

Харківська державна академія залізничного транспорту

Разгонов Адам Пантелійович

УДК 656.212.5:658.011:681.3

Методологія підвищення надійності систем
залізничної автоматики і телемеханіки

05.22.08 - експлуатація залізничного транспорту

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Харків – 1999 р.

Дисертацією є рукопис
Робота виконана на кафедрі "Електронні обчислювальні машини"
Дніпропетровського державного технічного університету залізничного транспорту
міністерства транспорту України

Науковий консультант
доктор технічних наук, професор Босов Аркадій Аркадійович,
Дніпропетровський державний технічний університет залізничного транспорту,
зав. кафедрою

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор Соболев Юрій Володимирович,
доктор технічних наук, професор Ткачов Віктор Васильович,
Національна гірнича академія України (м. Дніпропетровськ),
зав. кафедрою "Автоматизація технологічних процесів";
доктор технічних наук, професор Шафіт Євген Миронович,
Дніпропетровський державний технічний університет залізничного транспорту,
зав. кафедрою

Провідна установа

Східноукраїнський державний університет, кафедра транспортних технологій,
міністерство освіти України, м. Луганськ.

Захист відбудеться "25" листопада 1999р. о 11 годині на засіданні спеціалізованої
вченої ради Д64.820.04 при Харківській державній академії залізничного
транспорту за адресою: 310050, м. Харків, пл. Фейєрбаха, 7, конференцзал.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Харківської державної академії
залізничного транспорту

Автореферат розісланий "22" жовтня 1999 г.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Запара В.М.

Загальна характеристика роботи

Актуальність теми дисертації

Структура і функціональні можливості систем автоматизації і механізації
транспортного технологічного процесу усе більше ускладнюються, підвищується
їхня відповідальність і роль в удосконалюванні перевізного процесу і забезпеченні
безпеки руху поїздів.

У умовах економічної реформи зменшилися інвестиційні можливості доріг у
будівництво і реконструкцію систем залізничної автоматики і телемеханіки (зат).
Це, у свою чергу, призводить до розширення полігонів доріг із старіючими
системами зат, що потребують у ряді випадків іншого підходу до вибору стратегії
профілактики і розробки заходів спрямованих на підвищення рівня безпеки й
експлуатаційної надійності систем зат. У зв'язку з цим проблема надійності
технічних засобів і оптимізації профілактичного процесу залишається однією з
актуальних.

У останні роки спеціалістами науки і практики вирішений ряд прикладних питань теорії надійності, технології обслуговування, побудови систем зат і ін. Проте ціле коло задач залишалось невирішеним або зовсім не було порушене. До них насамперед варто віднести питання оцінки впливу відмов систем зат на експлуатаційні показники залізниць і ефективність функціонування систем зат; створення методів наукового обґрунтування стратегії і норм обслуговування з використанням автоматизованих вимірювальних комплексів на базі еом; створення теорії аналізу і синтезу, розширення сфери існування електричних рейкових ланцюгів (рл) при зниженому опорі ізоляції рейкової лінії; методики збору й обробки інформації про відмови, обумовлених наявністю періоду приробітки; впливи на рл імпульсних перешкод тягового перемінного струму при ожеледеутворенні на контактній мережі; використання нелінійних властивостей зовнішньої характеристики джерел току, зокрема перетворювачів частоти пч 50/25, для підвищення ефективності рл; підвищення коефіцієнта повернення колійного приймача і захисту станційних лц від помилкового спрацьовування при деяких відмовах рейкової лінії. Усі згадані проблеми напрямки впливають на надійність і ефективність дії систем зат і безпека руху поїздів.

Таким чином, актуальність роботи визначена потребами розвитку методів і засобів підвищення надійності систем зат і безпеки руху поїздів.

Дана робота виконана в рамках державної програми по підвищенню надійності систем зат, планів розвитку галузі, планів ндр союзного міністерства шляхів сполучення й укразалізниці і діїту в період із 1970 по 1997 р.

Ціль і основні задачі дослідження

Ціль і основні задачі дослідження дисертації полягають у розробці теоретичних основ і практичних методів підвищення надійності системи зат.

Для досягнення поставленої цілі вирішуються такі задачі:

1. Створення методів розрахунку надійності, що враховують властиві пристроям зат особливості експлуатації, включаючи післяпусковий період.
2. Розробка математичних моделей для оцінки впливу відмов техніки зат на експлуатаційні показники залізничної ділянки.
3. Розробка оптимальної стратегії профілактики об'єктів зат; удосконалювання методик призначення допусків і вибору номінальних значень параметрів апаратури, що забезпечують задані ту показники якості функціонування систем зат.
4. Розробка методів аналізу і синтезу рл з урахуванням стохастичного характеру опоры ізоляції, безперервності зміни вихідної напруги в нелінійній області зовнішньої характеристики джерела сигнального струму в залежності від провідності навантаження, що дозволяє розширити робочу область рл по мінімальному опоры ізоляції.
5. Дослідження оцінки імпульсних перешкод, що впливають на рл і виникають при горінні дуги на пантографі електровоза в умовах ожеледеутворення.
6. Оптимізації параметрів джерел струму рл з заданою зовнішньою характеристикою (наприклад пч 50/25), створення математичних моделей і алгоритмів вирішення диференціальних рівнянь джерел струму.

7. Підвищення надійності систем зат шляхом розробки методів виміру і діагностики механічних параметрів електромагнітних апаратів інформаційно-вимірювальними засобами.

9. Розробка технічних засобів підвищення надійності систем зат і рекомендацій по їхньому застосуванню (рл, арм, джерел струму та інш.).

Виконання перерахованих задач має важливе народногосподарське значення для галузі, оскільки дозволяє підвищити надійність, оптимізувати параметри профілактики систем зат і, в остаточному підсумку, знизити експлуатаційні витрати при забезпеченні вимог до якості функціонування і безпеки систем.

Методи досліджень. Виконані дослідження базуються на теорії ймовірностей і математичної статистики, теорії надійності, теорії випадкових процесів, теорії аналізу і синтезу електричних рейкових ланцюгів, теорії диференціальних рівнянь.

Теоретична цінність дисертаційної роботи складається:

1. У розробці теорії і нових методів аналізу і синтезу рейкових ланцюгів на етапі проектування з урахуванням зниження опору ізоляції рейкової лінії, що забезпечує більш ніж на порядок підвищення їхньої надійності;
2. У створенні математичних моделей для оцінки впливу відмов систем зат на експлуатаційні показники залізничної ділянки.
3. У розробці методу оптимізації профілактики об'єктів зат та її стратегії за допомогою інформаційно-вимірювального комплексу.
4. У дослідженнях електричних процесів у силовому ланцюзі електровоза в режимі горіння дуги на струмоприймачі при ожеледях і створенні математичної моделі для оцінки рівнів виникаючих імпульсних перешкод і їхні впливи на рейкові ланцюги.
5. У розвитку методів іспитів на надійність релейної апаратури зат у нормальному і форсованому режимах і оптимізації періодичності ремонту.
6. У розробці методів аналізу і синтезу рл з урахуванням нелінійності зовнішньої характеристики джерел струму в режимі перевантаження.
7. У розробці експериментально-аналітичних методів виміру і діагностики механічних параметрів електромагнітних апаратів.
8. У створенні математичної моделі джерел струму, зокрема пч 50/25 гц, що дозволяють досліджувати їхні характеристики в залежності від провідності навантаження, включаючи область перевантаження.

Практичне значення отриманих результатів полягає в розробці технічних рішень по підвищенню надійності як на етапі проектування, так і при експлуатації систем зат. Розроблені методи стали основою для створення інженерних методик іспиту на надійність апаратури зат. Запропоновані методи аналізу і синтезу рл з урахуванням ймовірної природи опору ізоляції рейкової лінії послужили науковою основою для оптимізації параметрів на етапі проектування рл, розробки нормалей на них і удосконалювання методу обслуговування, а також для застосування тональних рл укороченої довжини як резерву низькочастотних рл. Запропоновані методи по оптимізації періодичності профілактики є науковою базою для зміни стратегії обслуговування релейної апаратури з використанням арм рту.

Дослідження параметрів транспортного потоку при відмовах систем зат за допомогою запропонованих імітаційної і ймовірної моделей є базою для встановлення диференційованого підходу до рівня надійності систем,

періодичності профілактики, матеріально-технічній забезпеченню з урахуванням реальних розміром руху поїздів.

Розроблені методи виміру електричних та механічних характеристик використані при розробці арм рту; підвищення (на 60...80%) коефіцієнта повернення індукційних реле, забезпечило поліпшені характеристики рейковим ланцюгам.

Розробка математичних моделей розрахунку послужила базою для удосконалювання конструкції пч 50/25 гц , що дозволяє одержати необхідні зовнішню характеристику і робочу зону генерації, розширити сортамент сталей для виготовлення магнітопроводів і задовольнити вимоги безпеки і сертифікації продукції.

Реалізація результатів наукових розробок

Теоретичні дослідження і практичні розробки виконувалися в рамках науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт, проведених по наказах мшс срср у період 1968... 78 рр, діту та укрзалізниці - у 1979...98 рр. Роботи виконувалися по темах:

1. Удосконалювання методів обслуговування й експлуатації пристроїв сцб (1968... 1978 рр).
2. Аналіз можливостей підвищення надійності рл при зниженому опорі ізоляції (1972 р.).
3. Автоблокування з рейковими ланцюгами 25/12,5 гц (1980... 1984 рр).
4. Стенд для перевірки реле сцб. Розробка пропозицій по створенню стенда на базі пеом (1983 р.).
5. Дослідження впливу електричної дуги між пантографом і контактним проводом під час ожеледі на рейкові ланцюги 25 гц (1985 р.).
6. Удосконалювання конструкції перетворювачів частоти пчр50/25-300 (1985... 1987 рр.).
7. Модернізоване автоблокування усаб-м (1986... 1989 рр).
8. Розробка мікропроцесорного пристрою контролю параметрів ел (1988, 1989 р.).
9. Розробка і проведення іспитів дросельних перемичок із малодефіцитних матеріалів (1994-1995 р.).
10. Розробка технічних рішень по захисту рл від перешкод тягового струму і нормалей на перешкодозахищені рл (1997-1998 рр).

Результати робіт використані головним управлінням сигналізації, зв'язку і от мшс рф і укрзалізниці, проектним інститутом "гіпротранссигнальсвязь" рф, калузькою філією московського електролампового заводу, елецьким електромеханічним заводом мшс рф і заводом "світлофор" укрзалізниці.

Роботи здійснювалися під керівництвом автора або при його особистій участі.

Використання рекомендацій по зміні періодичності ремонту релейної апаратури на дорогах союзу срср, забезпечило одержання економічного ефекту понад 5. 10⁶ руб. У цінах 1980 р. Впровадження рекомендацій по експлуатації і нормалей на рл в умовах зниженого опорі ізоляції знизило, більш ніж на порядок, число відмов і дало економічний ефект біля 200. 10³ руб./ Км рік (у цінах 1989 р.).

Основні результати теоретичних і експериментальних досліджень використані в робочих програмах навчальних курсів "основи надійності устроїв зал. Автоматики, телемеханіки і зв'язку", "перегінні системи автоматики і телемеханіки", у курсових і

дипломних проектах за фахом "автоматика і автоматизація технологічних процесів на зал. Транспорті".

Апробація і публікація результатів наукових досліджень, структура й обсяг дисертаційної роботи.

Апробація роботи. Основні положення дисертаційної роботи доповідалися і обговорювалися на галузевих нарадах "удосконалювання профілактики і вимір норм періодичності ремонту реле сцб" (ленінград, 1970 р.); "методи вимірів параметрів релейної апаратури в рту дистанцій сигналізації і зв'язку" (улянівськ - 1971 г); "задача груп і відділів надійності по підвищенню ефективності систем зат" (харків, 1972); "задача кафедр, "автоматика і телемеханіка" вузів мшс по удосконалюванню і підвищенню надійності пристроїв сцб" (москва, 1984 р.); "нарада експертів країн сзв по темі "реле сцб" (москва, 1977 р.); Міжнародної школі-семінарі "перспективи систем керування на зал., Промисловому і міському транспорті" алушта, 1996, 1997 рр); міжнародної конференції "розробка концепції розвитку устроїв зал. Автоматики і телемеханіки" (гомель, 1997); "автоблокування з рейковими ланцюгами 25 гц усаб (москва, 1988, 1989 р.); "підвищення надійності релейної апаратури" (ташкент, 1976 р.); "підвищення надійності роботи устроїв зал. Автоматики і телемеханіки" (свердловськ, 1975 р.), А також на науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу дніпропетровського державного технічного університету зал. Транспорт (дніпропетровськ, 1985-1995 рр).

Публікації. По темі дисертаційної роботи опубліковано наукових праць, у т.ч. 3 монографії, отримано 20 авторських посвідчень і виконано 19 звітів по науково-дослідних роботах, що пройшли державну реєстрацію.

Обсяг і структура роботи. Дисертація складається з вступу, шістьох розділів, висновків і додатку. Рукопис налічує 365 сторінок тексту, у т.ч. 286 сторінок основного тексту, 30 таблиць, 87 рисунків. Список літератури включає 218 найменувань.

Декларація конкретного особистого внеску дисертанта в розробку нових наукових результатів, що виносяться на захист.

У дисертації особисто автором виконані такі дослідження:

- Розширена область застосування методики знаходження невідомих параметрів заданого закону розподілу часу напрацювання на відмову стосовно до стендових іспитів на надійність, що дозволяє в 2...2,5 рази прискорити одержання інформації про надійність об'єктів;
- Установлено, що в післяпусковий період систем зат протягом 1,5...2 років перевищення початкової інтенсивності потоку відмов над сталим значенням може досягати 6...8 разів і дано рекомендації по посиленню профілактики в цей період;
- Методи ймовірного та імітаційного моделювання транспортного потоку при відмовах об'єктів зат, що дозволяють оцінити вплив відмов на пропускну спроможність і сумарні затримки поїздів;
- Математична модель і стратегія профілактики об'єктів зат із використанням інформаційно-вимірювальних комплексів на базі еом, що дозволяють істотно знизити експлуатаційні витрати;

- Удосконалена методика призначення допусків на параметри і встановлення номінальних параметрів об'єктів зат, що дозволяє в 1,5...2,0 рази збільшити міжремонтний період профілактики;
- Метод математичного моделювання електричних процесів при горінні дуги на струмоприймачі електровоза в умовах ожеледі, оцінки рівнів імпульсних перешкод, що призводять до збоїв рл і рекомендації по їхньому захисту;
- Методи аналізу і синтезу рл з урахуванням безупинної зміни вихідної напруги в області перевантаження джерела сигнального струму і з урахуванням "електричного" старіння і розподілу опору ізоляції, що дозволяють розширити область існування рл, провести об'єктивний вибір оптимальної довжини й обгрунтувати метод обслуговування рл.
- Теоретичні основи розрахунку перетворювачів частоти з урахуванням нелінійності зовнішньої характеристики в режимі перевантаження, що дозволяють одержати параметри перетворювачів, що розширюють робочу область рл по опорі ізоляції;
- Методи аналізу й алгоритми виміру і діагностики механічних характеристик електромагнітних апаратів, використані при розробці інформаційно-вимірювального комплексу;
- Дослідження засобів підвищення коефіцієнта повернення індукційного колійного приймача, що дозволяють більш ніж у 1,5 разу розширити області існування рл по опорі ізоляції.

Реалізація результатів досліджень підвищує надійність систем зат і безпеку руху поїздів.

Основні результати і висновки, що впливають із наукових досліджень.

У вступі обгрунтована актуальність проблеми і напрямки розробки теорії і методів підвищення надійності й оптимізації параметрів профілактики устроїв зат, що дозволяють знизити експлуатаційні витрати й удосконалити технологічний процес обслуговування; сформульована ціль дисертації і визначені основні задачі дослідження.

У першому розділі "проблема підвищення надійності й особливості оцінки її характеристик у системах зал. Автоматики і телемеханіки" приведений стислий аналіз задач по проблемі надійності і безпеки пристроїв зат, як-от: установа впливу відмов техніки зат на експлуатаційні показники зал. Ділянки, методи іспиту на надійність; оптимізація параметрів профілактики і стратегії ремонтно-профілактичних робіт із використанням сучасних вимірювальних засобів і еом; призначення допусків і номінальних значень параметрів об'єктів зат; методи аналізу і синтезу рл на етапі проектування з урахуванням зниження опорі ізоляції; методи оцінки імпульсних перешкод тягового току в режимі горіння електричної дуги на струмоприймачі електровоза при ожеледях і їхнього впливу на рл; теорії розрахунку й удосконалювання конструкції пч 58/25 гц із використанням нелінійних властивостей зовнішньої характеристики в області перевантаження з метою розширення робочої області рл; метод виміру механічних параметрів електромагнітних апаратів і ін.

Практична значимість перерахованих питань обумовлена втратами доріг по відмовах пристроїв зат унаслідок зниження питомого опорі ізоляції рейкової лінії;

недостатньої надійності окремих вузлів систем зат; відносно високим рівнем витрат на технічне обслуговування і ремонт, і ін.

Дослідження питань надійності і розвитку техніки айт знайшли відбиток у працях вітчизняних і закордонних учених: абрамова в.м., брилєєва а.м., босова а.а., барзиловича е.б., бочкова к.а., богданова д.ж., гнеденко б.в., дмитренко и.е., дружиніна г.в., іванченко в.н., кравцова ю. А., Кокурина и.м., котляренко н.ф., кораблева е.а., загарія г.и., лисенкова в.м., пенкіна н.ф., покровського м.а., пальчика л.в., назарова ф.а., сапожникова в.в., сапожникова вл.в., соболева ю.а., самсонкіна а.ф., строкова в.г., шалягіна д.в., шелухіна в.и., шаманова в.и. і ін.

При визначенні оптимальних значень параметрів надійності необхідно знати характеристики потоку відмов $h(t)$ елементів, починаючи від моменту введення систем в експлуатацію. Обробкою великого статистичного матеріалу про відмови систем електричної централізації з моменту пуску їх в експлуатації встановлена наявність періоду приробітки об'єктів 1,5...2 року.

До моменту пуску системи в ній завжди багато прихованих дефектів, що виявляються особливо інтенсивно в перші місяці експлуатації. При відповідній періодичності профілактики ймовірність відмов може бути істотно знижена. Розрахунок зміни сумарної інтенсивності відмов після пуску систем можна приблизно здійснити за рівністю

$$h^*(t) = (h_n - h_o) e^{-\psi t}$$

Де h_n, h_o - значення стаціонарної і початкової інтенсивностей відмов; ψ -

коефіцієнт апроксимації. Диференціюючи $[h^*(t)]'$ при $t < t_{np}$ з використанням експериментальних залежностей $h(t)$ - можливо знайти значення h_n, h_o і порівняти ефективність профілактики й оперативність впливу персоналу на процес приробітки пристроїв.

У розділі розглянута методика прискорення стендових іспитів при числі циклів іспитів $N_{и} < M \{N\}$, меншому їхнього математичного чекання. Задача вирішена за допомогою функції правдоподібності й експериментальних функцій щільностей і розподілу випадкової величини N . Застосування методики дозволяє в 2...2,5 разу прискорити одержання інформації про надійність виробу, а з урахуванням скорочення циклу комутацій - до 200 разів.

Проведений аналіз експлуатаційної надійності пристроїв зат на великім полігоні зал. І опрацювання статистичної інформації дозволили встановити причини і характер відмов, розподіл часу відновлення пристроїв; виявилось, що понад 65% відмов припадає на службу колії, біля 30% - зв'язку; більш 70% відмов відбувається вдень і у вечірній час між 8...20 год.

у розділі 2 "технічна ефективність систем зат і вплив їхньої надійності на експлуатаційні показники зал. Ліній" розглядається ефективність технічних систем, оцінкою якої в умовах експлуатації є надійність і безпека.

Розглянуто моделі оцінки ефективності автоблокування, у котрій вхідним потоком є потік поїздів, заданий графіком руху дільничної станції відправлення, а вихідним - потік поїздів, що прибувають на дільничну станцію прийому. У загальній

постановці задача оцінки ефективності функціонування аб зводиться до визначення параметрів вихідного потоку: пропускної спроможності, сумарних затримок, відхилень від заданої швидкості руху й ін. Усі ці показники носять ймовірний характер і по окремоті або в сукупності виступають у якості критеріїв ефективності системи, ув'язаних з характеристиками надійності і відновлюваності аб.

Задача вирішена методами графоаналітичним, імітаційним та ймовірним, що дозволяють досліджувати параметри транспортного потоку при відмовах аб. Алгоритм і методи розрахунків складені з використанням диференціального рівняння руху поїзда з урахуванням функціонального і технологічного рівнів роботи аб. При імітаційному моделюванні потік вхідних поїздів моделювався ерланговим та регулярним потоками, а швидкість вхідних поїздів - нормальним законом.

За результатами розрахунків визначені сумарні затримки від часу відновлення, що апроксимовані функціями

$$, \quad (1)$$

І втрати пс -

$$. \quad (2)$$

У виразах (1) і (2) k, τ, b - коефіцієнти апроксимації, N_0 - початкова пс; $h = J_P \cdot J_{KP}$; J_P, J_{KP} - відповідно розрахунковий інтервал і інтервал при відмовах.

З урахуванням (1) і (2) отримані щільності розподілу сумарних затримок Використовуючи вирази (3) і (4), знайдені середні значення сумарних затримок поїздів і пропускної спроможності від середнього часу відновлення.

Встановлено, що починаючи із середнього часу відновлення 0,5 1/год ріст середніх сумарних затримок помітно прогресує. Особливо інтенсивність затримок збільшується в міру росту розмірів руху, що визначає необхідність у розходженні стратегії обслуговування аб у залежності від розмірів руху.

Методам оптимізації міжремонтного періоду профілактики об'єктів зат посвячений **з розділ** дисертації.

Задачі профілактики систем досить складні і їх розглядають як екстремальні і відносять до оптимальних задач надійності.

Критерій - максимальна ймовірність працездатного стану E системи $x^*(\tau)$, у більшому ступені, ніж відомі економічні критерії, підходять до вибору параметрів профілактики релейної апаратури, від надійності якої залежить безпека руху поїздів.

Запропонована математична модель профілактики передбачає проведення за допомогою арму в моменти $\tau_0 < \tau_1, \dots, < \tau_m$ - вимір (діагностику) параметрів об'єктів і видачу прогнозу про час проведення чергової профілактики. У процесі прогнозу використовується експериментально-аналітична залежність $x(t)$, що характеризує знос об'єкта. Об'єкт залишається в роботі за умови, що він із заданою

ймовірністю проробить до чергової профілактики. Метод розгорнуто на реле 1 класу надійності.

Параметр $x(t)$ характеризує зменшення спільного ходу контактів реле, що визначають ресурс. Вважаємо, що, де ℓ_0 - максимальне значення спільного ходу після ремонту.
Введемо ймовірність і процес зносу наведемо системою диференціальних рівнянь (5)

Де $\Delta l = \frac{l_0}{N}$, λ_k - інтенсивності переходів марковського ланцюгу. Вважаємо, що початковий стан $x(0)$ - випадкова величина. Поклавши (6)

Одержуємо початкові умови до системи (5). Тому що, починаючи з номера $n \leq N$ з ймовірністю $P_k^* (k = n..N)$ об'єкт може відмовити, то ймовірність того, що в момент t відбудеться відмова

Де $P_k(t)$ - рішення системи (5) при п.у. (6) (7)

момент проведення першої профілактики τ_1 визначається з рішення задачі (8)

Для розв'язання системи (5) необхідно знати перехідні характеристики, що приймаються у вигляді

Де a, b, c - коефіцієнти, значення яких визначені з експериментальної залежності зносу (9)

Система (5) у матрично-векторній формі запишеться так (10)

Де (11)

Рішення системи (11) для довільного моменту подано у формі

Використовуваній при чисельному розв'язанні системи.

Розглянуто приклад застосування методу для оптимізації періодичності профілактики реле, складений алгоритм розрахунку на еом, подані результати при ймовірностях $\alpha = 0,001 \dots 0,1 \dots$

У розділі приводяться методика і результати експериментальних досліджень надійності апаратури зат і граничних іспитів; статистика про відмови. Прискорення

стендових іспитів реле у нормальному режимі досягнуто збільшенням частоти спрацьовування більш, ніж у 100 разів перевищуючи експлуатаційний темп роботи. Встановлено, що зменшення спільного ходу фронтів контактів відбувається по нелінійному закону (10). Використовуючи (10) при заданій ймовірності й умові відмови

Знайдено граничне число циклів комутації до відмови (ℓ_{np} - граничний хід). Запропоновано методику форсованих іспитів на надійність силової комутаційної апаратури - пускових реле зат. Обробка результатів здійснена засобом подвійної послідовної екстраполяції. У основу методики покладені експериментальні залежності

$$q = A_0 I^\alpha \frac{N_\phi}{N_H} = \frac{I_H^\alpha}{I_\phi^\alpha}, \quad (12)$$

Де q - питома витрата матеріалу контактів на цикл комутації,
 α, A_0 - коефіцієнти,
 N_ϕ, N_H - граничне число циклів у форсованому і нормальному режимах; і

Де знос h , тиск контактів $P_{\kappa, в}$ - коефіцієнти.

Результати вимірів подані в логарифмічних координатах $h - N$ і $I - N$ і визначено напрацювання на відмову у форсованому режимі при коефіцієнті форсування $\kappa_\phi = 2,2$. Максимальна величина $\kappa_{\phi max} \leq 2,6$ визначена з рівності

ймовірностей безвідмовної роботи в нормальному ε_0 і форсованому ε_ϕ^* режимах. Загальний коефіцієнт прискорення іспитів склав 600. За результатами обробки результатів іспитів визначені періодичності ремонту пускових реле.

У розділі розглянуті запропоновані методи вибору номінальних значень параметрів виробів і призначення допусків (параметрична корекція).

Один із методів визначення номінальних значень параметрів зводиться до того, щоб ймовірність $P = P\{\alpha < x < \beta\}$ була максимальною (α, β - допустимі межі зміни критерію якості). Метод ілюстрований на прикладі реле зат.

Нехай зміна параметра в процесі зносу описуються нелінійною функцією виду (10).

Умова перебування реалізації $\ell_i(N)$ в межах $[a, b]$

Тоді ймовірність виходу $\ell_i(N)$ за межі області $[a, b]$

(13)

Де .

Задано випадковим значенням номіналу ℓ_H - деякою величиною ε зсуву номіналу, щоб ймовірність (13) була максимальною. Для цього треба вирішити рівняння

$$,$$

Після диференціювання (14) і спрощень ,показано, що

$$,$$

Де $f(\ell_0), f(N_\Gamma)$ - одновимірні щільності розподілу випадкового процесу (10) у перетинах $N=0$ і $N=N_\Gamma$. Вибором граничного числа циклів, що відповідає

вимогам експлуатація реле, можна задовольнити умову $\ell(0) - \ell(N_\Gamma) \leq b - a$.

Тоді, диференціюючи (15) по ℓ_n , умова максимуму ймовірності $P(N_\Gamma, \ell_H)$ при номінальному значенні параметра $f_0(a - \ell_H) = f_{N_\Gamma}(b - \ell_H)$ для монотонного гаусова процесу запишеться у вигляді

$$,$$

Де $m_{\ell_0} = \ell_n$ - вихідне значення номіналу; , - відповідно м.о. і дисперсія випадкової функції (13).

Після підстановки в (10) дослідних даних визначено номінальний хід фронтів контактів. Допуски на параметри визначені з граничних іспитів.

Аналогічно отримані значення номінального ходу і допусків для тилових контактів.

другий метод вибору оптимального номіналу заснований на заданій ймовірності відмови виробу і необхідному напрацюванні N_Γ .

Екстремум реалізації (10) досягається в точці , а її екстремальне значення . Якщо початкове значення функції знаходиться в межах допусків , те для маємо $a \leq \ell_N \leq b$.

У нашому випадку процес монотонно не зростаючий, а значення величин $V > 0, W > 0$, тоді ймовірність того, що реалізація не вийде з допусків $[a, b]$ до напрацювання N_Γ

Якщо $\ell_{np} < \ell_n < \ell_0$, а необхідне напрацювання тоді

$$,$$

Де , - щільності розподілу випадкових величин ℓ_0, V і W .

Область інтегрування (17) по Y і Z при фіксованому значенні X обмежена зліва нижнім значенням \underline{Y} , поверх і знизу - крайніми значеннями \bar{Z} і \underline{Z} , а справа - відрізками прямих

Тоді (17) може бути записано

,

залежність $P_{отк}(\ell_n, N_\Gamma)$ побудована методами чисельного інтегрування. Аналіз показав, що отримані номінальні значення і допуски дозволяють збільшити ресурс реле, наприклад нмш, на 10^6 циклів і в 1,5...1,6 разів - міжремонтний період, підвищити надійність та безпеку зат.

Розроблені рекомендації по вибору допусків і номінальних значень параметрів, оптимізації періодичності ремонту апаратури зат у рту, що прийняті мшс галузі до впровадження на дорогах країн співдружності.

Четвертий розділ присвячений "дослідженню впливу електричної дуги між пантографом електровоза і контактним проводом при ожеледоутворенні на рейковій ланцюзі".

Досвідом експлуатації встановлене збільшення відмов пристроїв зат у період відкладень ожеледі, що супроводжуване перекриттям світлофорів на показання, що забороняють. Проблема заважаючого впливу (при деяких умовах і небезпечного) електричної дуги на пристрої зат є дуже актуальною науково-технічний проблемою, уперше поставленою автором. Експерименти показали, що

мінімальний опір дуги R_D складає 30...1000 Ом. У схемі заміщення (с3) силового ланцюга електровоза паралельно опору дуги включений елемент - повітряний проміжок п, опір якого змінюється відповідно до функції

Де коефіцієнт варіації параметра, а сінгум-функція $\text{sign} \sin \bar{\omega} \cdot t$ с кутовою частотою $\bar{\omega} \approx 9,66$ с-1. Схема заміщення включає: рівнобіжний контур із $r - L$ - ланцюга намагнічування трансформатора й опору r_2 навантаження і залучений до нього генератор напруги $U_{км} \sin(\omega t + \varphi)$ з внутрішнім опором r_1 . Диференціальне рівняння щодо току в колі $r - L$ i_3 має вигляд

Де - еквівалентний опір ланцюга; $U_{км}$ - амплітуда напруги на обмотці трансформатора. Вводячи позначення

$$(18)$$

Рішення (18) методом малого параметра при нульових ну з урахуванням позначень, прийнятих при одержанні (18), має вигляд

$$(19)$$

Максимальний потік може досягти розміру . У цьому випадку в ланцюзі намагнічування трансформатора буде максимальний кидок струму.

Для визначення струму i_3 апроксимуємо залежність $i(\psi)$ виразом

$$(20)$$

Де α, β - коефіцієнти апроксимації. Значення $y(t)$ підставимо в (20) і перетворимо з урахуванням розкладання функцій $sh(x_m \sin \omega t), \quad ch(x_m \sin \omega t)$ у ряди фур'є. Одержуємо, що

$$(21)$$

Аналогічно визначаємо струм $i_2(t)$, що відгалужується в коло навантаження трансформатора; струм електровоза .

У виразах для струмів $i_3(t)$ і $i_2(t)$ прийняті позначення: - коефіцієнти, що залежать від параметрів сз, фазових співвідношень між ними та функції Бесселя 1,2...n-го порядку.

Розрахунки показали, що амплітуда току електровоза в перехідному режимі досягає 550... 620 а, що добре узгоджується з результатами моделювання дуги в експлуатаційних умовах.

Визначено граничний коефіцієнт асиметрії й умови, що призводять до порушення роботи ланцюга.

Розглянуті два методи рішення цієї задачі.

Перший метод. Припускає лінійний режим праці колійних дроселів-трансформаторів (дт). Тяговий струм асиметрії не залежить від параметрів схеми релейного кінця (рк) і дорівнює

$$(22)$$

Де $\nu = 0,5K_a \varepsilon$ - коефіцієнт, який залежить від асиметрії рейкової лінії і умов розтікання тягового струму. У операторній формі напруга на обмотці приймача

$$U_n(p) = \nu \cdot i_{\Delta}(p) K_i Z_k(p), \quad (23)$$

У якій $K_i = (D_0(p))^{-1}$ коефіцієнт зниження струму рк; Z_k - опір рк (у розрахунках прийнята двониткова рл відповідно до нормалей рл 25-05с).

Після підстановки в (23) виразів для L - зображень струму й опорів і перетворень одержуємо оригінал напруги (23).

Встановлено, що тяговий струм збуджує в контурі "обмотка реле - фільтр" потужні гармоніки з частотами вільного коливання контуру, тягового току і кратних йому гармонік. Розрахунки показали, що амплітуда гармоніки, на частоті сигнального току, може досягати 169...187 у (потокозчеплення 110 вр і 125 вр) та визвати відмову рл; у запропонованій перешкодостійкої схемі амплітуда знижена в 2,5...2...2,8 разу, а логарифмічний декремент загасання процесу зріс у 4,2 разу.

Встановлено, що критичний коефіцієнт асиметрії в існуючій рл складає 0,063...0,075, у запропонованій схемі рл - 0,61...0...0,675

другий метод. Розглядає нелінійний режим праці дт. Розрахункова сз релейного кінця рл подана схемою з двох, паралельно залучених до джерела струму обурення

$i_{\Delta}^*(t)$ двополюсників - нелінійного, що заміщає коло намагнічування дт, і лінійного, що відповідає опоріві навантаження на частоті основної гармоніки тягового струму.

Залежність потокозчеплення від струму в сердечнику дт

,

Де a_1, a_2 - коефіцієнти апроксимації.

Напруга на нелінійному двополюснику

Диференціальне рівняння розрахункової схеми має вигляд

(24)

Де ; ; $\varphi(t)$ - функція збурення; k - постійна.

Рівняння (24) вирішено реверсивним методом. Струм i_L містить доданки виду $\theta_n e^{-n\xi t}$, $Ne^{-N\xi t} \cos \Omega t$ і ін., Де ω, Ω - частоти 50 гц і 25 гц. Виявилося, що індукція сердечників дт (дт. 1. 150) при найгірших умовах $\psi_{и} \rightarrow \max, i_L \rightarrow \max$ не перевищує 0,47 тл. Оцінка реакції схем рл на вплив вільної складової струму перешкоди показала, що сумарне зменшення входних опорів $Z'_{ВХН}, Z_{ВХК}$ не перевищує 24%, а напруги на колійному елементі - 21...23...23%. Цього явно недостатньо для порушення роботи пристроїв сцб.

Моделювання електричної дуги на струмознімачі електровоза в умовах експлуатації вперше проведено в листопаді 1983 р. На ст. Аккаржа одеської зал. І повторно - у травні 1997 р. На ст. Первомайская північно-кавказької зал. Спеціалістами кафедр аіт міту і діту при участі автора.

Обмірювані при моделюванні дуги величини параметрів добре узгодяться з отриманими розрахунковими даними. Розроблено схему перешкодозахищеного рейкового ланцюга з тимчасовим селектором, іспити якої на ст. Первомайская, підтвердили її переваги: збоїв у роботі при моделюванні дуги не спостерігалось. Нормалі на перешкодостійки рейкові ланцюги затверджені укразалізницею для ділянок доріг з інтенсивними відкладеннями ожеледі.

П'ятий розділ "методи підвищення надійності рейкових ланцюгів". Досвід експлуатації показує, що на деяких напрямках доріг "електричне старіння" ізоляції відбувається інтенсивніше, а рівень ізоляції має стійку тенденцію до зниження внаслідок дії різноманітних факторів (засмічення баластової призми солями, добривами і т.п., зниження асигнувань на колійні роботи й ін.). У період економічного спаду локалізувати дію цих факторів не представляється можливим. Традиційно теорія аналізу і синтезу рл використовувала чисельні значення розрахункових параметрів. Водночас, багаторічна практика показує, що параметри носять, узагалі говорячи, ймовірний характер. Автором у теорію проектування й аналізу рл впроваджена стохастична модель.

Уточнена експериментальна залежність опору ізоляції від температури t° і вологості ψ_0 має вигляд:

(25)

Причому

A - коефіцієнт, що залежить від виду і стану баласту;

B - постійний коефіцієнт.

Встановлено, що щільність розподілу опору ізоляції $g(r_u)$ визначається, головним чином, розподілом опору шпал і може бути описана усіченими розподілами - логарифмічно-нормальним і гауссовим (нова колія на залізобетонних шпалах).

Отримано аналітичні залежності граничного опору ізоляції від довжини рл $r_{np}(\ell)$.

Маючи функцію щільності $g(r_u)$ і залежність $r_{np}(\ell)$, можна одержати функцію відмови $f(?)$. Ця функція дозволяє встановити оптимальну (у смислі найбільшої ефективності рл) довжину ланцюга, що забезпечує мінімальну ймовірність відмови і витрати праці на її технічне обслуговування.

У розділі проведені результати оптимізації довжин рл у діапазоні від інфранизьких (>12,5 гц) до тональних частот.

Розглянутий метод оптимізації довжини рл послужив основою нового методу регулювання рл. На відміну від традиційного, метод припускає установку напруги

трансформатора живлення, розрахованого для $r_{np} \ll r_{нном}$ значення і, тим самим, дозволяє в 8...10 разів скоротити число нестало працюючих рл.

Інститутом "гіпротрансигнальсвязь" рф у 1988...90 р.р. розроблені нові нормалі рл з урахуванням розглянутого методу регулювання та оптимізації граничної довжини.

У розділі розглянуто метод підвищення працездатності рл, що використовує нелінійну ділянку зовнішньої характеристики (зх) джерела сигнального струму.

Метод ілюструється на прикладі перетворювача частоти 50/25 гц.

Вихідні напруги джерела току на межах області нестабільності використовуються для розрахунків нормального (ліва межа) і шунтового (права межа) режимів.

Ширина цієї області характеризується коефіцієнтом нестабільності навантаження K_{HH} , рівним відношенню потужностей навантаження на її межах.

Виявилось, що залежності коефіцієнта шунтової чутливості від довжини ланцюга $k_{ш}(x)$, побудовані з урахуванням властивостей зх, розташовані істотно вище такій самій залежності, розрахованій звичайними методами. Це підтверджує переваги аналізованого методу.

Встановлено, що при синтезі рл величину $|Z'_{BXH}|$ варто вибирати, по можливості, мінімальною, а модуль $|Z_{BXX}|$ максимальним (з урахуванням обмежень по контрольному режимі). У задачу синтезу, крім того, входить одержання

максимального ефекту по зниженню опору ізоляції r_{np} , оцінюваного коефіцієнтом

$$(26)$$

Де $r_{np}^{кл}$ - граничний опір, розрахований традиційними методами; r_{np}^H - теж, синтезоване запропонованим методом.

при синтезі й аналізі використовуються критерії, що характеризують області існування рл по основних режимах з тієї різницею, що у вираження для коефіцієнтів $K_{ш}$ і K_K - уводять коефіцієнти K_{CHH} і K_{CHO} враховуючі, на відміну від традиційних методів, безперервна зміна напруги джерела струму від навантаження,

$$(27)$$

Де x, r_I^{min}, r_I^{max} - символи, що позначають математичні операції по пошуку мінімуму або максимуму функції, причому $0 \leq x \leq \ell; r_{np} \leq r_I \leq r_I^{max}$;
 $Z'_{ПО}, Z'_{ПОШ}, Z'_{ПОК}$ - приведені опори передачі основної схеми заміщення (осз) в основних режимах; , , ;
 $K'_{ПЕР} = K_{ПЕР} / (K_U K_3)$ - приведений коефіцієнт перевантаження;
 $N = K_U / K_{ВН}$ - апаратний коефіцієнт;
 K_3, K_U - коефіцієнти запасу і нестабільності напруги мережі;
 $K_{ВН}$ - коефіцієнт надійного повернення.

При аналізі рл задані: коефіцієнт $K_{НН}$, модулі і аргументи вхідних опорів по кінцях рейкової лінії, довжина рл, опір ізоляції. Відповідно до програми розрахунку на еом обчислюється критична ордината шунта і коефіцієнт $K_{Ш}, K_{К}$, а на етапі синтезу вхідні опори по кінцях рейкової лінії за (27).

Шляхом синтезу рл встановлено, що для кожної частоти сигнального струму існує діапазон довжин рейкової лінії, що доставляють максимум критерію (26). У цьому діапазоні найбільше ефективно використовується аналізований метод: рл низьких частот (<75 гц) ефективні при довжинах більш 1500 м, тональних - при довжинах менше 500 м.

Ця особливість рл тональних частот використана в автоблокуванні типу абт. При опорі ізоляції $r_I > 0,3 \dots 0,50$ м.км ефективність ланцюгів вище, якщо частота струму 12,5...25гц (застосована, у системі усаб).

Використання властивості зх джерела струму для підвищення надійності рл потребує досліджень параметрів джерела струму, що задовольняють вимогам до траєкторії зх в області перевантаження.

Дослідження проведені на прикладі перетворювача частоти пч 50/12,5. У розрахунковій схемі є три нелінійних елементи: тиристор і дві індуктивності сердечників. Процес розподілу частоти за кожний полуперіод коливань контуру розбитий на чотири стадії, у продовження кожній із них стан усіх нелінійних елементів залишається незмінним.

Розглянемо систему рівнянь, наприклад для першої стадії процесів (виконано методом припасовування):

(28)

Де $u_1(\tau - \tau_1), u_2(\tau - \tau_1)$ - напруги мережі живлення, 50 гц і контуру 12,5 гц; τ_1 - закінчення 1 стадії; μ - диференціальна магнітна проникність на відрізок часу стадії; b_I, b_{II} - індукції в сердечниках; h_I, h_{II} - напруженості поля сердечників;
 ω - кутова частота; W_1, W_2, s, ℓ - витки обмоток, переріз і довжина середньої лінії сердечників; C - ємність вихідного контуру; r_H - опір навантаження; i_1, i_2, i_H - струми на вході, у контурній обмотці й у навантаженні.
 Перетворюючи систему (28), одержимо неоднорідне лінійне диференціальне рівняння другого порядку з постійними коефіцієнтами

, (*)

Де - коефіцієнти, що залежать від параметрів σ

A_1' - постійна інтегрування.

Рішення рівняння (*) має вигляд:

(29)

Де ; A_2' , A_3' - постійні інтегрування, визначаються з початкових умов:

- корені характеристичного рівняння.

З рівняння (29) визначені індукції в сердечниках і напруга на виході перетворювача $u_2(\tau_1)$.

Аналогічним шляхом отримані рівняння для інших стадій процесів і, по розробленій програмі на еом, отримані величини шуканих параметрів. Розрахунок напруг і індукцій ведеться доти, поки не буде виконана умова

$$u_2(\tau = n\pi) = -u_2(\tau = \pi(n + 1))$$

Порівняння теоретичних кривих і осцилограм відповідних процесів показало повний їхній збіг.

Отримані області стійкої роботи і перевантаження аж до повного зриву коливань у контурі. Модель дозволяє розрахувати коефіцієнт $K_{сн}$ при варіації параметрів

W_1, μ, B_S, ℓ, S . Встановлено, що розширення робочої зони, зменшення $K_{сн}$, а, таким чином, і ріст критерію (26), може бути досягнуте за рахунок збільшення поперечного перетину сердечників і конструктивних змін перетворювачів, розглянутих нижче.

Рекомендації, що впливають із досліджень, використані проектним інститутом гіпротрансигналовязь рф при упорядкуванні нормалей на рейкові ланцюги і заводами-виготовлювачами по удосконалюванню конструкцій перетворювачів частоти.

У шостому розділі дисертації "засоби підвищення надійності роботи систем зат" розглянута структура арму. Розроблений струмовихревий датчик переміщень і перетворювач, вихідним параметром якого є аналогова напруга, пропорційна

фізичному зазору реле. Арм фіксує криву руху якоря у часі $X(t)$ і дані про просторове положення контактів (крок 20 мкс) із реєстрацією в масиві пам'яті еом моментів комутації контактів. Ця інформація з заданого алгоритму обробляється, у результаті розраховуються механічні, електричні і тимчасові параметри реле.

Розроблено метод виміру контактного тиску, що полягає в рішенні системи рівнянь, які описують динамічний процес спрацьовування реле: (електричного ланцюга вмикання обмоток, переміщення якоря і тягового зусилля)

(30)

Де m - приведена маса рухливих деталей; X - переміщення якоря, яке визначається датчиком переміщень; CX - сила реакції контактних пружин. Функції $\psi(i)_{x=\text{const}}$ - експериментальні для даного типу реле. Вирішення системи (30) здійснюється

чисельними методами, причому визначаються тягові зусилля $F_{Эi}$ для кожного

моменту комутації i -го контакту. Протидіюча сила, що утворювана контактними пружинами $P_{Ki} = C\ell_{TCi} + C\ell_{Ti} = F_{Эi}$, знаходиться з рівнянь виду

Де ℓ_{Tn} - спільний хід n -го тилового контакту; C_T, C_0 жорсткість пружин тилового і загального контактів; x_n - схований хід n -го контакту; ℓ_{TCj} - схований хід j -го контакту.

Аналогічним образом отримані рівняння для пошуку схованих ходів фронтних контактів.

Запропоновано методику діагностичного контролю механічних параметрів реле, що розташовуються в блоках. Методика використовує рівняння руху і тягової сили реле (30). У формулу для $F_{Эj}$ входять: $i(t)$ - поточне значення струму в обмотці реле; μ_0 - магнітна постійна; δ_m, δ_κ - нормований і фактичний фізичні зазори; j - число ділянок руху якоря, S - переріз полюсного наконечника; R_{MO} - магнітний опір магнітопроводу і його стиків; W - число витків обмотки. Сила реакції пружин у рівнянні (30)

(31)

Де n - число контактних груп; E, J - модуль пружкості матеріалу і момент інерції пружин; ℓ_i - довжина пружини.

На кожній ділянці прямування розраховуються сили $F_{Эj}^*, F_{Pj}$ і прискорення. Хід якоря відшукується з рівності сил $F_{Эj}^* - F_{P1}$, причому сила $F_{Э}^*$ нормується ту. Обчислення по формулах (30) і (31) закінчується при досягненні мінімуму помилки $\min K_m \leq \gamma^*$, де γ^* - задана точність.

В даний час погіршилося становище з експлуатацією елементів рейкових ліній - дросельних перемичок (дп) і з'єднувачів (сэт). Актуальною є проблема використання для цих виробів малодєфіцитних матеріалів: сталь, сталь-мідь, сталь-алюміній. Запропоновано конструкції перемичок із цих матеріалів і методи вибору перетину перемичок, розроблені ту на виробі. Розглянуто особливості експлуатації дп, зокрема можливе помилкове порушення колійного приймача у ситуаціях: перша - замикання ізолюючого стику (іс) на межі суміжних рл " кінець живлення - релейний кінець", критичний опір перемички і наявність состава на колії. Розрахунки показали, що в типових фазочутливих рл (нормаль рл -25-эт50-с-8) при зростанні опору дп понад 0,25 Ом колійне реле замикає фронтів контакти (помилкова вільність). Контроль приймачем несправності буде надійним при опорі перемички більш 0,65 Ом. Якщо опір 0,25...0...0,650 м - небезпечна відмова рл можлива при одній відмові - іс (друга ситуація).

Приведено оцінки по теорії марківських процесів середнього часу до небезпечної відмови (перша ситуація) (0,09. 10¹² ч.). Час отримано при відмовах дп 0,75x10⁻⁶, іс - 2,75x10⁻⁶ 1/ч та ймовірності виникнення небезпечної відмови для інтенсивності становлення 0,9 1/ч.

Повна ймовірність того, що відбудеться перекриття інтервалів "простою" стику s_1 і s_2 (друга ситуація)

Де λ_2^* - інтенсивність відмови перемички.

Потік небезпечних ситуацій відбувається з інтенсивністю λ_1 , де λ_1 - інтенсивність відмови стику.

Для випадку відмови двох перемичок λ_c подвоїться, тоді середній час до небезпечної відмови $\bar{T} = 0,201 \cdot 10^{12}$ год., Якщо прийняти $\lambda_2^* = 0,28 \cdot 10^{-7}$ год $^{-1}$, $\tau_2^* = 10\tau_2$.

Оскільки небезпечна відмова - слідство двох розглянутих випадкових ситуацій, то середній час до небезпечної відмови зменшився до $0,069 \cdot 10^{12}$ 1/год.

Ймовірність небезпечної відмови протягом терміна експлуатації $t=20$ років на дорогах України складе $0,015$. Такою ймовірністю можна зневажити, тим більше, якщо врахувати, що час існування умов для появи небезпечної ситуації не перевищує, як показали розрахунки, $2,5$ ч.

У розділі розглянута математична модель параметричного генератора частоти з ортогональними магнітними полями (омп), що дозволяє одержувати зовнішню характеристику при зменшеному коефіцієнті нестабільності напруги навантаження $k_{сн}$. Поряд із цією проблемою вирішене інша, не менше важлива - розширення робочої області генерації частоти і поліпшення форми вихідної напруги генератора, що виключає небезпечні парні гармоніки в його спектрі. Ця проблема найбільш гостро проявилася при заміні гарячекатаної сталі на холоднокатану. Ці цілі досягнуті зміною конструкції магнітопроводу генератора.

Генератор омп у схемах живлення рл виконує відповідальні функції фільтра, фазозадаючого пристрою і стабілізатора напруги. У літературі практично немає досліджень генератора омп, тим більше стосовно рішення поставлених тут цілей. Крива намагнічування стали сердечників апроксимована функцією

$$H = \alpha sh\beta B, \quad (32)$$

Де α, β - коефіцієнти. Вектори потоків (індукцій) в обмотках сердечника збігаються з векторами напруженостей поля і визначаються з формул

$$\Phi^2 = \Phi_{\kappa}^2 + \Phi_n^2, \quad B^2 = B_{\kappa}^2 + B_n^2, \quad H_{\kappa} = H \frac{\Phi_{\kappa}}{\Phi}.$$

Рівняння генератора у вигляді

$$(33)$$

Де s, ℓ - переріз магнітопроводу і довжина середньої магнітної лінії; R_{κ} - опір навантаження; W - число витків контурної обмотки; ω - кругова частота контуру; $L_{д}$ - індуктивність додаткового магнітопроводу.

Розглянуто два не дисипативних випадки рівняння (33) ($L_D = 0$ і $L_D \neq 0, R_\kappa = 0$). У першому з них рівняння (33) приводиться до вигляду

$$, \quad (34)$$

Де $x \approx \Delta \beta B_\kappa$. Розкладаючи функцію в ряд Фур'є і приймаючи, де B_1 - амплітуда індукції накачування 50 Гц, B_0 - постійна складова, B_2 - амплітуда індукції контуру, отримуємо

$$, \quad (35)$$

Де Θ_0, Θ_1 - параметри, що залежать від індукції накачування. Рівняння (35)

належить до рівняння Хилла, у якому параметри Θ_0 і Θ_1 дійсні числа.

У випадку $L_D \neq 0$ рівняння (33) може бути зведене до варіаційного рівняння Хилла

$$, \quad (36)$$

Де Θ_{01} і Θ_2 - коефіцієнти, що залежать від параметрів генератора, індуктивності L_D та індукції накачування.

Умова меж області нестійкості періодичного рішення рівнянь (35) і (36) по першому наближенню має вигляд

$$(37)$$

Для першої області нестійкості $n=1, \delta = 0$, із (37) випливає, що

$$(38)$$

Підстановкою в (38) параметрів отримані залежності між індукцією накачування і коефіцієнта κ , що дозволяють визначити межі області нестійкості (біфуркаційні значення індукції на початку генерації і при зриві коливань). Розрахунки виконані для перетворювача частоти типу П50/25-40 (омп).

Встановлено, що вмикання індуктивності $L_D = 0, 1 \dots 0, 25$ Гн в контур призводить до істотного (у 1,5...1,7 разів) розширенню області нестійкості, що добре узгодиться з експериментом.

У розділі досліджені рівняння генератора у варіаціях для дисипативного випадку ($R_\kappa \neq 0$), що дозволяють врахувати при $L_D = 0$ і $L_D \neq 0$ впливи втрат на область стійкої генерації частоти.

Крім того, досліджувана область зміни амплітуди стаціонарних коливань 25 Гц при відсутності втрат у контурі для випадків $L_D = 0, L_D \neq 0$.

Для цього в (33) функція розкладалася у ряд Тейлора при $x_0 \rightarrow x_{max}$. У випадку $L_D = 0$ рівняння має вигляд

$$, \quad (39)$$

Де C_1, C_3 - коефіцієнти, що залежать від індукції накачування і конструктивних параметрів. Періодичне рішення (39) відшукувалося у вигляді

$x(\tau) = m \sin \tau + n \cos \tau$, та отримане вираження для дослідження амплітудних характеристик генератора.

Аналогічно отримане і вирішене рівняння генератора для випадку $L_D \neq 0$.
Встановлено, що при включенні індуктивності в контур амплітуда коливань змінюється незначно (<3%).

Експерименти підтверджують результати аналітичних досліджень: розширено область стійких коливань перетворювача (на 65%) та поліпшена форма вихідної напруги генератора.

Рекомендації по зміні конструкції магнітопроводів і інших параметрів перетворювачів частоти впроваджені на електричному заводі мшс рф і калузькій філії московського електролампового заводу рф, що випускають ці вироби.

У роботі розглянуто два шляхи підвищення коефіцієнта повернення k_v реле дсш, широко використовуваного на дорогах снд: оптимізація контактного натиснення і ходу контактів і зміна конструкції вузла, що створює "протимомент" руху сектора. Перший із них реалізує коефіцієнт повернення $k_v=0,641$ (збільшений на 42%), другий - 0,8.

Результати досліджень коефіцієнта повернення, використані ленинградським заводом мшс рф при модернізації індукційного реле і його модифікацій дсш.16 і дсш.15, а інститутом "гиротрансигнальсвязь" – при випуску нормалів на станційні рейкові ланцюги з реле типу дсш.16.

Основні результати і висновки

1. Сформульовано проблему підвищення надійності і виявлені особливості оцінки характеристик надійності пристроїв зат. При обробці статистики запропоновано враховувати той факт, що в післяпусковий період перевищення початкової інтенсивності сумарного потоку відмов над сталим значенням може досягати 6...8.
2. Розроблено графоаналітичний, імітаційний і ймовірний методи оцінки впливу відмов технічних засобів зат на експлуатаційні показники лінії залізниці - критерії ефективності функціонування систем зат: пропускну спроможність і сумарні затримки поїздів. Показано, що є доцільним диференційований підхід до рівня надійності систем зат, періодичності профілактики, матеріально-технічному забезпеченню дистанцій сигналізації і зв'язку в залежності від розмірів руху на ділянці.
3. Розроблено математичну модель оптимізації процесу профілактики, яка заснована на застосуванні марковських випадкових процесів, інформаційно-вимірювального комплексу (арму) і експериментально-аналітичних залежностей, що характеризують знос об'єкта. За допомогою арму виконується оцінка параметрів і робиться прогноз моменту проведення чергової профілактики, за умови, що об'єкт проработить до цього моменту з заданою ймовірністю. Модель розгорнута на основні об'єкти зат - реле.
4. Розроблено стратегію профілактичного обслуговування об'єктів зат, яка, на відміну від планово-попереджувальної, дозволяє зменшити долю замін реле до 15% і, тим самим здешевіти профілактику.
5. Встановлено, що інструментально-аналітичні методи теорії надійності дозволяють у нормальному і навантаженому режимах іспитів до 200 разів

прискорити одержання інформації про надійність об'єктів зат; у форсованому режимі іспитів силової комутаційної апаратури коефіцієнт прискорення підвищений до 2...3, а загальний коефіцієнт - до 600.

6. Запропоновано методуку призначення допусків і встановлення номінальних значень параметрів об'єктів зат; показано, що встановлення допусків на параметри реле зат дозволяє підвищити надійність і збільшити міжремонтний період профілактики в 1,8...2 рази.
7. Розроблено метод математичного моделювання електричних процесів у режимі горіння електричної дуги на струмоприймачі електровоза в умовах ожеледей і оцінки впливу імпульсних перешкод тягового струму на колійні приймачі при лінійному і нелінійному режимах роботи дроселів-трансформаторів. Встановлено, що основною причиною порушення роботи рл є порушення імпульсною перешкодою тягового струму в контурі "колійний елемент - фільтр" гармоніки на частоті сигнального струму, яка придушує сигнал.
8. Сформульовано вимоги і розроблена схема рейкового ланцюга з тимчасовим селектором, що забезпечує стійку роботу колійного приймача в режимі горіння дуги на струмознімачі електровоза; розроблені доповнення до нормалей рц25-эт50-с-88, затверджені укрзалізницею для експлуатаційних іспитів.
9. Уточнено ймовірсно-аналітичний метод аналізу і синтезу рл з урахуванням "електричного старіння" і законів розподілу опору ізоляції, що дозволяє провести вибір оптимальної довжини рл із різноманітною сигнальною частотою.
10. Визначені шляхи підвищення надійності рл: синтез ланцюгів при різноманітній сигнальній частоті по заданому граничному опорі ізоляції, новий метод регулювання та ін.; Доказано, що максимальною ефективністю володіють рейкові ланцюги низької частоти (менше 75 гц) при довжині 1...2 км, тоді як ланцюги тонального діапазону (вище 325 гц) при довжині 0,25...0,4 км. Ця особливість тональних рл використана при розробці автоблокування абт; інститутом "гипротрансигнальсвязь" рф розроблені нормалі, що враховують диференційований підхід до регулювання рл, застосування яких до 10 разів зменшує число відмов.
11. Запропоновано метод підвищення працездатності рл шляхом використання нелінійних властивостей зовнішньої характеристики джерел сигнального струму. Розвинена теорія аналізу і синтезу рл з урахуванням безупинної зміни вихідної напруги джерела сигнального струму в нелінійній області його залежності від провідності навантаження. Показано, що метод дозволяє на 30...40% розширити область існування рл по мінімальному опорі ізоляції.
12. Розроблено математичну модель розрахунку перетворювача частоти 50/25 гц в зоні перевантажень, яка демонструє можливості методу з урахуванням нелінійності зовнішньої характеристики джерела току; показано, що потрібне зменшення коефіцієнта нестабільності вихідної напруги, яка впливає на робочу область рл, досягається вибором розмірів ємності контуру і перерізу магнітопроводу.
13. Розроблено методи й алгоритми виміру і контролю контактного тиску і механічних параметрів електромагнітних апаратів. Методи використані при

створенні автоматизованого інформаційно-вимірювального комплексу (арма) для рту дистанцій сигналізації і зв'язку, який дозволяє підвищити достовірність результатів вимірювань.

14. Встановлено можливість застосування в рл виробів (дросельні перемички, електротягові рейкові з'єднувачі) із малодефіцитних матеріалів; запропоновані методи вибору параметрів і показано, що при короткому замиканні ізолюючого стику й опорі дросельної перемички більш 0,25 Ом може відбутися помилкове спрацьовування фазочутливого колійного реле, причому при опорі перемички 0,25...0,6 Ом небезпечна ситуація виникає при одній контрольованій відмові - замикання стику, а ймовірність небезпечної ситуації в будь-яких випадках не перевищує прийнятих норм.
15. Удосконалено конструкцію перетворювачів частоти 25 гц, що дозволяє знизити коефіцієнт нестабільності вихідної напруги; істотно розширити (до 60%) область стійкої роботи, у тому числі при використанні холоднокатаних сталей для магнітопроводів; задовольнити вимоги безпеки і сертифікації продукції систем зат.
16. Розроблено математичну модель перетворювача частоти удосконаленої конструкції з ортогональним розташуванням обмоток, що дозволяє провести вибір і оцінку параметрів і досліджувати області усталеності субгармонічних коливань при різноманітних режимах роботи.
17. Запропоновано напрямки і доказана можливість підвищення коефіцієнта повернення фазочутливого колійного приймача до 0,81, що дозволяє на 40...50% розширити область стійкої роботи рл і підвищити безпеку технічних засобів зат. Модернізоване реле випускається заводом мшс рф. Реалізація розроблених у дисертації методів, рекомендацій і технічних рішень забезпечила одержання істотного економічного ефекту в цінах 1989 р., Підтвердженого документами про впровадження.

Основні публікації по темі дисертації

1. В.и.соколов, а.п.разгонов, л.в.оводков. Обслуживание электрических рельсовых цепей. - м.: Транспорт, 1971.-45 с.
2. Талыков а.а., разгонов а.п. фазочувствительные рельсовые цепи 25 гц - м.: Транспорт, 1972. - 95 с.
3. Разгонов а.п., оводков л.в. профилактическое обслуживание рельсовых цепей. - м.: Транспорт, 1980, - 143 с.
4. Разгонов а.п. исследования надежности нейтральных реле систем сцб.// Вестник вниижта. - 1977. - №6. - с. 37-42.
5. Разгонов а.п., байдуж а.н. к выбору допусков и номинальных значений параметров реле сцб // совершенствование и повышение надежности ж.д. систем атис: межвуз. Сб. Науч. Тр. - днепропетровск: диит. -1985. -с. 3-11.

6. Босов а.а., разгонов а.п., холоша в.в. оптимизация профилактики объектов железнодорожной автоматики с применением измерительного комплекса.//вестник внижта. -1998. - №5. - с. 26-29.
7. Разгонов а.п.- исследование надежности нейтральных реле систем сцб.// Вестник внижта, -1977. -№6. С.46-48.
8. Разгонов а.п., ковригин м.а. о надежности работы токопроводящих стыков с тарельчатыми пружинами и соединителями //автоматика, телемеханика и связь. - 1994. -№8. - с.32-34.
9. Овадович л.в., разгонов а.п., кравцов в.а., ковригин м.а. дроссельные перемычки и электротяговые соединители из малодефицитных материалов. //автоматика, телемеханика и связь. - 1966. - №10. - с.22-26.
10. Кравцов ю.а., разгонов а.п., лучинин в.с., исследование работы параметрического делителя частоты в режиме перегрузки //вестник внижта - 1982. - №2. - с.47-49.
11. Кравцов ю.а., разгонов а.п., лучинин в.с. исследование работоспособности рельсовых цепей при питании от магнитных делителей частоты //вестник внижта. - 1983. -№6. - с.50-53.
12. Разгонов а.п., байдуж а.н. стенд для автоматической проверки параметров реле сцб //автоматика, телемеханика и связь. - 1991. - №2. - с.13-16.
13. Разгонов а.п., ковригин м.а. о надежности работы токопроводящих стыков с тарельчатыми пружинами и соединителями // автоматика, телемеханика и связь. - 1994. -№10. -с. 12-16.
14. Разгонов а.п., кизяков в.я., байдуж а.н. способ измерения контактного давления электромагнитных реле сцб // пути повышения производительности труда на ж.д. транспорте: межвуз. Сб. Науч. Тр. – ташкент: ташиит. – 1984. -вып. 189/36. -с.59-63.
15. Разгонов а.п. о надежности рельсовых цепей // автоматика, телемеханика и связь. -1986. -№3. -с. 36-39.
16. Разгонов а.п. о выборе стратегии профилактики объектов железнодорожной автоматики // інформаційно – керуючі системи на залізничному транспорті. №1. 1997. С. 60-67.
17. Разгонов а.п., стаднийчук г.и. исследование влияния электрической дуги между пантографом электровоза и контактным проводом на рельсовые цепи //совершенствование и повышение надежности железнодорожных систем автоматики, телемеханики и связи: межвуз. Сб. Науч. Тр. - днепропетровск: диит. - 1990. –с.14-23.
18. Разгонов а.п. совершенствование конструкции и технологии обслуживания преобразователей частоты // автоматика, телемеханика и связь. –1993. -№2. -с. 23-26.
19. Разгонов а.п. опыт эксплуатации рельсовых стыков с тарельчатыми пружинами на приднепровской ж.д // улучшение электрических и механических характеристик рельсового стыка: межвуз. Сб. Науч. Тр. – куйбышев:киит. - 1990. - вып. 3. -с. 52-56.

20. Разгонов а.п. совершенствование конструкции и технологии обслуживания преобразователей частоты // автоматика, телемеханика и связь. -1993. -№3. -с. 23-27.
21. Разгонов а.п. об оценке показателей транспортного потока при отказах систем аит и некоторые вопросы профилактики//информационно-управляющие системы на ж.д. транспорте. -1999. -№1. -с.14-29.
22. А.с. 1185543. Сср мкино2м5/161. Ферромагнитный делитель частоты на два /разгонов а.п., кравцов в.а., стаднийчук г.и., молдавский м.м. и лукашов м.п. (сср). №3743866; заявлено 24.05.84, опубл. 15.10.85, би.38.
23. А.с. 1486761. Сср.мкиг05в 23/02. Устройство для измерения перемещения якоря электромагнитных реле / разгонов а.п., кизяков в.я. и байдуж а.н. (сср). №4294402; заявлено 05.02.89, опубл. 15.06.89, би-22.
24. А.с. 1332267. Сср.мкиг05в 23/02. Устройство для измерения разности растворов контактов хода якоря электромагнитного реле / разгонов а.п., кизяков в.я., байдуж а.н. и абросимов в.д. (сср). №3936658; заявлено 22.04.87, опубл. 23.08.87, би-31.
25. Разгонов а.п., кизяков в.я., байдуж а.н., троценко в.и. полуавтоматический стенд для контроля и измерения параметров реле // совершенствование и повышение надежности ж.д. систем аитс: межвуз. Сб. Науч. Тр. - днепропетровск: диит. -1985.-с.11-20.
26. Разгонов а.п. о влиянии электрической дуги на токоъемнике электровоза при гололедообразовании на рельсовые цепи//информационно-управляющие системы на ж.д. транспорте. - 1998. -№4 , с. 28-30.
27. Разгонов а.п., лункина ю.и., стаднийчук г.и. исследование работы магнитных тиристорных преобразователей // вопросы повышения безопасности движения и устройств автоматики, телемеханики и связи на ж.д. транспорте. Межвуз.сб. Науч. Тр. Ташиита.- Вып. 186/33, 1984, с.36-40.
28. Разгонов а.п., стаднийчук г.и. совершенствование конструкции преобразователей частоты рельсовых цепей 25 гц//совершенствование и повышение надежности ж.д. систем автоматики, телемеханики и связи: межвуз. Сб. Науч. Тр. - днепропетровск: диит. -1990. -с.4-13.
29. Власенко в.а., разгонов а.п. влияние электрической дуги контактной сети на рельсовые цепи // автоматика, телемеханика и связь. -№10. -1989. -с.11-13.

Разгонов а. П. Підвищення надійності систем і пристроїв забезпечення безпеки руху поїздів (методи і засоби).

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.22.08 - експлуатація залізничного транспорту.

Дніпропетровський державний технічний університет залізничного транспорту. Дніпропетровськ, 1999.

На захист винесені методи і засоби підвищення надійності систем залізничної автоматики і телемеханіки (зат), забезпечення безпеки руху поїздів, теоретичні основи оптимізації профілактики із застосуванням

автоматизованих вимірювальних комплексів, досліджень на надійність, призначення допусків і вибору номіналів параметрів об'єктів зат, аналітичні методи впливу відмов на експлуатаційні показники залізничної дільниці і ефективності систем зат, рівнів імпульсних перешкод тягового струму, які впливають на рейкові кола в режимі горіння дуги на пантографі при ожеледицях; методу аналізу і синтезу рк в умовах пониженого опору ізоляції, рейкової лінії; розрахунок перетворювачів частоти - джерел сигнального струму з заданими характеристиками; результати аналітичних і експериментальних досліджень (рк і його елементи, перетворювачі частоти, колійні приймачі з підвищеним коефіцієнтом повернення, нормали на проектування рк, арм ртд та ін.), Опублікованих в 52 наукових працях, в тому числі 19 авторських свідоцтвах.

Встановлено, що впровадження розробок і рекомендацій підвищує надійність і ефективність функціонування систем зат, а запропоновані методи профілактики регулювання і технічного обслуговування скорочує експлуатаційні витрати галузі. Розробки впроваджені в виробництво.

Разгонов а.п. повышение надежности систем и устройств обеспечения безопасности движения поездов (методы и средства).

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.22.08 - эксплуатация железнодорожного транспорта. Днепропетровский государственный технический университет железнодорожного транспорта. Днепропетровск, 1999.

На защиту вынесены методы и средства повышения надежности систем железнодорожной автоматики и телемеханики (жат), обеспечивающих безопасность движения поездов: теоретические основы оптимизации профилактики с применением автоматизированных измерительных комплексов, испытаний на надежность, назначения допусков и выбора номиналов параметров объектов жат; аналитические методы влияния отказов на эксплуатационные показатели железнодорожного участка и эффективности систем жат, уровней импульсных помех тягового тока, влияющих на рельсовые цепи в режиме горения дуги на токосъемнике при гололедах; методы анализа и синтеза рл в условиях пониженного сопротивления изоляции рельсовой линии: расчеты преобразователей частоты - источников сигнального тока с заданными характеристиками; результаты аналитических и экспериментальных исследований (рл и их элементы, преобразователи частоты, путевые приемники с повышенным коэффициентом возврата, нормали на проектирование рл, арм рту и др.), Опубликованные в 52 научных работах, в том числе 19 авторских свидетельствах.

Установлено, что внедрение разработок и рекомендаций повышает надежность и эффективность функционирования систем жат, а предложенные методы профилактики, регулировки и технического обслуживания сокращают эксплуатационные расходы отрасли. Разработки внедрены в производство.

Razgonov a.p. increasing of reliability system and apparatus provided safeguard movement of trains (methods and means).

Dissertation for the acquirement of the degree of doctor of technical science in specialty 05.22.08 - exploitation of railway transport. Dnepropetrovsk, 1999.

The following theses are submitted for the presentation: methods and means of increasing the reliability systems of railway automatics and telemechanics (a&t) provided safeguard the movement of trains: theoretical basis optimization preventive measure on base measure computer complex, exploration of reliability, designation of limits and nominal of parameters subjects a&t; theoretical methods value of influence hindrance on exploitation criteria of railways; degrees impulse of traction currents hindrance in condition of electrical are on the locomotive pantograph in during ice condition, which influence on railway circuits (rc); methods of analysis and synthesis rc in conditions of resistors reduction of railway line isolation; calculation of signal current generation with proper characteristics; results theoretical and experimental research (rc, converters of frequency, rc relay with the highest coefficient return, normal of rc, aws rtp and so on).

These are set forth in 52 research papers, including 19 patents. It has been proved that introduction research and recommendations increase the reliability and efficiency of operation systems at on railway transport, methods of preventive measure and technical services reduce costs of exploitation at systems.