕНДА  
ДЛЯ ЕКОЛОГО-ЕНЕРГЕТИЧНИХ ВИПРОБУВАНЬ**

*D. Sulezhko, A. Falendysh, A. Sumtsov, D. Ivanchenko*

**MODEL OF DECISION-MAKING CHOICE OF STAND FOR ECOLOGICAL  
AND ENERGY TESTS**

Глобальна проблема людства – негативна динаміка зміни екологічного стану атмосфери. Двигуни внутрішнього згоряння (ДВЗ) є одними з найголовніших

джерел забруднення. У зв'язку з цим постійно проводяться пошуки шляхів покращення екологічних та енергетичних показників роботи ДВЗ.



Для проведення випробувань з вимірювання еколого-енергетичних показників, що включають до себе показники потужності, витрати палива, вмісту шкідливих речовин та димності відпрацьованих газів, існують випробувальні лабораторії. Дані лабораторії мають необхідні випробувальні стенди та за необхідністю газоаналізatori і димоміри.

Велика різноманітність випробувальних стендів, газоаналізatori і димомірів, що представлена на вітчизняному ринку, дає змогу по-різному комбінувати поєднання моделей стендів і приладів. Тому залежно від необхідних умов проведення еколого-енергетичних випробувань слід обирати найбільш відповідне поєднання моделей.

До головних критеріїв вибору випробувального стенда, газоаналізatori та димоміра можна віднести вартість, час проведення випробувань і вагу пристроїв.

Для створення моделі прийняття рішення з вибору необхідного стенда розраховані раціональні коефіцієнти головних критеріїв для усіх проаналізованих варіантів. На основі даних коефіцієнтів можливо визначити оптимальний варіант проведення еколого-енергетичних випробувань або варіант, що найбільше підпадає під певний критерій.

Оптимальним поєднанням випробувального стенда, газоаналізatori та димоміра стане варіант, коли результуючий коефіцієнт, що складається із суми множень вагового коефіцієнта на коефіцієнт критерію, буде мінімальним.

Таким чином, на сьогодні оптимальним варіантом проведення еколого-енергетичних випробувань ДВЗ стане умова використання випробувального стенда моделі КС276-03, газоаналізatori Altair 4X та димоміра МЕТА-01МП 0.2Т.

УДК 621.436

*В. І. Мороз, О. В. Братченко*

### **РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ З ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕХАНІЗМУ ПРИВОДА КЛАПАНІВ ВИСОКОБОРОТНИХ ТРАНСПОРТНИХ ДИЗЕЛІВ З РІЗНИМИ ТИПАМИ ШТОВХАЧІВ**

*V. I. Moroz, O. V. Bratchenko*

### **RESULTS OF THE STUDY ON THE ESTIMATION OF THE EFFICIENCY MECHANISM VALVE OF HIGH-VEHICLE TRANSPORT DIESELS WITH DIFFERENT TYPES OF PUSHERS**

Обґрунтовано актуальність науково-дослідних і дослідно-конструкторських розробок, які спрямовані на забезпечення якісних газообмінних процесів у циліндрах чотиритактних транспортних дизелів ДТНА1 вітчизняного виробництва з метою поліпшення їх техніко-економічних показників. Особливістю конструкції привода клапанів таких дизелів є верхнє розташування розподільного вала, безударні газорозподільні кулачки якого взаємодіють із плоскими циліндричними штовхачами. Розглянуто перспективи використання

нових патентозахищених штовхачів. На відміну від існуючих їх конструкція має задану криволінійну увігнуту поверхню контакту з кулачком. Наведено результати порівняльного аналізу законів руху клапанів дизеля ДТНА1 при використанні традиційних і запропонованих штовхачів. Показано, що при використанні нових штовхачів суттєво збільшується час-переріз клапанів на початковій фазі їх руху, що забезпечує поліпшення газообмінних процесів у циліндрах дизеля.

УДК 621.833:629.423.2

*А. В. Павшенко*

**РОЗРОБЛЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНО-ДЕКОМПОЗИЦІЙНОЇ КЛАСИФІКАЦІЇ  
ТЯГОВИХ ПРИВОДІВ СУЧАСНОГО РУХОМОГО СКЛАДУ**

*A. V. Pavshenko*

**DEVELOPMENT FUNCTIONAL-DECOMPOSITION CLASSIFICATION TRACTION  
DRIVERS OF THE MODERN ROLLING-STOCK**

Однією з основних складових частин конструкції тягового рухомого складу (ТРС), що безпосередньо впливає на якість його роботи, є тяговий привід (ТП). На сьогодні існує велика кількість різних конструкцій ТП, що обумовлено особливостями експлуатації ТРС, типом струму та ін. У загальному вигляді конструкцію механічної частини ТП можна розділити на тяговий електричний двигун (ТЕД), тягову зубчасту передачу (ТЗП) та механізми, що з'єднують ТЕД з ТЗП і ТЗП з колісною парою.

Наведено удосконалену класифікацію тягових приводів, яка складається з п'яти ієрархічних рівнів. З них I, III і V описують особливості побудови або конструктивного виконання відповідних декомпозиційних складових верхніх ієрархічних рівнів. У свою чергу II і IV рівні описують відповідно основні модулі конструкції та їх базові елементи.

Такий підхід дозволяє отримати формалізовані описи особливостей конструкції та побудови окремих елементів ТП, що має важливе значення для вирішення завдань їх удосконалення.

УДК 629.424.3

*К. В. Іванченко*

**ВИКОРИСТАННЯ УДОСКОНАЛЕНИХ РОЗПОДІЛЬНИХ ВАЛІВ ДЛЯ  
ПОЛІПШЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ФУНКЦІОНУВАННЯ МЕХАНІЗМУ  
ГАЗОРОЗПОДІЛУ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК ТЕПЛОВОЗІВ З ДИЗЕЛЕМ Д49**

*K. Ivanchenko*

**USE OF MODERNIZED CAMSHAFTS FOR THE IMPROVEMENT  
OF CHARACTERISTICS OF FUNCTIONING OF THE DIESEL POWER PLANTS D49  
VALVE CONTROL**

Обґрунтовано актуальність робіт, спрямованих на удосконалення конструкції розподільних валів енергетичних установок з дизелем Д49 на основі запропонованих технологій проектування. Визначено основні параметри базової кривої прискорень штовхача привода впускних і

випускних клапанів. На основі отриманих результатів проведено комплексні дослідження з моделювання характеристик функціонування кулачкових механізмів газорозподілу енергетичних установок тепловозів типу Д49 з удосконаленим розподіленням валом, а також виконано

оцінювання показників механічної напруженості основних елементів конструкції клапанного привода. Розраховано координати конструктивних профілів нових патентозахищених кулачків привода впускних і випускних клапанів енергетичних установок тепловозів з дизелем Д49 із використанням отриманих кінематичних характеристик штовхачів. Отримано таблиці координат, які є базою для виготовлення запропонованих газорозподільних кулачків в умовах залізничних підприємств України. Також проведено моделювання динамічних

характеристик кулачкових механізмів привода впускних і випускних клапанів, результати якого підтверджують виконання умови без розривності кінематичних ланцюгів механізмів привода клапанів.

Отримані результати підтверджують, що використання у конструкції енергетичних установок тепловозів Д49 розподільних валів з новими безударними газорозподільними кулачками забезпечує високі значення «часу-перерізу» клапанів, безударну динаміку клапанного привода при виконанні усіх вимог та обмежень.

УДК 621.81

*В. С. Тищенко, В. І. Громов, М. М. Одегов*

**ВИЗНАЧЕННЯ ТА АНАЛІЗ ЗАКОНІВ РОЗПОДІЛУ  
ЙМОВІРНОСТЕЙ ВИНИКНЕННЯ ЗНОСІВ ТЯГОВИХ ЗУБЧАТИХ ПЕРЕДАЧ  
МОТОРВАГОННОГО РУХОМОГО СКЛАДУ**

*V. S. Tishchenko, V. I. Gromov, M. M. Odehov*

**DEFINITION AND ANALYSIS OF THE LAWS OF THE DISTRIBUTION OF  
PROBABILITIES OF WEAR OF TRACTION GEAR GEARS OF MOTOR-VEHICLE  
ROLLING STOCK**

Розглянуто особливості проведення статистичного аналізу результатів обміру зубців шестерен і коліс тягових зубчатих передач електропоїздів EP2, EP2P та EP2T, які експлуатуються на Південній залізниці. За трирічний період експлуатації (2015-2017 рр.) у зведеній таблиці у формі масивів для шестерен і коліс із відповідним номером і серією рухомого складу наведено значення товщин зубців за ділильними хордами. За результатами статистичної обробки наведених масивів

сформовані відповідні матриці, елементами яких є ймовірності появи тих чи інших зносів, відповідні до них математичні очікування, а також загальна дисперсія. З використанням отриманих матриць для тягових зубчатих передач розглянутих серій електропоїздів були побудовані гістограми і відповідні закони розподілу ймовірностей виникнення того чи іншого зносу. Розглянуто перспективи використання отриманих результатів при прогнозуванні залишкового ресурсу.

УДК 621.81

*В. В. Захарченко*

**РОЗРАХУНОК МІЦНОСТІ ЗУБЦІВ ТЯГОВОЇ ЗУБЧАСТОЇ ПЕРЕДАЧІ  
ШВИДКІСНОГО ЕЛЕКТРОВОЗА**

*V. Zaharchenko*

**CALCULATION OF DETECTION OF RAILWAY TRACKS OF TRANSMISSION OF  
SPEED ELECTRICITY**

У доповіді розглянуто обґрунтування вибору значень коефіцієнтів динамічного навантаження  $K_{HV}$  і  $K_{FV}$  при розрахунках зубчастих передач тягових приводів залежно від властивостей різних схем, що застосовуються у конструкціях швидкісних електровозів. Виконано аналіз особливостей технічних рішень швидкісних локомотивів, існуючих систем тягового привода швидкісного рухомого складу та показано, як впливає вибір основних технічних рішень на динамічні показники роботи тягового привода.

Отримано висновки, що по динамічних навантаженнях всіх основних вузлів привода (двигуна, корпусу редуктора, зубчастої передачі, муфти), а

також по навантаженнях на шлях найгіршим за динамічними властивостями виявляється тяговий привід з опорно-осьовим підвішуванням двигуна і жорсткою передачею (класу I), а найкращим – з опорно-рамним підвішуванням двигуна і редуктора (класу III). Приводи класу II займають проміжне положення за всіма показниками.

Виконані розрахунки міцності зубців демонструють вплив значень коефіцієнтів динамічного навантаження  $K_{HV}$  і  $K_{FV}$  на масогабаритні показники тягової зубчастої передачі при інших рівних умовах. Надано рекомендації щодо вибору вказаних коефіцієнтів при заданих міжосьовій відстані та матеріалі зубчастих коліс.

УДК 531.16:629.4.067

*Н. А. Аксьонова, О. В. Оробінський*

**АНАЛІЗ КІНЕМАТИКИ РУХУ КОЛІСНОЇ ПАРИ У ВИПАДКАХ  
СХОДУ З РЕЙОК**

*N. Aksenova, A. Orobinsky*

**ANALYSIS OF THE KINEMATICS OF THE MOVEMENT OF A WHEEL PAIR  
IN CASES OF DERAILMENT**

Схід вагонів з рейок – найбільш небезпечний інцидент, що приводить до тяжких наслідків. Небезпека полягає у тому, що виявити його для своєчасної зупинки поїзда досить складно, бо в даний час відсутні надійні системи розпізнавання

сходів. Тому вирішення проблеми своєчасного виявлення сходу вагонів має важливе як економічне, так і соціальне значення.

Побудова кінематичної моделі руху колісної пари після її сходу дозволить у

подальшому сформувати основні діагностичні ознаки сходу, а також на базі цієї моделі побудувати діагностичну модель сходу колісної пари.

У роботі визначається траєкторія руху колісної пари після її сходу з рейок, складається аналітичний вираз, що зв'язує рух колеса з параметрами верхньої будови колії (шпальної решітки), та виконується кінематичний аналіз руху колеса по верхній будові колії після сходу.

Висновки:

1. Визначено графічним способом траєкторію руху колеса після сходу його з рейок по шпальній решітці, яка виглядає як циклічна комбінація прямолінійних ділянок і сегментів кіл.

2. Отримано аналітичний вираз, що характеризує сход, пов'язує параметри верхньої будови колії (шпальна решітка) і колеса. Показано, що амплітуда і частота коливань колісної пари при її сході залежать від діаметра колеса, ширини горизонтальної поверхні шпали і відстані між осями шпал.

3. Виконано кінематичний аналіз руху колісної пари після її сходу.

Таким чином, розроблена кінематична модель руху колісної пари після її сходу визначає основні діагностичні ознаки сходу вагонів з рейок і дозволяє використовувати її у подальшому для побудови діагностичної моделі та створення датчиків сходу.

УДК 539.2: 621.9.047.7/785.5, 621.81

*О. В. Надтока*

## ОСОБЛИВОСТІ ПРОЯВУ КОНТАКТНОЇ ВТОМИ В ПІДШИПНИКАХ КОЧЕННЯ

*E. Nadtoka*

## FEATURES OF THE MANIFESTATION OF CONTACT FATIGUE IN ROLLING BEARINGS

Контактна втома при коченні – основна причина виходу з ладу підшипників кочення та інших деталей механізмів. На відміну від контактної втоми при коченні, при дослідженні поверхневої контактної втоми при коченні необхідно розглядати область, близьку до поверхні контакту (глибиною кілька мікрометрів), яка сильно піддається впливу локальних поверхневих напружень, пов'язаних з геометричними особливостями поверхні: шорсткістю, відхиленнями форми, вм'ятинами тощо. Вивчається розвиток поверхневого руйнування від втоми роликотідшипників шляхом моделювання механізму поширення руйнування, що спостерігається в експериментах, а також досліджується

розвиток поверхневої контактної втоми при коченні шляхом моделювання контакту та взаємодії з мікроушкодженнями поверхні, які створюють концентрації напружень.

При дослідженні руйнування при контакті кочення виконувалося моделювання початкової вм'ятини на доріжці кочення. За допомогою багатоступінчастого процесу моделювання може бути вивчений процес напружень від втоми для подальшої обробки з урахуванням критеріїв втоми, з метою оцінити руйнування від втоми, накопичене від початку випробування до поточного циклу навантаження. Експерименти проводилися на конічних роликотідшипниках. Експериментальні результати показали, що у випадку конічного роликотідшипника викрашування

поширюється спочатку поперек доріжки кочення, тобто в напрямку, перпендикулярному коченню. У загальному випадку в підшипниках з лінійним контактом найбільші напруження спостерігаються на бічних краях вм'ятини. Ці підвищені напруження стимулюють поперечне поширення uszkodження під час його початкової стадії.

Таким чином, можна зробити висновок, що у підшипнику з попередньо нанесеними вм'ятинами під впливом підвищених напружень на краях uszkodження виникають у напрямку, перпендикулярному до напрямку кочення, тобто первісне викрашування поширюється поперек доріжки кочення.

УДК 539.2: 621.9.047.7/785.5, 621.81

*О. В. Оробінський, Н. А. Аксьонова*

### МЕТОДИКА ПРИСКОРЕНИХ ВИПРОБУВАНЬ НИЖНЬОЇ ГОЛОВКИ ШАТУНА

*A. Orobinsky, N. Aksenova*

#### METHOD OF APPROVED TESTS OF THE LOWER PIPE

З метою зменшення витрат мастила транспортного форсованого дизеля були суттєво зменшені кінцеві вирізи в гільзі циліндра, необхідні для повертання шатуна.

У результаті зразковий шатун, потрібний для роботи з циліндром із зменшеними вирізами, значно змінився у зоні сполучення нижньої головки із стержнем. Товщина тіла нижньої голівки в указаній зоні зменшилась з 12 до 3,2 мм, а для збереження жорсткості до серединного ребра серійної головки були додані ще два ребра.

Для порівняльної оцінки надійності серійного та зразкового шатунів розроблено методику прискорених випробувань.

Для обрання схеми навантажень і випробувань проведено статичне тензометрування нижніх головок шатунів.

При стисканні силою 150 кН найбільше стискувальне напруження у серединному ребрі обох шатунів складало 140 МПа. При розтягу силою 15 кН найбільше розтягувальне напруження у ребрі серійного та зразкового шатунів склало відповідно 83 і 140 МПа. Навантаження при тензометруванні відповідало робочому циклу двигуна. У зв'язку із низьким рівнем отриманих напружень порівняно з границею втомленості (380 МПа) для сталі 18Х2Н4ВА та малою різницею у напруженому стані порівнювальних конструкцій прискорені випробування проводились при навантаженні у 5-6 разів вище експлуатаційних. Випробування на розтяг проводились на базі  $10 \cdot 10^6$  циклів, а на стиск –  $5 \cdot 10^6$  циклів.

Порівняльні шатуни пройшли випробування без нарікань, що дозволило рекомендувати їх до впровадження.

УДК 656.259/519.7

*О. М. Ананьєва*

## ВИДИ ЗАВАД, ЩО ДІЮТЬ У КАНАЛІ ЗВ'ЯЗКУ СИСТЕМ ЗАЛІЗНИЧНОЇ АВТОМАТИКИ

*О. М. Ananieva*

### TYPES OF INTERFERENCES WHICH WORK IN A COMMUNICATION CHANNEL OF SYSTEMS OF RAILWAY AUTOMATIC EQUIPMENT

Найважливішим із показників роботи систем залізничної автоматики є забезпечення завадостійкого приймання інформаційних сигналів, що спостерігаються на тлі сукупності завад, склад і характеристики яких динамічні і малопередбачувані. Всеосяжна модель завадової обстановки містить у собі компоненти, що носять як адитивний, так і мультиплікативний характер. При цьому сукупність завадових компонент, властива залізницям змінного струму, частково відрізняється від аналогічної сукупності, властивій залізницям постійного струму. На залізничному транспорті найпоширенішими завадами є імпульсні завади, викликані намагнічуванням кінців рейок і гостряків стрілок, завади, обумовлені близьким розташуванням залізничної колії та лінії електропередач, а також адитивні стаціонарні випадкові завади, що мають гаусівську щільність розподілу ймовірностей миттєвих значень.

При цьому адитивна суміш спостерігається у вигляді напруги  $u$  на затискачах приймальних обладнань ( $t$  – час):

$$us(t) + v_P(t) + v_E(t) + n(t), \quad (1)$$

де  $s$  – корисний сигнал;

$v_P$  – імпульсна завада;

$v_E$  – завада від ЛЕП;

$n$  – гаусівська стаціонарна випадкова завада.

Завада від ЛЕП може бути описана таким виразом:

$$v_E(t) = U_{mE} \cdot \sin(\omega_E t + \varphi_E), \quad (2)$$

де  $U_{mE}$  – амплітуда завади;

$\omega_E$  – кутова частота напруги ЛЕП, це відомий параметр;

$\varphi_E$  – початкова фаза завади від ЛЕП.

УДК 621.391:681.518

*О. М. Ананьєва, М. М. Бабаєв,  
В. О. Сотник (Південна залізниця)*

## НЕЙРОМЕРЕЖЕВА МОДЕЛЬ РОЗПІЗНАВАННЯ КОДІВ АЛСН

*О. М. Ananieva, M. M. Babaiev, V. A. Sotnyk*

### NEURAL NETWORK MODEL OF RECOGNITION OF CODES OF THE AUTOMATIC LOCOMOTIVE ALARM SYSTEM

Наведено результати розроблення та дослідження нейромережевої моделі розпізнавання часових параметрів

імпульсів, що призначена для побудови ефективного пристрою дешифрування кодів АЛСН.

Показано, що з урахуванням можливої реалізації моделі програмно-апаратними засобами доцільно перейти від безперервного до дискретного часу. Тоді до структури технічних засобів буде входити аналого-цифровий перетворювач сигналу (АЦП), який виконує відображення

$$U_{ALCH}(t) \rightarrow U_{ALCH}(t_i), \quad (1)$$

де період дискретизації АЦП  $T = t_{i+1} - t_i$ .

Окрім АЦП, дешифратор складається із двох функціональних частин: перетворювача тривалість-амплітуда (ПТА) та нейромережевого елемента розпізнавання (НЕР). Найбільш простою моделлю

ПТА є вираз, який відтворює лінійну залежність між тривалістю імпульсу або інтервалу:

$$R(t_i) = \begin{cases} R(t_{i-1}) + kT, & \text{якщо } U_{ALCH}(t_i) = 1, \\ R(t_{i-1}) - kT, & \text{якщо } U_{ALCH}(t_i) = 0 \end{cases}, \quad (2)$$

де  $k$  – коефіцієнт нахилу лінійної функції;  
 $R(t_{i-1})$  – амплітуда сигналу ПТА в попередній момент часу.

Для реалізації дешифратора обрано нейронну мережу з топологією 1-3-1 та логістичною функцією збудження нейронів. Модель може бути застосовано для розпізнавання інтервалів різної тривалості.

УДК 629.4.083:629.424.2

*В. С. Блиндюк, М. М. Бабаєв*

### МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ІСКРОВОГО СТРУМУ ТЯГОВОГО ДВИГУНА

*V. S. Blyndiuk, M. M. Babaiev*

### MATHEMATICAL MODEL OF SPARK CURRENT OF THE TRACTION ENGINE

У процесі експлуатації тягових двигунів (ТЕД) взаємопов'язаність електромагнітних процесів дає підстави вважати, що явища, які мають місце на поверхнях контакту щіток із колектором, створюють у струмі живлення специфічні

складові, які містять інформацію як про ці явища, так і про характер комутації окремих секцій або їх груп. Запропоновано схему заміщення ТЕД (рисунок), що дозволило описати інформативну щодо іскріння компоненту живильного струму.

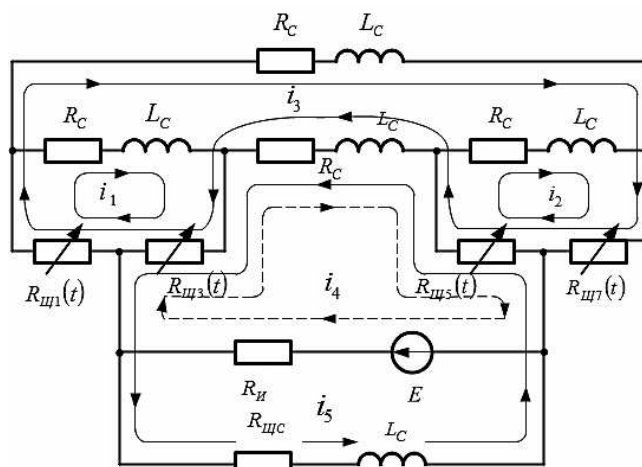


Рис. Спрощена схема заміщення тягового двигуна



Для схеми розроблено математичну модель іскрового струму ТЕД, що дозволяє встановити взаємопов'язаність електромагнітних процесів у двигуні з явищами, які мають місце на поверхнях контакту щіток

із колектором і створюють у струмі живлення специфічні складові, які містять інформацію як про ці явища, так і про характер комутації окремих секцій.

УДК 621.331

*О. І. Семененко, О. Д. Супрун,  
В. В. Панченко, Ю. О. Семененко*

### ЗАМКНЕНА СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУГИ ПЕРЕТВОРЮВАЛЬНОГО АГРЕГАТУ З АФС

*О. І. Semenenko, O. D. Suprun,  
V. V. Panchenko, Y. O. Semenenko*

### CLOSED SYSTEM OF AUTOMATIC VOLTAGE REGULATION OF THE TRANSFORMATION UNIT WITH AFS

Ефективність роботи системи тягового електропостачання залізниць постійного струму в умовах зростання швидкостей і вантажопотоків залежить від вирішення проблеми поліпшення електромагнітної сумісності та підвищення якості енергії живлення ЕРС, для чого пропонується застосувати в складі перетворювального агрегату тягової підстанції активний фільтр-стабілізатор (АФС) послідовного типу.

Мостовий перетворювач напруги АФС включений послідовно з основною випрямною установкою тягової підстанції, яка являє собою некерований дванадцятипульсний випрямляч. Система керування АФС з іншими елементами силової ланки АФС утворює замкнену САР, яка забезпечує активну фільтрацію і стабілізацію вихідної напруги тягової підстанції. Живлення перетворювача АФС здійснюється від ємнісного накопичувача енергії, включеного в діагональ моста. Для заряду ємнісного накопичувача передбачений трифазний мостовий

випрямляч потужністю 10 % від потужності основною випрямною установкою.

Пропонується також застосувати  $m$ -фазну структуру перетворювача напруги АФС послідовного типу, за рахунок чого буде підвищена в  $m$  разів частота ШІМ. При підвищенні частоти модуляції поліпшується якість стабілізації і швидкодія САР в перехідних режимах, а також якість формування напруги компенсації, що дозволить більш ефективно знижувати змінну складову вихідної напруги підстанції.

У результаті досліджень встановлено, що для підвищення ефективності тягового електропостачання постійного струму на ділянках з інтенсивним і швидкісним рухом доцільним є застосування замкненої САР напруги перетворювального агрегату з АФС. Вона забезпечує ефективне подавлення змінної складової вихідної напруги в широкому діапазоні частот, а також в умовах різкозмінних режимів навантаження підтримує її стабільний рівень на виході тягової підстанції.

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ГІБРИДНОГО ТЕПЛОВОЗА НА ІМІТАЦІЙНІЙ МОДЕЛІ

S.G. Buriakovskiy, A.S. Maslii, D.P. Pomazan

RESEARCH OF THE WORK OF THE HYBRID DIESEL LOCOMOTIVE ON THE SIMULATION MODEL

Для різних умов експлуатації раціональні режими водіння поїздів мають суттєві особливості. Це не дозволяє рекомендувати один режим ведення поїзда як оптимальний для всіх практично можливих умов руху по ділянці, оскільки навіть на одній і тій самій ділянці ці умови часто змінюються. Крім того, характеристики електричних машин і конкретних локомотивів залежно від їх технічного стану можуть у певних межах

відрізнятися від відповідних паспортних даних. Все це разом із відсутністю досвіду експлуатації гібридних тепловозів на залізницях України обумовлює необхідність створення імітаційної моделі такого локомотива для дослідження його експлуатаційних та економічних показників.

У результаті проведеного дослідження розроблено імітаційну модель гібридного тепловоза, функціональна схема якої наведена на рисунку.

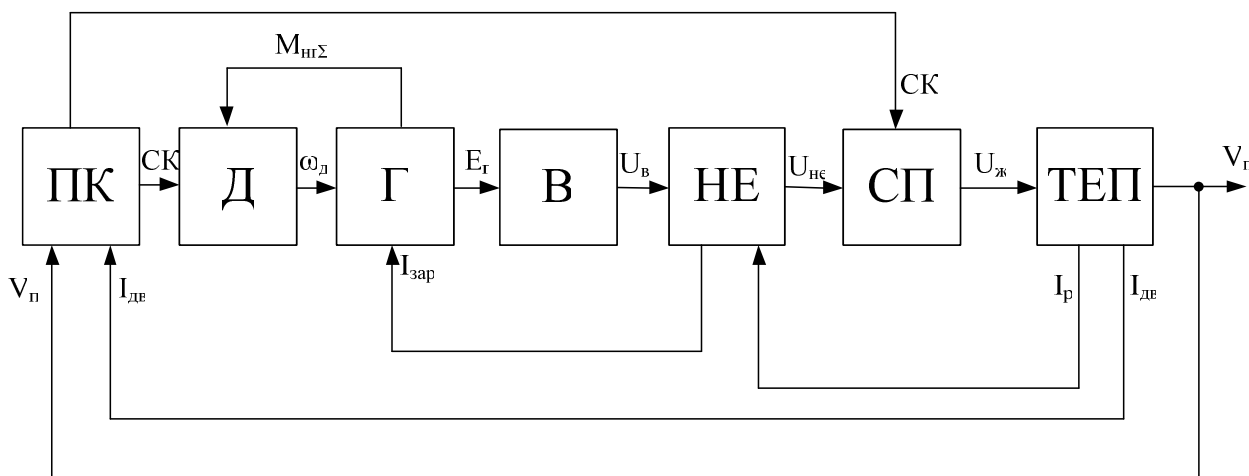


Рис. Функціональна схема імітаційної моделі гібридного тепловоза:

ПК – пульт керування; Д – дизель; Г – генератор; В – випрямляч; НЕ – накопичувачі енергії; СП – статичний перетворювач; ТЕП – тяговий електропривод

У результаті моделювання отримані осцилограми основних параметрів роботи тепловоза на ділянці Харків – Мерефа, що дозволяє зробити у подальшому

порівняльний аналіз запропонованої системи та базового маневрового тепловоза ЧМЕЗ.

УДК 629.4-592

*С. І. Яцько, Я. В. Ващенко, А. М. Сидоренко*

**ДОСЛІДЖЕННЯ ТЯГОВОГО АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА ІЗ  
СКАЛЯРНИМ ЗАКОНОМ КЕРУВАННЯ У РЕЖИМІ ЕЛЕКТРОДИНАМІЧНОГО  
ГАЛЬМУВАННЯ**

*С. І. Yatsko, Y. V. Vaschenko, A. M. Sydorenko*

**RESEARCH OF TRACTION ASYNCHRONOUS ELECTRIC DRIVE WITH SCALAR  
CONTROL SYSTEM IN THE MODE OF ELECTRODYNAMIC BRAKING**

Приведена розроблена математична модель тягового асинхронного електропривода зі скалярною системою керування з урахуванням процесу зчеплення колеса з рейкою, на основі якої проведено імітаційне моделювання даного типу привода в штатних та аномальних умовах роботи та запропоновано систему захисту від надлишкового проковзування та юза колісних пар. Її робота ґрунтується на обмеженні електромагнітного моменту тягового двигуна в разі виникнення надлишкового проковзування чи юзу колісної пари. Рівень обмеження електромагнітного моменту визначається двома показниками: величиною проковзування і швидкістю його зростання.

Неможливість прогнозування стану рейкового полотна в даний момент часу свідчить про складність визначення ділянок із задовільним коефіцієнтом зчеплення. Запропонована система захисту має декілька особливостей. Однією із них є визначення моменту закінчення ділянки шляху з низьким коефіцієнтом зчеплення за темпом зміни прискорення колісної пари,

що частково вирішує проблему визначення ділянок. Іншою особливістю є критеріальна оцінка умов подальшого розвитку надлишкового проковзування чи юза колісної пари. Це дає змогу оцінити необхідність подальшого коригування гальмівного моменту двигуна при проїздах достатньо малих ділянок з поганими умовами зчеплення коліс із рейкою. На рисунку приведено осцилограми перехідних процесів у тяговому електроприводі при наїзді на ділянку з низьким коефіцієнтом зчеплення довжиною 20 м у режимі електродинамічного гальмування.

Аналіз отриманих результатів імітаційного моделювання підтвердив коректність розробленої математичної моделі ТАЕП у всіх режимах роботи. Це дозволило провести повноцінне дослідження електромагнітних та електромеханічних процесів, що виникають у штатних та аномальних умовах у режимі електродинамічного гальмування і підтвердити ефективність роботи системи захисту від надлишкового проковзування і юза колісної пари.

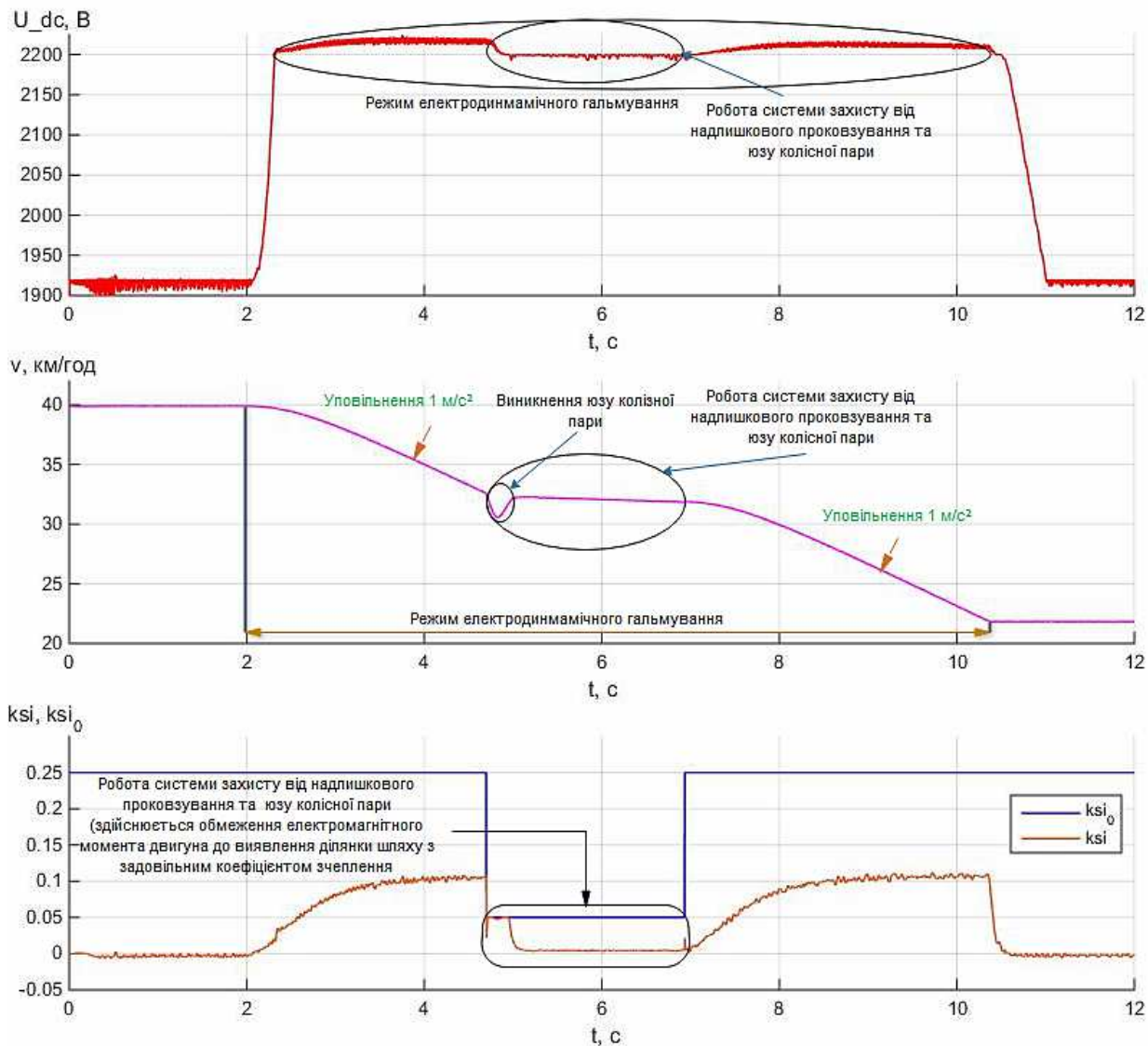


Рис. Осцилограми перехідних процесів у тяговому електроприводі при наїзді на ділянку з низьким коефіцієнтом зчеплення довжиною 20 м у режимі електродинамічного гальмування

УДК 621.3.015

*О. І. Акімов, Ю. О. Акімова, Д. Л. Сушко*

### ОЦІНКА МЕХАНІЧНОЇ МІЦНОСТІ ОПН В ПОЛІМЕРНИХ КОРПУСАХ

*A. I. Akimov, U. O. Akimova, D. L. Sushko*

### EVALUATION OF THE MECHANICAL STRENGTH OF OPN IN POLYMER HOUSINGS

Для захисту ізоляції пристроїв електропостачання та електричної тяги залізничного транспорту від перенапруг у теперішній час застосовуються обмежувачі

перенапруг нелінійні (ОПН) з високонелінійними резисторами – варисторами, які поміщаються у конструкцію з полімерного корпусу. Такі варіанти виконання ОПН

мають деякі недоліки. Усунення цих недоліків – актуальне завдання.

ОПН в полімерних корпусах можуть застосовуватися як в опорному (починаючи з напруги 330 кВ), так і в підвісному виконаннях (у тому числі на залізниці). Для обох варіантів виконання ОПН існує проблема підбору варисторів з однаковими характеристиками в усьому діапазоні можливих змін струму через них. Тому вони мають велику площину для забезпечення пропускної здатності. При цьому збільшується і висота колонки варисторів. Так, для найбільшої робочої напруги ОПН 252 кВ ця висота буде 1,45 м, але в такому випадку вони можуть

руйнуватися під дією власної ваги і зовнішніх факторів.

Виходячи з цього доцільним є проведення оцінки їх механічної міцності. Запропоновано оцінювати руйнівне навантаження підвісного ОПН за механічною міцністю склопластикових циліндрів, в яких розміщуються варистори.

Знаючи переріз циліндрів, їх середній діаметр, товщину стінки циліндра, визначено руйнівні навантаження.

Проведена оцінка показала, що механічна міцність склопластикових циліндрів з великим запасом забезпечує надійну роботу підвісних ОПН.

УДК 621.314

*М. М. Одегов, Н. П. Карпенко*

### **ПОЛІПШЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ ЕЛЕКТРОПОЇЗДА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ З ТЯГОВОЮ МЕРЕЖЕЮ**

*М. М. Odegov, N. P. Karpenko*

### **IMPROVEMENT OF THE ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY OF ELECTRIC TRAINS OF A DIRECT CURRENT WITH A TRACTION NETWORK**

Економічне становище українських залізниць і метрополітенів не дозволяє проводити широкомасштабну заміну електрорухомого складу на сучасний із асинхронним приводом.

Застосування тягового рухомого складу з імпульсними перетворювачами замість реостатної системи забезпечує підвищення коефіцієнта корисної дії системи електричної тяги, однак виникає проблема поліпшення електромагнітної сумісності електропоїздів постійного струму з тяговою мережею як на залізницях, так і в метрополітені і на міському транспорті.

Для поліпшення показників якості електричної енергії та сумісності із суміжними спорудами на тягових підстанціях постійного струму застосовують методи

активної фільтрації вихідної напруги. Пропонується застосувати методи для поліпшення електромагнітної сумісності електропоїзда постійного струму, оснащеного імпульсним регулятором, з тяговою мережею.

Проведено аналіз застосування активних фільтрів паралельного та послідовного типу. Встановлено переваги, які досягаються при використанні активних фільтрів послідовного типу. Підвищення якості формування напруги компенсації змінної складової досягається шляхом застосування високої частоти широтно-імпульсної модуляції. Для цього використовується інвертор напруги в силовій частині активного фільтра на базі сучасних MOSFET.

Для перевірки отриманих результатів проведено дослідження системи «тягова мережа – електропоїзд з імпульсним регулятором», яке підтвердило

ефективність запропонованого методу поліпшення електромагнітної сумісності електропоїзда постійного струму з тяговою мережею.

УДК 621.372:681.518.2

*І. Є. Флото, М. Г. Давиденко*

## ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ КОРЕЛЯЦІЙНОГО ПРИЙМАННЯ У РЕЙКОВИХ КОЛАХ

*I. Ye. Floto, M. G. Davidenko*

### A CORRELATION RECEIVING METHOD APPLYING IN A RAIL CIRCUITS

Розроблення та початковий період експлуатації рейкових кіл припали на час, коли рівень електромагнітних завад їх роботі був відносно низьким. Тодішні види, енергетика та часова інтенсивність завад не перешкоджали задовільному функціонуванню рейкових кіл при використанні приймачів прямого підсилення. Ускладнення заводової обстановки є фактором, урахування якого вимагає розроблення та застосування більш складних методів і пристроїв обробки сигналів.

Наявність адитивних завад призводить до помилкового спрацювання кінцевих датчиків рейкових кіл та (або) неправильного розпізнавання інформаційних сигналів. Послаблення завад шляхом їх частотної фільтрації за певними середньостатистичними показниками не забезпечує ані оптимального виявлення та розпізнавання сигналу в конкретній заводовій ситуації, ані адаптації приймача до зміни комплексу завад з плином часу. Цей комплекс і властивості його окремих складових наведено в роботі [1]. Як відомо, ефективним засобом виділення корисного сигналу із суміші із завадами є узгоджена фільтрація. Один з варіантів її реалізації – кореляційне приймання. Його застосування для виявлення сигналу тонального рейкового кола, який спостерігається на тлі

білого гаусівського шуму, розглянуто в статті [2]. Загальна методологія його використання для підвищення співвідношення «сигнал – шум» наведена в роботі [3]. Поширення такої методології на випадок двокомпонентної марківської завади розглянуто в статті [4]. Метою даної роботи є обговорення можливості поширення кореляційного методу приймання на випадок складного заводового середовища.

Найпоширенішим способом кореляційного приймання є обчислення кореляційної функції вхідної сигнально-заводової суміші та опорного сигналу, який відтворює корисний сигнал, що потрібно прийняти. Цей спосіб забезпечує прийнятні результати в умовах дії перешкод у вигляді випадкових процесів з постійними в часі статистичними характеристиками. З ускладненням заводового оточення дедалі поширенішою стає ситуація, коли приймання доводиться вести на тлі комплексу перешкод, в якому непередбачуваним чином змінюються склад і характеристики. З огляду на це, процесор приймального пристрою повинен коригувати алгоритм обробки відповідно до поточного заводового оточення. Для забезпечення можливості цього модель сигнально-заводової суміші повинна

містити всі можливі види завад. Відтак, маємо завдання приймання сигналу на фоні багатокomпонентної завади. При цьому більшість завад, характерних для рейкових кіл, є структурно детермінованими та дуже слабо корельованими між собою. За таких обставин оптимальна обробка полягає в окремому оцінюванні параметрів сигналу та кожної із завад з урахуванням взаємних кореляцій між сигналом і завадами. Ці поправкові складові вноситимуть уточнення у первісні оцінки, отримання яких базується на мінімізації різниці енергетичної та кореляційної сум [5] кожного з компонентів завади.

В умовах багатокomпонентного та нестационарного завадового оточення кореляційне приймання є ефективним методом забезпечення стійкої роботи рейкових кіл. Для цього його слід модифікувати так, щоб врахувати взаємний вплив сигналу та компонентів завади на отримувані оцінки інформаційних параметрів.

#### *Список використаних джерел*

1. Ананьева, О. М. Виды и параметры помех, действующих в канале связи автоматической локомотивной сигнализации

[Текст] / О. М. Ананьева, М. Г. Давиденко, М. М. Бабаев // Зб. наук. праць. – Харків : УкрДУЗТ, 2016. – Вип. 163. – С. 20-25.

2. Гончаров, К. В. Корреляционный путевой приёмник тональных рельсовых цепей [Текст] / К. В. Гончаров // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – Дніпропетровськ : ДНУЗТ, 2011. – Вип. 38. – С.188-193.

3. Torres, J. Digital Demodulator for BFSK Waveform Based Upon Correlator and Differentiator Systems [Text] / J. Torres, F. Phernandes, J. Habermann // Radioengineering. – 2014. – Vol. 23, No. 4. – P. 1161–1168.

4. Ananieva, O. Design of a device for optimal reception of signals against the background of a two-component Markov interference [Text] / O. Ananieva, M. Babaiev, V. Blyndiuk, M. Davidenko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – No. 6/9 ( 90 ), 2017. – P.4–9.

5. Ананьева, О. М. Приём информационных сигналов систем железнодорожной автоматики в условиях действия трёхкомпонентной помехи [Текст] / О. М. Ананьева // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2018. – № 1. – С. 24–28.

УДК 621.313.17

*О. Є. Зінченко*

### **ВИЗНАЧЕННЯ ВЗАЄМНОЇ ІНДУКТИВНОСТІ МІЖ ФАЗНИМИ ОБМОТКАМИ ВЕНТИЛЬНИХ РЕАКТИВНИХ ДВИГУНІВ**

*E.E. Zinchenko*

#### **DETERMINATION OF MUTUAL INDUCTANCE OF COIL OF SWITCHED RELUCTANCE MOTORS**

Вентильні реактивні двигуни (ВРД) відповідають усім технічним вимогам, які висуваються до стрілочних електроприводів. Аналіз електромагнітних та електромеханічних процесів у двигунах

неможливий без урахування взаємної індуктивності між обмотками статора. Питання обліку взаємної індуктивності між обмотками статора ВРД є істотним при побудові математичної моделі.

При обертанні ротора кути комутації постійно міняються. Тому власні взаємні індуктивності залежать від кута повороту ротора. При насиченні магнітного кола вони також залежать від струмів фаз.

Для експериментального визначення взаємної індуктивності на одну з обмоток фаз чотирифазного двигуна подавалася змінна синусоїдна напруга частотою 50 Гц. При декількох фіксованих напругах вимірювалися струм і потужність при різних кутах повороту ротора. Одночасно з цим вимірювалася ЕРС, наведена в обмотці фази, яка вимкнена.

Експериментальні залежності взаємної індуктивності від кута повороту ротора показані на рисунку. Причому перша група кривих описує залежності взаємної індуктивності між увімкнутою фазою і суміжною з нею, розташованою проти напрямку обертання при різній мірі насичення магнітопровода. Друга група –

аналогічні залежності для фази, розташованої по напрямку обертання.

З отриманих даних можна зробити висновки, що для різних фаз залежності взаємних індуктивностей від кута повороту ротора мають однаковий характер, але чисельно відрізняються. Також можна відмітити, що взаємна індуктивність увімкненої фази з фазами, поверненими на 90 електричних градусів, прагне до нуля.

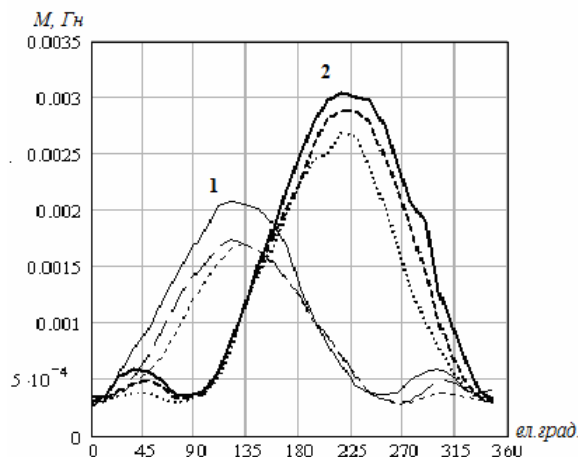


Рис.

УДК 621.314

В. П. Нерубацький, О. А. Плахтій

### ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ТЯГОВИХ ПІДСТАНЦІЙ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ ШЛЯХОМ ЗАСТОСУВАННЯ АКТИВНИХ ТЯГОВИХ ВИПРЯМЛЯЧІВ З КОРЕКЦІЄЮ КОЕФІЦІЄНТА ПОТУЖНОСТІ

V. Nerubatskyi, O. Plakhtiy

### INCREASING THE ENERGY EFFICIENCY OF DC TRACTION SUBSTATIONS BY APPLYING ACTIVE RECTIFIERS WITH POWER FACTOR CORRECTION

Одним з основних завдань силової електроніки є вирішення проблеми забезпечення електромагнітної сумісності напівпровідникових перетворювачів з електричними мережами. У сучасних умовах вимоги забезпечення якості електричної енергії висуваються на перший план при вирішенні питань передачі, перетворення і розподілу електроенергії як у промисловості, так і на залізничному

транспорті та є одним з найбільш пріоритетних питань енергопостачання на сьогоднішній день. У даний час існує тенденція посилення вимог вітчизняних і міжнародних стандартів, що висуваються до якості електроенергії та електромагнітної сумісності в цілому.

У процесі енергопостачання електричного транспорту в тягових підстанціях постійного струму відбувається



перетворення енергії змінного струму в енергію постійного. Найбільш широко в складі тягових підстанцій застосовуються шестипульсні і дещо рідше дванадцятипульсні діодні випрямлячі.

Дані схеми мають ряд недоліків: вони є потужним джерелом вищих гармонік струму в мережу живлення, мають низький коефіцієнт потужності, не забезпечують можливості регулювання і стабілізації вихідної напруги, а також можливість реалізації режиму рекуперації енергії з контактної мережі в живильну. Характерна форма споживаного струму шестипульсного випрямляча наведена на рис. 1.

Як видно з рис. 1, форма струму, що споживається тяговою підстанцією, має

значний вміст вищих гармонік. Вищі гармоніки вхідного струму, що генеруються у живильну мережу випрямними установками, викликають такі небажані явища: додаткові втрати в електричних машинах, трансформаторах і в самих електромережах; спотворення форми напруги живлення; ускладнюють компенсацію реактивної потужності за допомогою конденсаторних батарей; скорочують термін служби ізоляції електричних машин і апаратів, що призводить до зниження коефіцієнта корисної дії всієї системи електропостачання, а також технічних пристроїв, що живляться від неї.

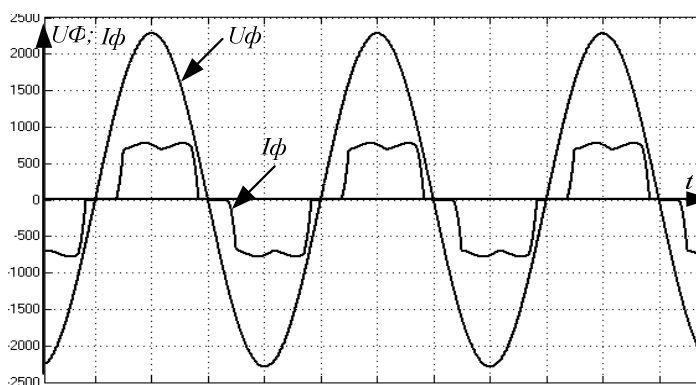


Рис. 1. Характерна форма вхідних напруг і споживаних струмів шестипульсного випрямляча

Таким чином, можна зробити висновок, що випрямні установки тягових підстанцій, які експлуатуються у даний час, не задовольняють міжнародні вимоги з електромагнітної сумісності перш за все за гармонічним складом споживаного струму.

Перспективним напрямом підвищення енергетичної ефективності в системах електропостачання залізничного транспорту є реалізація рекуперації енергії тяговими підстанціями в мережу живлення. При цьому важливим є забезпечення високої якості енергії рекуперації. У даний час, через відсутність необхідного обладнання, що забезпечує рекуперацію тягової підстанції, енергія, яка рекуперується електрорухомим складом,

гаситься на баластних реостатах. Таким чином, для підвищення енергетичної ефективності і виконання сучасних вимог електромагнітної сумісності, що висуваються до тягових підстанцій постійного струму, необхідно переглянути концепцію побудови перетворювальної установки тягової підстанції.

Перспективним є застосування активних трифазних випрямлячів з корекцією коефіцієнта потужності (АВН) у складі тягових підстанцій постійного струму. Це дозволить значною мірою покращити показники електромагнітної сумісності тягових підстанцій постійного струму з живильною і контактною мережами, якість вихідної напруги, а також

реалізувати двонапрявлену передачу енергії. Однією з таких схем активних трифазних випрямлячів з корекцією коефіцієнта

потужності є схема активного трифазного підвищувачого випрямляча на базі схеми автономного інвертора напруги (рис. 2).

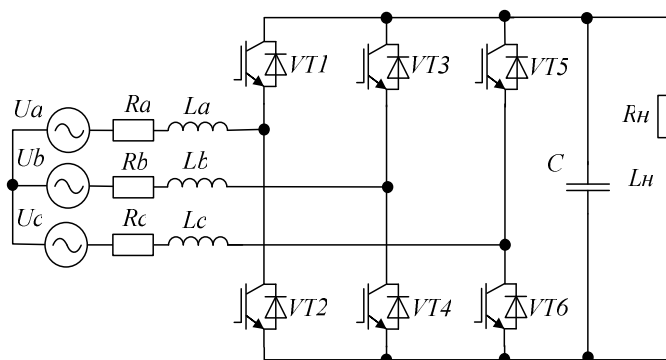


Рис. 2. Активний підвищувачий випрямляч з корекцією коефіцієнта потужності

До складу даного перетворювача входить шість керованих ключів з паралельними діодами (VT1-VT6); три вхідних дроселі  $L_a$ ,  $L_b$ ,  $L_c$ ; три вхідних опори  $R_a$ ,  $R_b$ ,  $R_c$ , що враховують активні опори вхідних дроселів; вихідний конденсатор  $C$  і  $RL$ -навантаження. Наявність повністю керованих ключів дозволяє досягати максимального ефекту в управлінні випрямлячем. Такі ключі можуть бути реалізовані на IGBT, MOSFET або GTO приладах. Це дозволяє виконувати комутацію ключів із частотою у кілька кілогерц. Основними перевагами активного підвищувачого випрямляча є низький вміст вищих

гармонік вхідного струму, близький до одиниці  $\cos(\varphi)$ , реалізація двонапрявленої передачі енергії, регулювання коефіцієнта потужності, можливість регулювання і стабілізації вихідної напруги.

**Висновки.** Впровадження АВН на тягових підстанціях постійного струму дозволить значною мірою покращити якість параметрів електроенергії, забезпечити виконання вимог електромагнітної сумісності, знизити практично до нуля споживану реактивну потужність, забезпечити двонапрявлену передачу енергії, що в цілому підвищить енергетичну ефективність всієї системи тягового електропостачання.

УДК 629.432

*А. В. Бондаренко, О. А. Плахтій*

### ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ТА МОДЕРНІЗАЦІЇ ТЯГОВИХ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ ДЛЯ ВАГОНІВ МЕТРОПОЛІТЕНУ

*А. Bondarenko, O. Plakhtiy*

### PROSPECTS OF DEVELOPMENT AND MODERNIZATION OF TRACTION ELECTRIC DRIVES FOR CARRIAGES SUBWAY

У місті метрополітен є основним видом транспорту. Питома вага метрополітену в загальноміських перевезеннях

досягає 60 %, при цьому він є найбільш зручним, надійним, комфортабельним і швидким видом транспорту.

Одним із основних завдань виходячи зі специфічних особливостей метро є забезпечення безпеки пасажирів, яка в першу чергу визначається надійною роботою рухомого складу. Приймаючи до уваги матеріальний знос рухомого складу, що суттєво впливає на безпеку руху у метрополітені, питання його заміни та модернізації існуючих одиниць є найголовнішим.

У даний час у метрополітенах України та країн ближнього зарубіжжя експлуатується більш 8000 вагонів різних моделей, випущених ще у минулому столітті. Основна маса вагонів метро укомплектована тяговим обладнанням, реалізованим на принципах контактно-реостатного керування з двигунами постійного струму.

В останній час у світі спостерігається тенденція переходу до тягового електропривода з тяговими асинхронними електродвигунами.

Відмінною особливістю роботи поїздів у метрополітені є висока частота

розгонів і гальмувань, отже, контактно-реостатна система керування, що застосовується у приводах постійного струму, є економічно не вигідною. Така система вимагає частого ремонту й обслуговування, тому що контактні пристрої мають невеликий час експлуатації у таких умовах. Це веде до значних матеріальних витрат.

При створенні електрорухомого складу нового покоління з тяговими асинхронними електродвигунами можливий цілий ряд технічних рішень за силовими схемами тягового електропривода.

В автономному інверторі напруги можуть бути використані як класичні дворівневі напівмостові інвертори, так і мостові інвертори, а також двофазні тягові асинхронні електродвигуни. Основними елементами в таких автономних є силові напівпровідникові ключі на базі біполярних транзисторів з ізольованим затвором (IGBT), здатні ефективно управляти складними електроенергетичними процесами в схемах тягового електропривода змінного струму.

УДК 629.423.1

*А. В. Бондаренко, А. Г. Масепен*

## ОСОБЛИВОСТІ СТВОРЕННЯ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА МАГІСТРАЛЬНИХ ЕЛЕКТРОВОЗІВ

*A. Bondarenko, A. Mastepan*

## FEATURES OF CREATION TRACTION ELECTRIC DRIVE OF TRUNK ELECTRIC LOCOMOTIVES

Підвищення ефективності залізничних перевезень багато в чому пов'язане з покращенням тягових властивостей локомотивів.

Потужність тягових двигунів сучасного рухомого складу – це 1,0÷1,4 МВт, подальше збільшення потужності неможливо через масогабаритні обмеження. Крім цього, це неефективно внаслідок обмежень навантаження від осі

на рейки, а саме у зв'язку із проблемами зчеплення колеса з рейкою. Тому подальше покращення тягових властивостей електрорухомого складу повинне вестися шляхом підвищення тягово-енергетичних показників електропривода, з одного боку, та ефективності використання зчпної ваги локомотива, з іншого.

Підвищити використання зчпної ваги, регулюючи сили тяги та гальмування

за граничними значеннями, можливо шляхом застосування автоматизованого тягового електропривода, що дозволяє реалізувати жорсткі тягові характеристики та звести до мінімуму вплив змін напруги контактної мережі та навантаження, що носять випадковий характер.

Для вирішення цих питань пріоритетним є застосування асинхронного тягового привода на електрорухомому складі залізниць, однак існує другий важливий напрямок, а саме використання у тяговому електроприводі електрорухомого складу залізниць вентильно-індукторного електропривода.

Повна конструктивна варіантність всіх частин тягового електропривода електрорухомого складу дозволяє

застосовувати більш прості технічні рішення для окремих частин електромеханічної системи тягового електропривода шляхом перенесення ряду функцій на інші компоненти.

Прикладами здійснення даного підходу є застосування на двосистемному рухомому складі:

– трирівневого автономного інвертора напруги на базі трифазного асинхронного двигуна, де присутня конструктивна варіантність перетворювача напруги;

– комутатора постійного струму та вентильно-індукторного двигун, де присутня конструктивна варіантність перетворювача напруги та тягового електродвигуна.

УДК 629.4; 621.436; 543.27

*А. П. Фалендиш, А. Н. Зиньківський,  
В. О. Гатченко, П. О. Харламов,  
О. М. Харламова, О. В. Клецька*

#### АНАЛІЗ МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ ЕКОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАНСПОРТНИХ ДВИГУНІВ

*A. Falendysh, A. Zinkivsky,  
V. Hatchenko, P. Kharlamov,  
O. Kharlamova, O. Kletska*

#### ANALYSIS OF METHODS OF MONITORING THE ENVIRONMENTAL CHARACTERISTICS OF TRANSPORT ENGINES

У країнах Західної Європі з 2009 р. у зв'язку із уведенням норм екологічної безпеки рівня «Євро-5» і «Євро-6» питомі викиди шкідливих речовин з газами, що відробили, дизелів транспортних засобів перевіряються за двома їздовими циклами – модифікованим 13-східчастим стаціонарним (ESP) і циклом випробувань на перехідних режимах (ETC), які прийшли на зміну циклу за Правилами №49-03 ЕЕК ООН. Крім того, димність газів, що відробили, дизелів оцінюється за новим циклом ELR, що замінює цикли Правил №83-02 ЕЕК

ООН. Згідно із цією вимогою параметри, що характеризують димність газів, які відробили, визначаються на двох режимах. Цикл ELR, тобто європейський тест реакції на навантаження двигуна, являє собою послідовність періодичних, східчастих змін навантажень дизеля при його роботі на чотирьох швидкісних режимах. Перші три (А, В, С) відповідають режимам циклу ESC, а четвертий – довільний.

При контролі на кожному із чотирьох перерахованих режимів навантаження змінюється не менше трьох разів, і в

кожному випадку вимірюється димність газів, що відробили. У даній технології є одне уточнення – навантаження при реалізації циклу ELR змінюється не прямо, а побічно. Однак виходячи з допусків, установлених для інших тимчасових інтервалів, можна зробити висновок, що максимальний час переміщення важеля навантаження не може перевищувати трьох секунд. Вважається, що даний момент процедури випробувань є найбільш важливим, тому що саме в цей час відбуваються процеси, які обумовлюють максимальні значення димності газів, що відробили. Але керування навантаженням дизеля, оснащеного всережимним регулятором при його роботі із циклу ELR з використанням двопозиційного регулятора, може виявитися проблематичним.

Щоб вирішити цю проблему, необхідно використовувати пряме

регулювання навантаження (пристрій, що навантажує, із системою автоматичного регулювання моменту опору) або пристрій керування важелем, що має зворотний зв'язок за моментом опору. Випробні стенди дизелів обладналися димоміром «Хартридж МК-3», мод. НК-158, програматором для керування пристроєм, що навантажує, і механізмом привода важеля паливного насоса високого тиску. Димомір даної моделі оснащений системою автоматичної підтримки тиску газів на його вході.

Крім того, відповідно до вимог Правил № 83-06 ЕЕК ООН при екологічних випробуваннях необхідно визначати максимальні значення димності газів, що відробили, дизеля на режимах, які встановилися, за зовнішньою швидкісною характеристикою і на режимі вільного прискорення.

УДК 536.242

*О. О. Алексахін, О. В. Панчук*

### **ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ТЕПЛООБМІНУ У КАНАЛАХ СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ ТЯГОВИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ**

*О. О. Aleksahin, O. V. Panchuk*

### **INTENSIFICATION OF HEAT EXCHANGE IN CHANNEL OF RAILWAY MOTOR COOLING INSTALLATION**

Одним із напрямків вирішення завдання підвищення теплотойому в елементах теплоенергетичного обладнання і системах охолодження транспортних засобів є штучна інтенсифікація процесів теплообміну за допомогою різних пристроїв. Найбільш поширеними є такі два напрямки інтенсифікації теплообміну: збільшення коефіцієнтів тепловіддачі за рахунок створення підвищених рівнів турбулентності зовнішнього потоку та використання поверхонь зі штучною шорсткістю.

Інтенсифікація процесів теплообміну у каналах системи охолодження тягових електродвигунів (ТЕД) при фіксованій площі поверхні теплообміну дозволяє зменшити необхідну швидкість руху охолоджувального повітря у каналах, а отже, і зменшити потужність, що витрачається на прокачування повітря.

У роботі розглядаються питання визначення діапазону зміни витрат повітря для охолодження ТЕД в умовах застосування стрічкових завихрювачів для інтенсифікації процесів перенесення теплоти.

УДК 621.438

*В. І. Рубльов, Н. М. Отрешко*

## ПРОЦЕСИ У КАМЕРАХ ЗГОРЯННЯ ГАЗОТУРБІННИХ УСТАНОВОК

*V. Rublov, N. Otreshko*

### PROCESSES IN CAMERAS OF GAS TURBINE ENGINE

Сучасні газотурбінні установки (ГТУ) працюють за циклом Брайтона при  $p = \text{const}$ . Але, як відомо, існують розробки із застосуванням циклу з  $v = \text{const}$ , які в деяких областях можуть дати помітну вигоду. Особливо це стосується ГТУ з невеликим ступенем підвищення тиску, в результаті чого можна збільшити потужність і підвищити економічність зі збереженням маси установки.

При роботі ГТУ з  $p = \text{const}$  швидкість тепловиділення впливає на вибір конструкції та розміри камери згоряння і не впливає на потужність і ККД установки. А при роботі ГТУ з  $v = \text{const}$  за рахунок зменшення швидкості потоку збільшується тривалість згоряння паливоповітряної суміші і тривалість самого циклу.

При виході з камери згоряння газ здійснює роботу, розширюючись у турбіні. Від характеру процесу розширення залежить ККД турбіни і її дійсна робота.

В ідеальному циклі  $v = \text{const}$  нагрівання паливоповітряної суміші супроводжується виділенням теплоти, а тиск визначається як в ізохоричному процесі. У цьому ви-

падку характер наповнення камери згоряння впливає тільки на температуру газів.

Реальний же цикл відрізняється від ідеального. У реальному циклі, який реалізується у ГТУ, в результаті процесу згоряння паливоповітряної суміші, відбувається зміна складу робочого тіла. Підведена кількість теплоти до повітря, залежить від нижчої теплоти згоряння при постійному об'ємі і відносної витрати палива.

Основний показник робочого процесу в камерах згоряння ГТУ – це коефіцієнт повноти згоряння. Даний коефіцієнт залежить від багатьох показників: властивості, складу і стану паливоповітряної суміші; способу сумішоутворення і ступеня турбулізації паливоповітряної суміші; температури і тиску повітря. Теоретичні дослідження показують, що існує можливість досягти достатньо високої повноти згоряння у ГТУ з  $v = \text{const}$ , порівнянно з циклом при  $p = \text{const}$ .

Для установок з невеликим ступенем підвищення тиску термічний ККД у порівнянні з циклом підведення теплоти при постійному тиску може збільшитися до 20 %.

УДК 681.51:621.575

*Ю. А. Бабіченко, Є. Д. Сучкова, Г. С. Ткач*

## ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ В АМІАЧНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

*J. A. Babichenko, E. D. Suchkova, G. S. Tkach*

### ENHANCEMENT OF ENERGY EFFICIENCY OF COOLING SYSTEM IN AMMONIA PRODUCTION

Протягом останніх десятирічь актуальною залишається тенденція зменшення

енергоспоживання, що також стосується базових агрегатів України серії АМ-1360.

Найбільш енергоємним є процес отримання продукційного аміаку конденсацією із циркуляційного газу в блоці вторинної конденсації, який складається із двох стадій. На стадії первинної конденсації холодильний агент використовується атмосферне повітря. На стадії вторинної конденсації – рідкий аміак, який генерується двома водоаміачними абсорбційними холодильними установками (ВАХУ) і турбокомпресорним холодильним агрегатом (АТК), який споживає близько 50 % електроенергії від загального об'єму, що споживається агрегатом синтезу АМ-1360.

Виключення АТК із системи вторинної конденсації можливо за умов підвищення холодопродуктивності ВАХУ. Однак за існуючої технологічної схеми ВАХУ неможливо досягти суттєвого підвищення її холодопродуктивності у весняно-літній період через залежність

температурного режиму конденсації продукційного аміаку у випарниках від температури атмосферного повітря.

У весняно-літній період необхідно збільшити холодопродуктивність кожної ВАХУ, що можливо за рахунок штучного підвищення тисків в абсорбері і конденсаторі, зниження тиску у генераторі-ректифікаторі та визначення оптимальної величини інтенсивності дренажу флегми з абсорбера. Таким чином, у подальшому енергоефективність агрегату синтезу може бути підвищена шляхом модернізації технологічної схеми, що передбачає виключення АТК, застосування пароежекторної холодильної установки, яка забезпечить можливість утилізації низькопотенціальної теплоти спрацьованої водяної пари та зниження витрати природного газу у допоміжний котел.

УДК 628.88

*О. В. Василенко, В. В. Гончарова,  
С. А. Левчун, А. А. Булгакова*

#### **ПРОВЕДЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО АУДИТУ ЖИТЛОВОЇ БУДІВЛІ ТА РОЗРОБЛЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ПАСПОРТУ БУДІВЛІ**

*О. Vasilenko, V. Honcharova,  
S. Levchun, A. Bulgakova*

#### **CONDUCTING ENERGY AUDIT OF HOUSING BUILDING AND DEVELOPING ENERGY BUILDING PASSPORT**

Сучасний стан економіки потребує рішучих дій у плані економії енергетичних ресурсів для підвищення її конкурентності на світових ринках. Основними споживачами таких енергетичних ресурсів, як тепла енергія, вода та електрична енергія є житлово-комунальний сектор. Тому зменшення споживання у секторі ЖКГ дозволить вирішити як економічні питання, так і зменшити соціальну напругу від різкого подорожчання ресурсів.

Було проведено комплексні дослідження і роботи з визначення теплових витрат будівлі, відповідно до Закону «Про енергетичну ефективність будівель». Згідно з ДБН В.2.6-31:2016 «Теплова ізоляція будівель» було проведено експериментальні дослідження і виконано розрахунки з визначення класу енергетичної ефективності будівлі.

Також у роботі наведено результати термографування зовнішніх огорожуваль-

них конструкцій із визначенням ділянок, на які припадають теплові втрати більше нормативних. Використовуючи отриману інформацію, визначено основні геометричні

та теплотехнічні характеристики будівлі, також коефіцієнти термічного опору стін, покрівлі, вікон, дверей і фундаменту будівлі.

УДК 658.264

*Р. В. Столяр-Марченко, Б. М. Кашуба, О. О. Алексахін*

## ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ЖИТЛОВОГО МІКРОРАЙОНУ

*R. V. Stolyar-Marchenko, B. M. Kashuba, O. O. Aleksakhin*

## INCREASE OF THE EFFICIENCY OF CENTRALIZED HEATING OF HOUSING MICROREGION

Системи централізованого теплопостачання великих міст складаються з таких основних елементів: джерела теплової енергії, теплові мережі, системи споживання теплоти. Для надійного функціонування складних систем теплопостачання створено проміжні ступені управління між джерелом і абонентами. Такими ступенями управління є теплові підстанції (теплові пункти), обладнання яких здійснює регулювання гідравлічних і теплових режимів, забезпечує облік споживання теплової енергії. Теплові пункти бувають індивідуальні і центральні. Індивідуальні пункти влаштовують безпосередньо в будівлі, де розміщені споживачі теплоти. Центральні теплові пункти (ЦТП) розміщують в окремій будівлі для обслуговування групи будинків. Наявність ЦТП у мікрорайонних системах обумовлює чотиритрубну розподільну мережу теплопроводів, що веде до значних втрат теплової енергії при її транспортуванні. Перехід від традиційної чотиритрубної схеми організації теплопостачання мікрорайонів до двотрубної дозволило помітно зменшити теплові втрати мікрорайонними теплопроводами. Вказаний перехід передбачає улаштування

на індивідуальних теплових пунктах будівель підігрівних установок гарячого водопостачання.

У роботі наведено порівняння результатів обчислення теплових втрат трубопроводами мережі мікрорайону для вказаних схем теплопостачання. Обчислення здійснено для таких вихідних даних: температура зовнішнього повітря дорівнює  $-2,1\text{ }^{\circ}\text{C}$  (середня за опалювальний період для кліматичних умов м. Харкова), трубопроводи прокладено у непрохідних каналах (температура ґрунту на глибині прокладання теплопроводів дорівнює  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), коефіцієнт обліку втрат теплоти конструктивними елементами теплової мережі становить 1,15. Показано, що перехід до двотрубної системи теплопостачання для розглянутої групи будівель дозволяє зменшити втрати теплоти теплопроводами приблизно на 7 %.

Проаналізовано також вплив втрат теплоти трубопроводами опалювальної мережі на витрати мережної води через мікрорайонну підігрівну установку гарячого водопостачання. Оцінки проведено для умов двоступінчастої змішаної схеми приєднання теплообмінних апаратів водопідігрівної установки до теплових мереж.



УДК 628.88

*Л. О. Пархоменко, В. Є. Дяченко*

### КОМПОНУВАННЯ ТА РОЗРАХУНОК ОСНОВНОГО ОБЛАДНАННЯ КОМПРЕСОРНОЇ СТАНЦІЇ

*V. E. Diachenko, L. O. Parkhomenko*

#### LAYOUT AND CALCULATION OF THE MAIN EQUIPMENT OF THE COMPRESSOR STATION

На сьогоднішній день стиснене повітря широко використовується у сучасній промисловості. Стиснене повітря – один з найпоширеніших енергоносіїв на будь-якому промисловому підприємстві, а сукупність пристроїв, пов'язаних з його обробкою і розподілом, є досить складною енергоємною енергетичною промисловою системою, від рівня досконалості якої залежать показники технологічних процесів, де використовується стиснене повітря.

Але найчастіше важливість правильного компоновання недооцінюється, в результаті це може привести до порушення технологічного процесу та збільшення витрат.

У роботі було проведено підбір і розрахунок основного обладнання компресорної станції.

Також було надано обґрунтування застосування рекуперації теплової енергії та проведено розрахунки рекуперації теплової енергії за допомогою води.

УДК 629.424.0

*А. П. Фалендиш, В. І. Рубльов, О. В. Рубльов*

### МОДЕРНІЗАЦІЯ МАГІСТРАЛЬНИХ ТЕПЛОВОЗІВ ШЛЯХОМ ЗАМІНИ СИЛОВОЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ

*A. Falendysh, V. Rublov, O. Rublov*

#### MODERNIZATION OF THE MAIN LOCOMOTIVES BY THE REPLACEMENT OF THE POWER PLANT

У нинішньому парку ПАТ «Укрзалізниця» у роботі знаходиться приблизно 1000 локомотивів, з них на електровози припадає близько 70 %, на тепловози – тільки 30 %. Парк тепловозів значно зношений і знаходиться у більш критичному стані, ніж парк електровозів. Згідно з даними ПАТ «Укрзалізниця» знос парку електровозів складає 93 %, а тепловозів – 99,8 %.

Тому потрібне кардинальне або поступове налагодження у всіх сферах

діяльності залізниці, а основне питання – це оновлення рухомого складу. Ця проблема стосується більше Львівської, Південно-Західної, Одеської залізниць.

Оновлення рухомого складу можна виконати за рахунок модернізації існуючого парку тепловозів. Існуючі дизелі можна замінити на сучасні двигуни Caterpillar, General Electric і т. д.

Також можна провести модернізацію тепловозів гібридними енергетичними установками, тобто використання дизеля з

різними типами накопичення енергії, установок на водневому паливі, газотурбінних установок і т. д. Спираючись на досвід таких країн, як Польща, Литва, Латвія, Молдова, Німеччина, які модернізували свій рухомий склад, можна

зробити висновок, що ця заміна дає зменшення затрат в експлуатації.

Для вибору типу модернізації необхідно виконати попередні техніко-економічно розрахунки з урахуванням життєвого циклу локомотива та оцінити його технічний рівень.

УДК 628.88

*Є. Є. Счастний, В. А. Зорянська, Є. А. Андрієнко*

### ОГЛЯД МЕТОДИК РОЗРАХУНКУ ІНСОЛЯЦІЇ ПРИ ВИЗНАЧЕННІ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ У БУДІВЛЮ

*E. E. Schastnyy, V. A. Zoryanskaya, E. A. Andrienko*

### REVIEW OF INSULATION CALCULATION METHOD FOR DETERMINATION OF HEAT SUPPLY IN BUILDING

У роботі розглянуті варіанти методик розрахунку надходження тепла на поверхні будівель і споруд.

У зв'язку з усе більш широким розповсюдженням систем центрального та місцевого кондиціонування повітря виникає необхідність точного обліку надходження тепла на горизонтальні і вертикальні поверхні будівель. Існуючі методики оцінювання таких теплонадходжень дозволяють якісно оцінити їх розмір. Але разом з тим дані методики іноді дають значний розкид у кількісному оцінюванні теплонадходжень. Ця проблема тісно пов'язана зі зростанням вимог до енергоефективності будівель, оскільки в зимовий час необхідно максимально збільшити розмір і тривалість інсоляції, а в

літній – навпаки максимально зменшити його.

У роботі розглянуті основні фактори, що впливають на розмір інсоляції. Відзначаються обмежені можливості основних використовуваних методів оцінювання сонячних теплонадходжень. Зроблено спробу оцінювання застосування зазначених методик і розмірів похибки в розрахунках при їх використанні.

Розглянуто варіанти методик розрахунку постачання тепла на поверхності будівель і споруд. Визначено фактори, що впливають на розмір інсоляції.

Виконано оцінювання точності визначення об'ємів інсоляції при використанні різних методик розрахунку.

**ВПЛИВ СИСТЕМНИХ ФАКТОРІВ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ  
НАСОСНИХ УСТАНОВОК**

*G. V. Bilovol, R. V. Muzirya*

**INFLUENCE OF SYSTEM FACTORS ON EFFECTIVENESS OF PUMP  
INSTALLATIONS**

На промислових підприємствах близько 60 % електричного навантаження споживається електроприводами нагнітаючого обладнання: насосами, вентиляторами, компресорами. Як показує досвід, ККД багатьох систем з електроприводами становить менше 50 %, а інколи – 15-20 %. Вони встановлюються і працюють роками, доки не з'ясується наявність втрат і значних збитків.

Аналіз ефективності роботи насосного обладнання необхідно проводити безпосередньо досліджуючи систему, по якій транспортується тепла енергія. Досить часто енергоефективний насос працює у неефективному режимі через несприятливу конструкцію і необгрунтовано підібране обладнання у системі теплопроводів. До системних факторів, що несприятливо впливають на характеристику насоса, коли він встановлений у системі, можна віднести:

- 1) дроселі регулювання витрати;
- 2) поворотні коліна на виході з насоса;
- 3) відгалуження теплопроводу;

- 4) різке звуження або різке розширення трубопроводу;
- 5) запірну арматуру;
- 6) вхідні напрямні апарати;
- 7) поворотні лопатки робочого колеса.

Оптимізація систем теплопостачання може допомогти ефективно використовувати ресурси, що є у наявності на підприємстві, та знизити обсяги споживаної енергії. А також слід зазначити, що енергія, яка витрачається впусту в неефективних системах, нікуди не зникає. Як правило, вона проявляється у вигляді руйнівної енергії: небажаного тепла, вібрації, шуму та пошкоджень системи. Це призводить до того, що ці затрати можуть значно перевищувати початкову вартість енергії, що витрачається впусту.

У роботі проведено порівняльний розрахунок обсягу споживаної електроенергії насосом при видаленні регулювального дроселя у подавальному трубопроводі заводської системи теплопостачання і встановленні частотно-регулювального приладу на електродвигун насосної установки.

## **ЗНОШУВАННЯ ПОВЕРХНЕВИХ ШАРІВ В УМОВАХ АДГЕЗІЇ**

*L. A. Timofeeva, I. I. Fedchenko*

### **WASHING OF SURFACE BARS IN ADHESION CONDITIONS**

Тертя і зношування матеріалу в умовах адгезії є складним багатofакторним видом навантаження, в результаті якого в поверхневих шарах матеріалів відбуваються зміни, безпосередньо пов'язані з утворенням деформованого, фрагментованого поверхневого шару і переходом від нормального механізму зношування до катастрофічного. Катастрофічне зношування можна охарактеризувати як різке і необоротне збільшення масштабу руйнування у поверхневих шарах зразка, порівнянне з розмірами самого зразка.

Структурні зміни в поверхневих шарах твердих тіл при терті в умовах, близьких до схоплювання, полягають в утворенні особливого поверхневого шару, структура якого сильно подрібнена під дією деформації, перемішування і генерується тертям тепла. Утворення такого шару пов'язується головним чином з перенесенням і перемішуванням фрагментів і частинок зносу на поверхні. Таким чином, формування шару йде поступово і не пов'язане зі зміною масштабного фактора.

Сплави на основі міді (латунь, бронза) у транспортному машинобудуванні застосовуються у парах тертя зі сталлю, де

реалізується ефект вибіркового перенесення. Має місце різке падіння коефіцієнта тертя при збільшенні навантаження і швидкості ковзання.

Тертя в умовах, близьких до режиму схоплювання, супроводжується утворенням шару матеріалу з розмірами структурних складових у частці мікрметра, що свідчить про інтенсивну фрагментацію. Наявність таких структурних складових призводить до зміни механізму деформації у поверхневих шарах, при цьому виявляється в'язкий механізм від течії шару до межі з нижнім матеріалом, що являє собою зону фрагментації.

Перехід у режим адгезійного схоплювання супроводжувався різким зростанням товщини фрагментованого шару, що свідчить про зв'язок між цими явищами. Морфологія шару і характер перебігу на межі з основним металом дозволяє припустити, що єдиним механізмом, здатним утворити такий шар, є механізм втрати зсувного опору попередньо фрагментованого матеріалу за рахунок температурного знеміцнення.

Таким чином, працездатність пар тертя залежить не тільки від вихідного стану поверхонь тертя, але і від структур, які утворюються у процесі тертя.

**ПІДВИЩЕННЯ МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗРАЗКОВОГО  
ВАТМЕТРА НВЧ ЗА РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ ФЕРИМАГНІТНОГО  
РЕЗОНАНСУ**

**INCREASE OF METROLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE EXEMPLARY  
MICROWAVE WATTMETER DUE TO THE USE OF FERROMAGNETIC RESONANCE**

У даний час для вимірювання потужності електромагнітної енергії НВЧ у промислових умовах використовуються ватметри, наприклад: DPM 5000-EX фірми «Bird Electronic Corporation», USA, R & S®NRP2 фірми "Rohde & Schwarz", M3 56, МКЗ-71 компанії "Меридіан". Похибка вимірювання потужності цими ватметрами становить 4-5 % .

Відомі зразкові пондеромоторні ватметри максимально наближені до еталона, вони мають похибку вимірювання потужності, що дорівнює 0,2 %. Використання цих ватметрів у промислових умовах неможливо, оскільки вони мають низьку механічну міцність. У пондеромоторних ватметрах підвісна система закріплюється тільки з одного боку.

Отриманої перетворювачем (мідний тонкий циліндр) механічної енергії від електромагнітної хвилі недостатньо, щоб повернути перетворювач за умови, що підвісну систему у ватметрі закріпити з двох кінців.

З точки зору точності вимірювання пондеромоторні ватметри мають істотні переваги в порівнянні з вищеперерахованими, тому що вимірювання потужності зводиться до вимірювання основних фізичних величин системи СІ – маси, довжини, часу.

Використання феримагнітного матеріалу як перетворювача електромагнітної енергії на механічну та застосування магнітного резонансу дозволили отримати достатню кількість механічної енергії для обертання підвісної системи пондеромоторного ватметра, закріпленої з двох кінців за допомогою розпірок або кернів.

При резонансі момент сили дорівнює  $(6 \pm 0,5) \cdot 10^{-8}$  Н·м, що в  $6 \cdot 10^3$  разів більше в порівнянні з моментом сил, досягнутим у відомих роботах.

Розроблено високоточний ватметр СВЧ з достатньою механічною міцністю і надійністю для промислового застосування. Випадкова похибка вимірювання потужності дорівнює 0,1 %.

**ДО ПИТАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СКЛАДУ ПОКРИТТЯ НА  
ТРИБОТЕХНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ЗАЛІЗОВУГЛЕЦЕВИХ СПЛАВІВ**

*L. Voloshyna*

**TO QUESTION OF RESEARCH OF INFLUENCE OF COMPOSITION OF  
COVERAGE ON TRIBOTECHNICAL OF PROPERTY OF IRON-CARBON ALLOYS**

Найбільше розповсюдження у машинобудуванні завдяки своїм властивостям, доступності, порівняній дешевизні отримали залізовуглецеві сплави. Поєднання пари тертя чавун-сталь найчастіше зустрічається у вузлах і механізмах машин транспортного призначення, особливо це відноситься до такого вузла, як масляний шестеренний насос двигунів внутрішнього згоряння.

У даній роботі досліджено нанесення покриття, сутність утворення якого полягає в обробці деталей перегрітою парою, що складається із водного розчину алюмохромфосфатного зв'язуючого.

Металографічні дослідження виявили на поверхні зразків покриття, яке має у своєму складі аморфні структури. Результати металографічних аналізів показали, що покриття має аморфну структуру. Рентгеноспектральний аналіз зразків підтвердив, що після нанесення покриття на поверхні зразків виявили наявність таких хімічних елементів, як Al, P, Cr. Результати фазового дослідження свідчать, що основними фазами

(кристалічними) на сталевих і чавунних зразках є  $Fe_2O_3$  та  $Fe_3O_4$ .

Також досліджувався вплив утворених структур покриття на триботехнічні властивості пари тертя, а саме зносостійкість, значення коефіцієнта тертя, припрацьовуваність.

Із порівняльного аналізу результатів дослідження впливу покриття із водного розчину алюмохромфосфатного зв'язуючого на триботехнічні властивості пари тертя із залізовуглецевих сплавів можна зробити висновок, що відбувається підвищення зносостійкості пар тертя у 3,8 разу за рахунок утворення на поверхні деталей аморфних структур,  $Fe_2O_3$  та  $Fe_3O_4$ ; також спостерігається скорочення періоду припрацювання пари тертя; значне скорочення часу на обробку деталі порівняно з традиційними технологіями ХТО; забезпечення дифузійного насичення у важкодоступних місцях; відносно невелика собівартість, ресурсозбереження та екологічна чистота завдяки низькій концентрації насичувальних елементів.

УДК 621.91.01

*Л. І. Путятіна*

## ДОСЛІДЖЕННЯ ОБРОБЛЮВАНOSTІ ВИСОКОМІЦНОГО ЧАВУНУ

*L. I. Putyatina*

### EXAMINATION OF MACHINABILITY OF HIGH-STRENGTH CAST IRON

Впровадження високоміцного чавуну у машинобудуванні потребує створення ефективних методів механічної обробки та поверхневого зміцнення чавунних деталей.

Високоміцний чавун з кулястим графітом характеризується значною структурною та хімічною неоднорідністю, яка впливає на його властивості, в тому числі на оброблюваність різанням. Тому актуальним є пошук напрямків її визначення та покращення.

Неоднорідна структура чавуну сприяє виникненню нестабільних навантажень на інструмент, що інтенсифікує втомний вид його зносу, який є переважним для більшості інструментальних матеріалів.

Для експериментальних досліджень циліндричні зразки виготовлялись з високоміцного чавуну з кулястим графітом, який використовується для виробництва відповідальних деталей транспортних двигунів (колінчастих та розподільчих валів, поршневих кілець, шатунів та ін.), такого хімічного складу: 3,5 % С; 2,7 % Si; 0,7 % Mn; 0,03 % P; 0,005 % S; 0,1 % Cr; 0,1 % Ni; 0,07 % Mg. Дослідження проводили на чавунних зразках, отриманих

з однієї плавки, які потім піддавались термічній обробці за різними режимами з отриманням структур металеві матриці чавуну з різним ступенем неоднорідності.

Виконані у роботі дослідження дозволили запропонувати комплексну характеристику чавуну, пов'язану з оброблюваністю, з коефіцієнтом неоднорідності  $K_n$ . Неоднорідність спричиняє виникнення нестабільних навантажень на інструмент, тому розрахунок  $K_n$  проводили за коефіцієнтом варіації миттєвих значень сили різання. Встановлено зв'язок між універсальним критерієм оброблюваності (швидкість різання при стійкості інструмента 60 хвилин) чавуну та коефіцієнтом його неоднорідності.

Оскільки оброблюваність залежить від коефіцієнта неоднорідності чавуну, одним із шляхів її покращення є термічна обробка, за допомогою якої можливо спрямовано змінювати структуру, тобто зменшувати неоднорідність. З точки зору оброблюваності, оптимальною є подвійна нормалізація, яка дозволила отримати чавун з найменшим коефіцієнтом неоднорідності  $K_n=1,26$ .

УДК 621.8-621.892

*С. С. Тимофеев, О. І. Цап, Д. Г. Воскобойников*

## ВІДНОВЛЕННЯ ЗАЛІЗОВУГЛЕЦЕВИХ СПЛАВІВ ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ РУХОМОГО СКЛАДУ

*S. S. Timofeev, O. I. Tsap, D. G. Voskoboynikov*

### RECOVERY OF IRON-CARBON ALLOYS OF GLADED DALE ROLLING STOCK

На теперішній час при відновленні зношених поверхонь деталей рухомого

складу можуть бути використані такі способи підвищення якості шару, де кожен

технологічний прийом має відповідну сферу застосування:

- через електродний дріт;
- через присадний матеріал;
- нанесення покриття перед наплавленням.

Заводами виготовляється кілька десятків марок електродного дроту суцільного перерізу, що забезпечують твердість наплавленого шару у широких межах (до МКС 50). Однак леговані дроти мають велику вартість. Це пояснюється складністю і трудомісткістю процесу їх виготовлення. З цієї причини не застосовують скручені електроди з дротів малого діаметра різних марок. Більш високу вартість мають порошкові дроти. Більшість з них випускається діаметром 2,4–3,2 мм, це обмежує область їх застосування для наплавлення, у зв'язку з тим, що зі збільшенням діаметра електрода зростає струм наплавлення, а отже, і нагрів самої деталі. Складність застосування подібних матеріалів полягає у різних значеннях коефіцієнта заповнюваності електрода. Це пов'язано з різними значеннями струму на оболонці електрода і щільності оболонки, що знаходиться всередині електрода. Тому це й призводить до індивідуального підбору електрода до тієї чи іншої відновлюваної поверхні, що недоцільно для поточних технологічних процесів.

Труднощі зварювальних робіт зростають при змінах структури чавуну,

викликаних тривалим впливом високих температур, а також проникненням у нього масел і продуктів згорання пального. При гарячому наплавленні (попереднє нагрівання деталі) і низькотемпературних процесах (паяння, паяння-зварювання) утворення зазначених дефектів менш імовірно. Чавунні деталі мають високу міцність на стик, відрізняються надійною роботою в умовах впливу знакозмінних навантажень, здатні гасити вібраційні викривлення.

Існує багато способів відновлення чавунних деталей, що включають до себе нанесення шару покриття, яке виконується чавунним електродом. Однак у даному способі відсутні підготовчі операції з видаленням дефектів і слідів зносу, в результаті чого наплавлений шар металу в процесі експлуатації буде відшаровуватися. Відновлення чавунних деталей може здійснюватися методом електрохімічної обробки з подачею електроліту через трубчатий електрод – інструмент проходить індукційне наплавлення шліфування наплавленої поверхні й оксидування в азотвмісній атмосфері. Основним недоліком даного способу є висока технологічність і неможливість забезпечити задану адгезію основного і наплавленого металу. Це не дає можливості якісного відновлення геометричних розмірів зношених деталей.

УДК 629.46:620.193

*Л. А. Тимофєєва, М. В. Грибанов*

### ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СПОСОБІВ ПІДВИЩЕННЯ КОРОЗІЙНОЇ СТІЙКОСТІ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ

*L. A. Timofeeva, M. V. Hrybanov*

### RESEARCH OF TECHNOLOGICAL METHODS OF INCREASING THE CORROSION STABILITY OF CARGO CARS

При перевезенні корозійно-активних вантажів (кислот, мінеральних добрив,

окатишів) зменшується перетин елементів у результаті корозійного зносу, а також



змінюється напружений стан вагонних конструкцій. Залізничний транспорт перевозить широку номенклатуру небезпечних вантажів: кислоти, зріджені гази, мінеральні добрива, нафтопродукти, будівельні матеріали, продукцію металургійної промисловості та ін. У свою чергу концентрація напружень підсилює механо-хімічну корозію, що призводить до істотного зниження несучої здатності, зменшення надійності і скорочення довговічності.

Особливої актуальності набуває питання вивчення корозійного впливу агресивних середовищ на міцність конструкцій при оцінці термінів і видів ремонту, а також для забезпечення надійної експлуатації вагонів протягом заданого терміну служби.

Дослідження вантажних вагонів, які вийшли з ладу внаслідок корозії, можна поділити на дві групи:

- із поверхневим руйнуванням металу;
- із внутрішніми структурними ушкодженнями, що виражаються у зміні з часом фізико-механічних характеристик металу.

Умови експлуатації вагонів, які використовуються для перевезення кислот, мінеральних добрив та окатишів характеризуються постійною взаємодією елементів конструкції з корозійно-активним середовищем.

Найважливішим завданням підвищення корозійної стійкості вважається планомірне впровадження нових технічних рішень і передових технологій. На теперішній час проводяться дослідження по розробленню технологічних способів підвищення корозійної стійкості металевих конструкцій. В основу захисту металевих конструкцій від корозії покладена ідея нанесення захисного покриття з утворенням поверхневого шару, що має у своєму складі такі хімічні елементи: хром, залізо, марганець, алюміній та ін. Для цього металеві зразки оброблювали в концентрованому водяному розчині хромофосфатів. Зразки з таким покриттям досліджувались на корозійну стійкість у порівнянні із зразками, обробленими за технологією з використанням суміші нанорозмірного порошку з подальшою обробкою лазерним випромінюванням. Як показали результати досліджень, час нанесення захисного покриття у три рази менше в порівнянні з існуючою технологією. Встановлено, що нанесення захисного покриття, що має у своєму складі такі елементи, як хром, залізо, марганець, алюміній та ін., забезпечує підвищення корозійної стійкості у 2-3 рази більше, а кількість технологічних операцій у 3-4 рази менше.