

Міністерство інфраструктури України  
Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту  
імені академіка В. Лазаряна

МАРЕНИЧ ОЛЕКСАНДРА ОЛЕКСАНДРІВНА

УДК 629.423.02-192

ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ІНДИВІДУАЛЬНИХ КОНТАКТОРІВ  
РУХОМОГО СКЛАДУ МАГІСТРАЛЬНИХ ЗАЛІЗНИЦЬ

Спеціальність 05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів

АВТОРЕФЕРАТ  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Дніпропетровськ – 2011

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі теоретичних основ електротехніки Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна Міністерства інфраструктури України.

**Науковий керівник:** доктор технічних наук, професор  
***Костін Микола Олександрович,***  
завідувач кафедри теоретичних основ електротехніки,  
Дніпропетровський національний університет  
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна  
Міністерства інфраструктури України

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор  
***Тартаковський Едуард Давидович,***  
завідувач кафедри експлуатації та ремонту рухомого  
складу, Українська державна академія залізничного  
транспорту Міністерства інфраструктури України,  
м. Харків

кандидат технічних наук, доцент  
***Черних Юрій Максимович,***  
завідувач кафедри тягового рухомого складу залізниць,  
Державний економіко-технологічний університет  
транспорту, м. Київ

Захист відбудеться «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2011 року о \_\_\_\_\_ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д.08.820.02 при Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна Міністерства інфраструктури України за адресою: 4901, м. Дніпропетровськ, вул. Акад. В. Лазаряна, 2, ауд. 314.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.

Автореферат розісланий «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2011 р.

Вчений секретар спеціалізованої  
вченої ради Д.08.820.02,  
д.т.н., професор

І.В. Жуковицький

## **Загальна характеристика роботи**

**Актуальність теми.** Загальна кількість індивідуальних електромагнітних контакторів на рухомому складі (РС) залізниць України – декілька десятків тисяч одиниць. Від їх надійної роботи суттєво залежить виконання локомотивами, вагонами своїх функцій, а також безпека руху поїздів. Експериментальні дослідження роботи тягових електромагнітних контакторів (ТЕК) в реальних умовах експлуатації показали, що близько 27% з них не вмикається повністю (у процесі вмикання контактора після замикання головних контактів якір зупиняється, хоча між ним та осердям ще залишається зазор у декілька міліметрів) при мінімальних напругах кіл керування, обумовлених ДСТУ 2773-94 на апарати електричні тягові. Явище неповного вмикання контакторів приводить до неповного виконання своїх функцій контактною пружиною, що приводить до збільшення перехідного опору контактів, до можливого їх перегріву, отже до зменшення надійності роботи ТЕК.

При виборі контактора для певного електричного кола РС не проводиться перевірка його придатності для цього кола по струму термічної стійкості. Це у значній кількості випадків приводить до плавлення (зварювання) силових контактів ТЕК навіть у тих випадках, коли захист від струмів короткого замикання (КЗ) спрацьовує в установленому порядку. В окремих випадках на РС виникають пожежі.

В конструкторській документації, в нормативних документах щодо проведення ремонтів ТЕК відсутні рекомендації по зменшенню негативного впливу неповного вмикання ТЕК, по врахуванню струму термічної стійкості, що знижує надійність контакторів в експлуатації.

Тому актуальною науково-прикладною задачею є проведення досліджень щодо:

- підвищення стабільності тягової та протидіючої характеристик ТЕК, забезпеченню надійного перевищення тягової характеристики над протидіючою при будь-яких умовах експлуатації з метою розробки рекомендацій з підвищення надійності роботи контакторів по фактору повного вмикання;
- визначення ролі струму термічної стійкості ТЕК з точки зору запобігання плавленню контактів.

Виконання дисертаційної роботи доцільно з точки зору підвищення надійності електромагнітних контакторів, РС в цілому і розвитку науки в галузях, які відносяться до функціонування залізниць.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами.** Обраний напрямок досліджень пов'язаний з планами виконання робіт у Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна в галузі підвищення надійності електрообладнання рухомого складу залізниць: «Розробка методів підвищення надійності електромагнітних контакторів та реле локомотивів» (ДР0109U006764); «Дослідження та розробка заходів щодо підвищення надійності захисту кіл

опалення пасажирських електровозів змінного струму» (ДР№0110U006290), в яких здобувач була виконавцем окремих етапів і співавтором звітів по науково-дослідним роботам.

Робота виконана у відповідності з «Комплексною програмою оновлення залізничного рухомого складу України на 2008-2020 роки», затвердженої Міністерством транспорту і зв'язку України наказом №1259 від 14.10.2008 р.

**Мета роботи.** Метою роботи є підвищення надійності індивідуальних контакторів рухомого складу магістральних залізниць шляхом забезпечення в експлуатації необхідного для повного включення взаємного розташування тягової та протидіючої характеристик, а також розробки рекомендацій з визначення раціонального значення струму термічної стійкості при найбільш несприятливих умовах експлуатації.

#### **Задачі досліджень.**

1. Провести аналіз статистичних даних про неповне вмикання силових електромагнітних контакторів в схемах РС та про застосування параметру «струм термічної стійкості» в переліку технічних характеристик контакторів.

2. Вдосконалити метод оцінки стабільності характеристик тягової та протидіючої електромагнітних контакторів РС та провести оцінку стабільності цих характеристик для реального контактора.

3. Запропонувати імовірнісну модель параметричної надійності силових електромагнітних контакторів та визначити з її застосуванням параметричну надійність реальних контакторів.

4. Розробити рекомендації щодо значень параметрів контакторів, яких потрібно дотримуватись при їх виборі та ремонтах, щоб забезпечити повне вмикання контакторів при несприятливих умовах експлуатації та запобігти виходу їх з ладу в режимі короткого замикання.

**Об'єкт досліджень** – процеси в індивідуальних контакторах при використанні їх у якості комутуючих апаратів в електричних колах рухомого складу магістральних залізниць.

**Предмет досліджень** – електричні апарати рухомого складу магістральних залізниць.

#### **Методи досліджень**

Для розв'язання наукових завдань використано:

– для визначення предмету досліджень - аналіз нормативної документації та узагальнення раніше проведених досліджень в галузі ремонту електрообладнання РС;

– для визначення кількості контакторів, які не вмикаються повністю при їх експлуатації - елементи математичної статистики;

– для визначення дисперсій функцій тягової та протидіючої характеристик ТЕК і тим самим оцінки стабільності вказаних характеристик - розкладання функції у ряд Тейлора з наступним використанням теорем про чисельні характеристики функцій довільної кількості випадкових елементів;

- класична модель параметричної надійності у застосуванні до силових ТЕК

рухомого складу;

– для дослідження процесів у контактах ТЕК при струмах КЗ через них - основні положення теорії електричних контактів.

Обробка статистичних даних та теоретичних досліджень проведено за допомогою сучасних персональних обчислювальних машин. Використання вищевказаних достовірних теорій та методів, збіжність теоретичних та практичних результатів підтверджують достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, що були отримані у роботі.

### ***Наукова новизна отриманих результатів***

До основних наукових результатів, одержаних автором особисто, і які виносяться на захист, відносяться наступні:

1. Вперше запропоновано аналітичний вираз дисперсії тягової характеристики тягового електромагнітного контактора з урахуванням її суттєвої нелінійності, що дозволяє підвищити точність оцінки стабільності вказаної характеристики.

2. Обґрунтовано ефективні значення коефіцієнту запасу по силі при критичному зазорі з точки зору забезпечення повного вмикання тягових контакторів, що дозволяє підвищити їх надійність.

3. Запропоновано імовірнісну модель параметричної надійності тягового електромагнітного контактора, за допомогою якої вперше встановлена графічна залежність імовірності повного вмикання контактора при мінімальній напрузі кіл керування від критичного зазору у відносних одиницях, що дозволяє забезпечити певну імовірність його повного вмикання в реальних умовах експлуатації.

4. Обґрунтовано необхідність та запропоновано метод вибору тягових контакторів з урахуванням струму термічної стійкості, що дає можливість запобігти плавленню силових контактів при проходженні через них струму короткого замикання протягом часу від моменту його виникнення до спрацьовування захисту.

### ***Практичне значення отриманих результатів.***

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що вони дозволили:

- рекомендувати доповнити перелік робіт при регулюванні ТЕК після ремонту вимогою порівнювати тягову характеристику, яка знята при мінімальній напрузі кіл керування, з протидіючою з метою забезпечення достатнього для повного вмикання контактора коефіцієнту запасу по силі при критичному зазорі, що сприяє підвищенню надійності ТЕК і відповідно підвищенню надійності рухомого складу залізниць в цілому;

- показати, що підтримання стабільності критичного зазору контактора під час експлуатації в значній мірі забезпечує стабільність його тягової та протидіючої характеристик;

- звернути увагу причетних фахівців, що вибір ТЕК для конкретних електричних кіл з урахуванням раціонального значення струму термічної стійкості

дозволяє запобігати плавленню матеріалу контактів при проходженні через них струму КЗ протягом часу до спрацьовування захисту.

**Результати досліджень впроваджені** в Державному підприємстві «Науково-виробничий комплекс «Електровозобудування»», ПАТ «Запорізький електровозоремонтний завод» (м. Запоріжжя), у навчальному процесі Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.

#### **Особистий внесок здобувача.**

Мета роботи сформульована разом з науковим керівником. Наукові положення і результати, викладені у дисертаційній роботі одержані автором самостійно. У наукових працях, опублікованих у співавторстві, здобувачеві належать:

- ідея визначення дисперсії функції тягової характеристики електромагнітних контакторів шляхом розкладання її в ряд Тейлора з урахуванням чотирьох (а не двох, як це прийнято у теперішній час) членів цього ряду з метою підвищення точності визначення дисперсії; одержання аналітичного виразу для дисперсії тягової та протидіючої характеристики [5];
- ідея та розробка імовірнісної моделі параметричної надійності електромагнітних контакторів рухомого складу на базі класичної моделі параметричної надійності [7].

Роботи [1, 2, 3, 4, 6] написані без співавторів.

#### **Апробація результатів дисертації.**

Основні положення та результати доповідались та отримали схвалення на наступних Міжнародних науково-практичних конференціях: 69-а, 70-а, 71-а конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту (Дніпропетровськ, 2009, 2010, 2011 р.р.); на семінарі «Перетворювачі енергії в технологічних процесах транспорту» при Науковій Раді НАН України з комплексної проблеми «Наукові основи електроенергетики».

У повному обсязі дисертація доповідалась на загальному семінарі кафедр теоретичних основ електротехніки, локомотивів, вагонів, електрорухомого складу залізниць, автоматизованого електропривода Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна (Дніпропетровськ, 2011 р.).

#### **Публікації.**

Основні положення і результати роботи опубліковано в 11 друкованих працях, з них 7 – статті, опубліковані у фахових наукових виданнях, що входять до переліку ВАК України; 3 – матеріали наукових конференцій; 1 – в інших виданнях.

**Структура та обсяг роботи.** Повний обсяг дисертації становить 186 сторінок друкованого тексту, до складу яких входять 122 сторінки основної частини, що складається з вступу, 5 розділів і загальних висновків роботи; список використаних джерел з 98 найменувань на 10 сторінках, 7 додатків на 54 сторінках, 33 рисунки, 19 таблиць.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

**У вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету та основні задачі досліджень, визначено наукову новизну та практичну цінність, наведено відомості щодо апробацій роботи та публікацій.

**У першому розділі** обґрунтовано вибір об'єкту та предмету досліджень, виділено базовий вид ТЕК в схемах РС, що підлягає дослідженню.

Це індивідуальні контактори з електромагнітним приводом клапанного типу із замкненим магнітопроводом та якорем, які масово застосовуються в схемах РС. Наведено результати експериментального дослідження, які підтверджують, що для 27% контакторів при мінімальній напрузі кіл керування співвідношення між тяговою та протидіючою характеристиками може не задовольнити умовам повного включення контактора, коли якір повинен повністю притягнутися до осердя. Суттєвий негативний вплив на процес вмикання контактора справляє нестабільність характеристик. Звертається увага на те, що в експлуатації бувають випадки, коли за час від виникнення КЗ до розриву кола захисним апаратом, контакти силових контакторів, через які проходить струм КЗ, встигають розплавитись, що приводить до значних пошкоджень РС. Це говорить про те, що при виборі контакторів не враховували їх струм термічної стійкості.

Але у діючих нормативних документах не передбачається після ремонту зняття характеристик і встановлення певного перевищення тягової характеристики над протидіючою, не передбачається також вибір контакторів з урахуванням співвідношення між їх струмом термічної стійкості та струмом КЗ, який можливий в експлуатації, і проходить через контакти ТЕК до спрацьовування захисту. Значення струму термічної стійкості навіть не вказується в технічних характеристиках ТЕК.

На основі проведеного аналізу сучасного стану досліджуваної проблеми сформульовано задачі дисертаційної роботи, в яких сконцентовано увагу на підвищенні надійності ТЕК шляхом розробки методів по забезпеченню повного вмикання контактора при найбільш несприятливих умовах експлуатації та шляхом вибору їх для певного кола РС з урахуванням значень струмів КЗ та термічної стійкості.

**У другому розділі** пропонується метод оцінки стабільності характеристик ТЕК (тягової та протидіючої). Рішення задачі оцінки стабільності сил тягової  $Q_M$  та протидіючої  $Q'_П$  є необхідним для встановлення параметра, який

найбільше впливає на нестабільність сили з метою знаходження способів ефективної дії на цей параметр. При викладанні теоретичних аспектів запропонованого методу характеристики тягова та протидіюча з метою узагальнення викладання спочатку позначено однією функцією виду:

$$Q = f(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n), \quad (1)$$

де  $x_1, x_2, \dots, x_n$  - випадкові величини, від яких залежать сили.

Відомо, що один з методів визначення дисперсії  $D[Q]$  функції виду (1) базується на розкладанні цієї функції у ряд Тейлора з наступним використанням теорем при чисельні характеристики функцій довільної кількості випадкових аргументів. У роботах, присвячених оцінці стабільності параметрів рухомого складу, до автора цей метод використано тільки як метод лінеаризації функції, тобто у ряді Тейлора для цієї функції обмежувались тільки першими двома (лінійними) членами.

Автор пропонує при розкладанні нелінійної функції в загальному випадку (1) в функціональний ряд Тейлора зберігати не два (як у діючому методі лінеаризації), а чотири члени, тобто залишити також третій і четвертий члени – члени вищого порядку малості. В роботі доведено, якщо при умові, що випадкові величини-аргументи  $x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n$  функції (1) розподілені за законом Гауса, то вираз для дисперсії  $D[Q]$  приймає вигляд:

$$D[Q] = D_Q = \sigma_Q^2 = \sum_{i=1}^n \left( \frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 \bigg|_{x_i = m_{x_i}} D_{x_i} + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \left( \frac{\partial^2 f}{\partial x_i^2} \right)^2 \bigg|_{x_i = m_{x_i}} \cdot D_{x_i}^2 +$$

$$+ \sum_{i < k} \left( \frac{\partial^2 f}{\partial x_i \partial x_k} \right)^2 \bigg|_{\substack{x_i = m_{x_i} \\ x_k = m_{x_k}}} D_{x_i} D_{x_k}, \quad (2)$$

де індекси  $x_i = m_{x_i}$ ,  $x_k = m_{x_k}$  позначають, що у виразі приватної похідної замість поточних значень  $x_i$  та  $x_k$  випадкових аргументів підставлені їх математичні очікування  $m_{x_i}$  та  $m_{x_k}$ ;  $\sigma_Q$  - середньоквадратичне відхилення випадкової величини.

Друга та третя складові у формулі (2) враховують нелінійність функції (1) при її розкладанні у ряд Тейлора.

Використовуючи формулу (2), знайдено вираз для дисперсії тягової характеристики. Для цього застосовано формулу для тягової характеристики у вигляді:

$$Q_M = C \frac{U^2 S_T}{R_K^2 \delta^2} + 2C \frac{U^2 \sqrt{S_T}}{R_K^2 \delta}, \quad (3)$$



де  $C = 0,5\mu_0 W^2$ ;  $\mu_0$  - магнітна проникність повітряного зазору;  $W$  - кількість витків у котушці електромагнітного привода контактора;  $U$  - напруга кіл керування РС;  $R_K$  - активний опір котушки електропривода;  $S_T$  - площа поверхні торця осердя;  $\delta$  - повітряний зазор між якорем та ярмом.

Величини  $U$ ,  $S_T$ ,  $R_K$ ,  $\delta$  є випадковими, тобто  $Q_M$  є функцією системи випадкових величин виду (1), і тому для знаходження дисперсії сили  $Q_M$ , тобто для оцінки її стабільності, можна застосувати формулу (2), прийнявши попередньо, що значення  $U$ ,  $S_T$ ,  $R_K$ ,  $\delta$  розподілені за нормальним законом. Взявши приватні похідні різного порядку від функції (3) по величинам-аргументам  $U$ ,  $S_T$ ,  $R_K$ ,  $\delta$ , отримали вираз для дисперсії тягової характеристики.

$$\begin{aligned}
 D_{Q_M} = D[f(U, S_T, R_K, \delta)] = & \left[ 2C \frac{\bar{U}\bar{S}_T}{\bar{R}_K^2 \bar{\delta}^2} + 4C \frac{\bar{U}\sqrt{\bar{S}_T}}{\bar{R}_K^2 \bar{\delta}} \right]^2 D_U + \left[ C \frac{\bar{U}^2}{\bar{R}_K^2 \bar{\delta}^2} + \right. \\
 & \left. + C \frac{\bar{U}^2}{\bar{R}_K^2 \bar{\delta} \sqrt{\bar{S}_T}} \right]^2 D_{S_T} + \left[ -2C \frac{\bar{U}^2 \bar{S}_T}{\bar{R}_K^3 \bar{\delta}^2} - 4C \frac{\bar{U}^2 \sqrt{\bar{S}_T}}{\bar{R}_K^3 \bar{\delta}} \right]^2 D_{R_K} + \left[ -2C \frac{\bar{U}^2 \bar{S}_T}{\bar{R}_K^2 \bar{\delta}^3} - \right. \\
 & \left. - 2C \frac{\bar{U}^2 \sqrt{\bar{S}_T}}{\bar{R}_K^2 \bar{\delta}^2} \right]^2 D_{\delta} + \frac{1}{2} \left\{ \left[ 2C \frac{\bar{S}_T}{\bar{R}_K^2 \bar{\delta}^2} + 4C \frac{\sqrt{\bar{S}_T}}{\bar{R}_K^2 \bar{\delta}^2} \right]^2 D_U^2 + \left[ -C \frac{\bar{U}^2}{2\bar{R}_K^2 \bar{\delta} \sqrt{\bar{S}_T^3}} \right]^2 D_{S_T}^2 + \right. \\
 & \left. + \left[ 6C \frac{\bar{U}^2 \bar{S}_T}{\bar{R}_K^4 \bar{\delta}^2} + 12C \frac{\bar{U}^2 \sqrt{\bar{S}_T}}{\bar{R}_K^4 \bar{\delta}} \right]^2 D_{R_K}^2 + \left[ 6C \frac{\bar{U}^2 \bar{S}_T}{\bar{R}_K^2 \bar{\delta}^4} + 4C \frac{\bar{U}^2 \sqrt{\bar{S}_T}}{\bar{R}_K^2 \bar{\delta}^3} \right]^2 D_{\delta}^2 \right\} + \\
 & + \left[ 2C \frac{\bar{U}}{\bar{R}_K^2 \bar{\delta}^2} + 2C \frac{\bar{U}}{\bar{R}_K^2 \bar{\delta} \sqrt{\bar{S}_T}} \right]^2 D_U D_{S_T} + \left[ -4C \frac{\bar{U}\bar{S}_T}{\bar{R}_K^3 \bar{\delta}^2} - 8C \frac{\bar{U}\sqrt{\bar{S}_T}}{\bar{R}_K^3 \bar{\delta}} \right]^2 D_U D_{R_K} + \\
 & + \left[ -4C \frac{\bar{U}\bar{S}_T}{\bar{R}_K^2 \bar{\delta}^3} - 4C \frac{\bar{U}\sqrt{\bar{S}_T}}{\bar{R}_K^2 \bar{\delta}^2} \right]^2 D_U D_{\delta} + \left[ -2C \frac{\bar{U}^2}{\bar{R}_K^3 \bar{\delta}^2} - 2C \frac{\bar{U}^2}{\bar{R}_K^3 \bar{\delta} \sqrt{\bar{S}_T}} \right]^2 D_{S_T} D_{R_K} + \\
 & + \left[ -2C \frac{\bar{U}^2}{\bar{R}_K^2 \bar{\delta}^3} - C \frac{\bar{U}^2}{\bar{R}_K^2 \bar{\delta}^2 \sqrt{\bar{S}_T}} \right]^2 D_{S_T} D_{\delta} + \left[ 4C \frac{\bar{U}^2 \bar{S}_T}{\bar{R}_K^3 \bar{\delta}^3} + 4C \frac{\bar{U}^2 \sqrt{\bar{S}_T}}{\bar{R}_K^3 \bar{\delta}^2} \right]^2 D_{R_K} D_{\delta}
 \end{aligned} \quad (4)$$

З метою практичної оцінки результатів розрахунків за формулою (4) для  $Q_M = f(U, S_T, R_K, \delta)$  визначено чисельні характеристики аргументів (математичні очікування  $\bar{x}_i$ , дисперсії  $D_i$ , середнє квадратичне відхилення  $\sigma_i$ , асиметрію  $a_{S_i}$ , ексцес  $e_{K_i}$ )  $U$ ,  $S_T$ ,  $R_K$ ,  $\delta$ . Для підтвердження гіпотези про те, що значення  $U$ ,  $S_T$ ,  $R_K$ ,  $\delta$  розподілені за нормальним законом визначено

критерії Пірсона, що спостерігаються,  $\lambda_{спост}^2$  та критичні точки розподілу  $\lambda_{кр}^2$ . Результати наведені у табл. 1. При цьому  $\delta = \delta_{кр}$ , бо саме при цьому зазорі визначається чи відбудеться повне вмикання контактора, чи ні. Кількість контакторів (типу МК-310Б, що широко використовуються у схемах РС) для проведення експериментальних вимірів з метою отримання статистичних даних прийнята рівною тридцяти, що є достатнім з точки зору отримання задовільних за точністю результатів. Збір статистичних даних значень аргументів функцій тягової та протидіючої характеристик проведено в локомотивному депо ТЧ-8 Придніпровської залізниці.

Таблиця 1

Чисельні характеристики; критерії Пірсона, що спостерігаються; критичні точки розподілу для випадкових величин  $U$ ,  $S_T$ ,  $R_K$ ,  $\delta_{кр}$

| Чисельні хар-ки<br>Аргументи | $\bar{x}_i$           | $D_i$                  | $\sigma_i$           | $a_{S_i}$ | $e_{K_i}$ | $\lambda_{спост}^2$ | $\lambda_{кр}^2$ |
|------------------------------|-----------------------|------------------------|----------------------|-----------|-----------|---------------------|------------------|
| $U$                          | 37                    | 9,18                   | 3,03                 | 0,25      | 2,31      | 5,917               | 12,6             |
| $S_T$                        | $969,1 \cdot 10^{-6}$ | $47,43 \cdot 10^{-12}$ | $6,89 \cdot 10^{-6}$ | 0,088     | 2,16      | 5,97                | 12,6             |
| $R_K$                        | 61,9                  | 3,41                   | 1,85                 | 0,04      | 2,08      | 4,346               | 15,5             |
| $\delta_{кр}$                | 3,24                  | 0,29                   | 0,54                 | 0,43      | 3,06      | 4,64                | 12,6             |

$U$  - мінімальна напруга включення контактора.

Відповідні гістограми наведені на рис. 1-4.

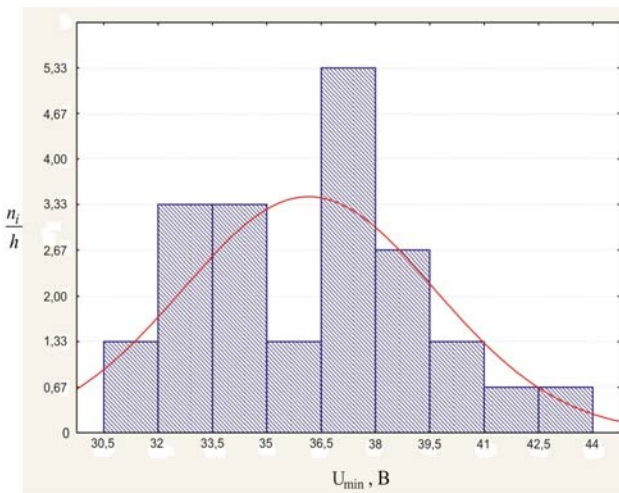


Рис. 1. Гістограма частот мінімальної напруги включення контактора МК-310Б

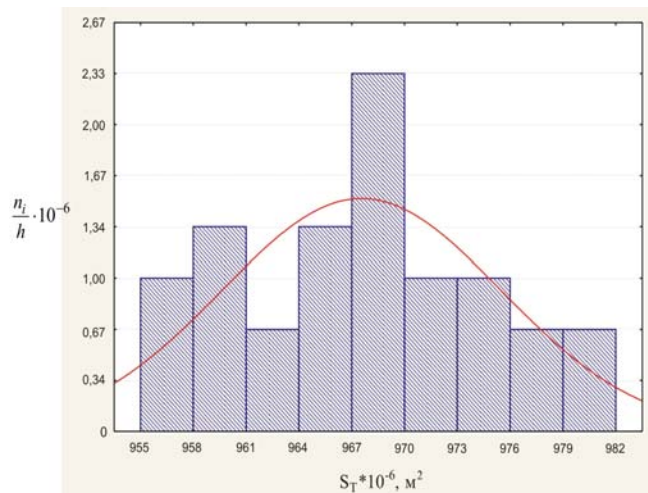


Рис. 2. Гістограма частот площі торця осердя  $S_T$  контактора МК-310Б

Із табл. 1 видно, що для всіх випадкових величин  $\lambda_{спост}^2 < \lambda_{кр}^2$ , тому нема причин відкинути гіпотезу про розподіл значень випадкових величин  $U$ ,  $S_T$ ,  $R_K$ ,  $\delta_{кр}$  за нормальним законом. Розрахунок за формулою (4) дав наступний результат:

$$D_{Q_M} = D[f(U, S_T, R_K, \delta_{кр})] = 92,25 + 0,145 + 12,31 + 317,09 + \frac{1}{2}(4,86 + 14,78 \cdot 10^{-12} + 0,1 + 73,8) + 0,004 + 1,2 + 8,93 + 0,005 + 0,0145 + 1,2 = 478,829 \text{ Н}^2.$$

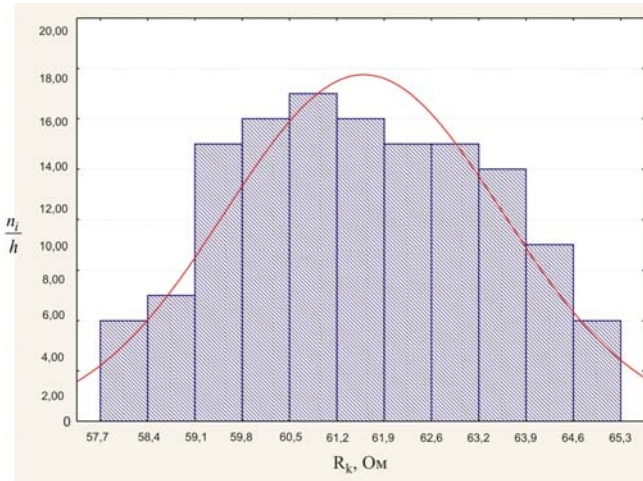


Рис.3. Гістограма частот опору котушки привода контактора МК-310Б

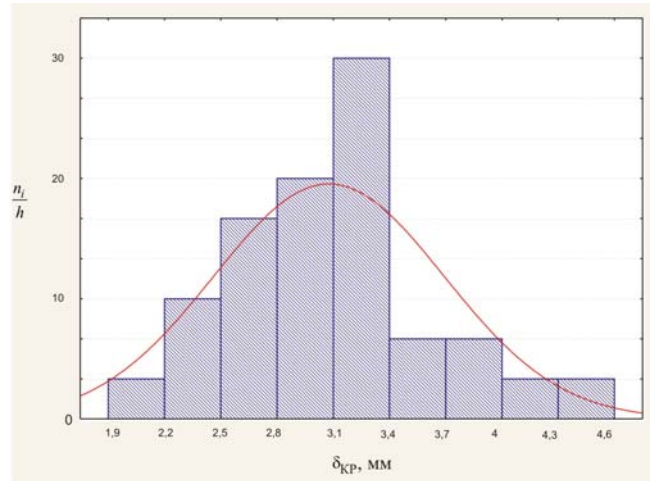


Рис. 4. Гістограма частот критичного зазору  $\delta_{KP}$  контактора МК-310Б

$$\sigma_{Q_M} = \sqrt{D_{Q_M}} = \sqrt{478,829} = 21,74 \text{ Н.}$$

Сума складових  $(92,25+0,145+12,31+317,09)=421,795$  відповідає першій складовій форм. (2), тобто число 421,795 – це дисперсія  $D_{Q_M}$ , коли у ряді Тейлора обмежуються тільки двома першими членами. Сума складових  $\frac{1}{2}(4,86+14,78 \cdot 10^{-12} + 0,1+73,8)+0,004+1,2+8,93+0,0005+0,0145+1,2=57,034 \text{ Н}^2$  враховує нелінійність функції (3). Таким чином, врахування перших чотирьох, а не двох членів ряду Тейлора, що прийнято при виводі формули (2), підвищує точність визначення дисперсії  $D_{Q_M}$  при  $\delta = \delta_{KP}$  на  $\frac{478,829 - 421,795}{421,795} \cdot 100\% = 13,5\%$ .

Найбільша складова  $D_{Q_M}$  - (317,09) зумовлена нестабільністю критичного повітряного зазору  $\delta_{KP}$  у процесі експлуатації. Тому в експлуатації в першу чергу потрібно забезпечити максимально можливу стабільність критичного зазору контактора.

Середнє значення  $\bar{Q}_{M\delta_{KP}}$ , визначене при вибіркових середніх значеннях аргументів функції  $Q_M = f(U, S_T, R_K, \delta)$  згідно форм. (3), дорівнює:  $\bar{Q}_{M\delta_{KP}} = 58,624 \text{ Н.}$

Проведена оцінка стабільності й протидіючої сили  $Q'_\Pi$  при критичному зазорі, якщо її привести до осі сили  $Q_M$  (точка 0 на рис. 5) і знехтувати дією сили ваги рухомої частини. Оскільки функцію відключення здійснює в основному вимикаюча пружина, то вираз для протидіючої характеристики запропоновано записати у наступному вигляді (ломана 1-2-3 на рис.6):

$$Q'_\Pi = A + Q_B \frac{l_B}{l} + Q_K \frac{l_K}{l} = A + C_B K \frac{l_B}{l_K} + C_K \Delta x_K \frac{l_K}{l} = A + Q'_B + Q'_K, \quad (5)$$

$$(C_K \Delta x_K \frac{l_K}{l} = 0 \text{ при } \delta_{KP} < \delta \leq \delta_{\text{відн}}).$$

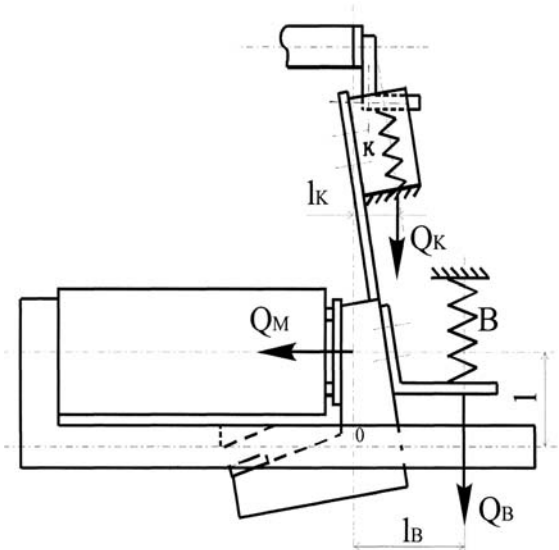


Рис. 5. Кінематична схема ТЕК клапанного виду

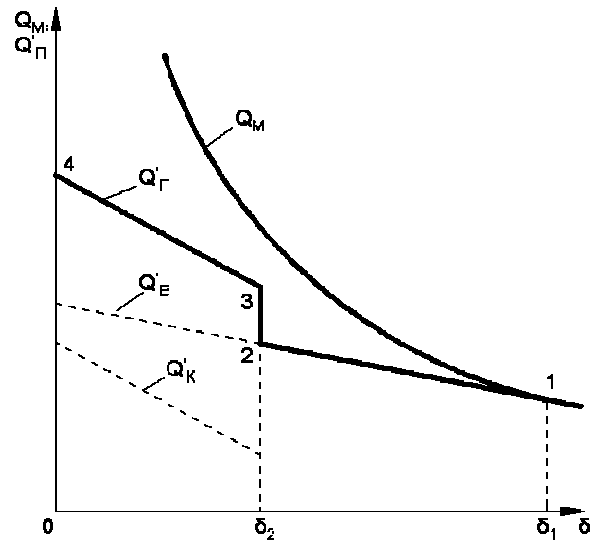


Рис. 6. Тягова та протидіюча характеристики електромагнітного контактора

$A$  – електромагнітна сила при зазорі  $\delta_{відн} = \delta_1$ , коли якір повністю відпущено;  $C_K, C_B$  – жорсткість відповідно контактної та вимикальної пружин;  $\Delta x_K$  – початкове (до дотикання головних контактів) стиснення контактної пружини;  $K = \delta_{відн} - \delta_{KP}$ ;  $Q'_B, Q'_K$  – відповідно сили вимикальної та контактної пружини. Враховуючи, що  $A \approx const$ , маємо:

$$Q'_\Pi = f(C_B, K, C_K, \Delta x_K) \quad (6)$$

Функція  $Q'_\Pi$  – лінійна. Тому згідно (2) беремо до уваги тільки першу складову. Приймавши попередньо, що значення  $C_B, K, C_K, \Delta x_K$  розподілені за нормальним законом, та взявши приватні похідні різного порядку від функції (5) отримали вираз для дисперсії протидіючої характеристики:

$$D(Q'_\Pi) = D[f(C_B, K, C_K, \Delta x_K)] = \left(\bar{K} \frac{l_B}{l}\right)^2 D_{C_B} + \left(\bar{C}_B \frac{l_B}{l}\right)^2 D_K + \left(\Delta \bar{x}_K \frac{l_K}{l}\right)^2 D_{C_K} + \left(\bar{C}_{C_K} \frac{l_K}{l}\right)^2 D_{\Delta x_K}. \quad (7)$$

Визначені чисельні характеристики аргументів та підтвердження, що значення  $C_B, K, C_K, \Delta x_K$  розподілені за нормальним законом, наведені у табл. 2.

Таблиця 2

Чисельні характеристики; критерії Пірсона, що спостерігаються; критичні точки розподілу для випадкових величин  $C_B, K, C_K, \Delta x_K$

| Чисельні хар-ки<br>Аргументи | $\bar{x}_i$ | $D_i$  | $\sigma_i$ | $a_{S_i}$ | $e_{K_i}$ | $\lambda_{СПОСТ}^2$ | $\lambda_{KP}^2$ |
|------------------------------|-------------|--------|------------|-----------|-----------|---------------------|------------------|
| $C_B$                        | 0,963       | 0,0003 | 0,017      | -0,306    | 2,51      | 5,07                | 14,1             |
| $K$                          | 8,49        | 1,69   | 1,3        | -0,127    | 2,39      | 2                   | 12,6             |
| $C_K$                        | 3,15        | 0,002  | 0,044      | 0,117     | 2,4       | 2,874               | 14,1             |
| $\Delta x_K$                 | 3,38        | 0,1456 | 0,38       | -0,000146 | 2,73      | 12,28               | 12,6             |

Відповідні гістограми наведені на рис. 7-10.

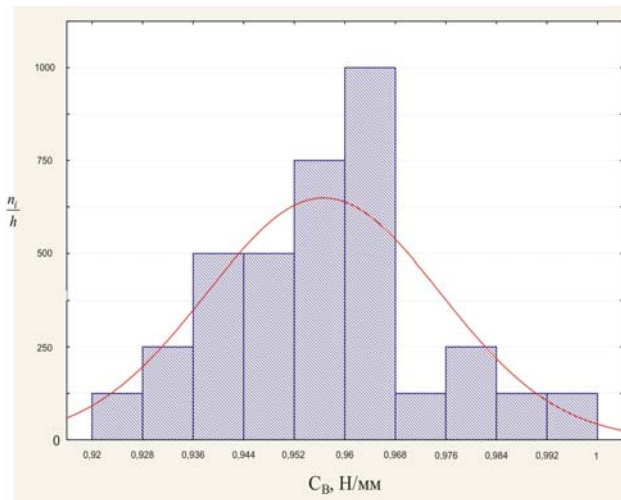


Рис. 7. Гістограма частот жорсткості  $C_B$  викикальної пружини контактора МК-310Б

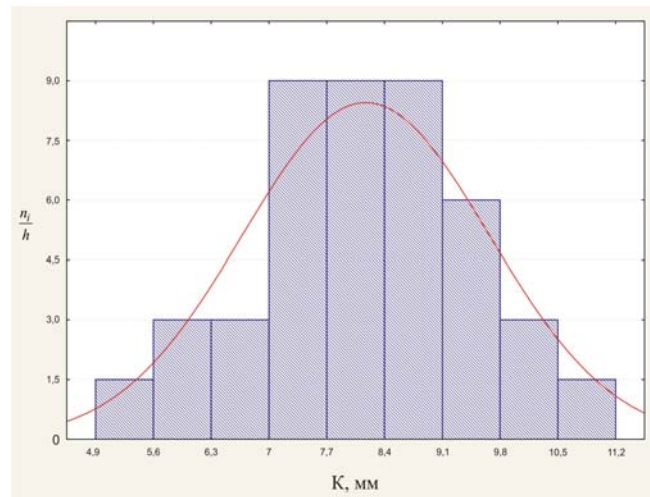


Рис. 8. Гістограма частот параметра  $K$  контактора МК-310Б

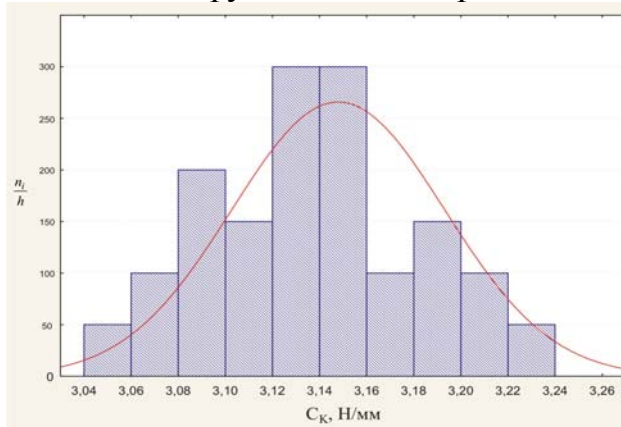


Рис. 9. Гістограма частот жорсткості  $C_K$  контактної пружини контактора МК-310Б

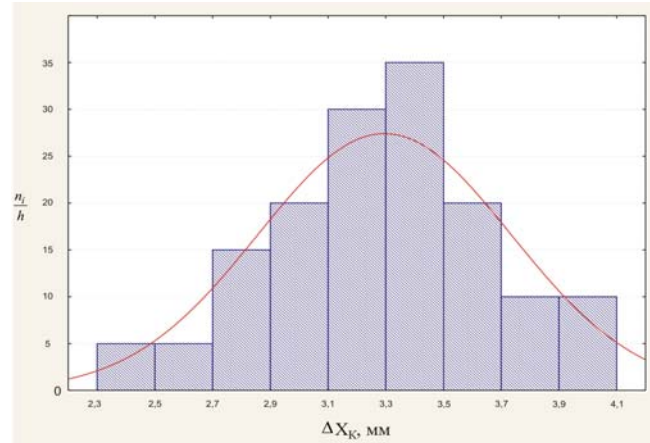


Рис. 10. Гістограма частот параметра  $\Delta x_K$  контактора МК-310Б

З табл. 2 видно, що для всіх випадкових величин  $\lambda_{\text{спост}}^2 < \lambda_{\text{кр}}^2$ , тому нема причин відкинути гіпотезу про розподіл значень випадкових величин  $C_B$ ,  $K$ ,  $C_K$ ,  $\Delta x_K$  за нормальним законом. Розрахунок за формулою (7) дав наступний результат:

$$D_{\dot{\varrho}_{\Pi}} = D[f(C_B, K, C_K, \Delta x_K)] = 0,029 + 2,1 + 0,0039 + 0,246 = 2,38 \text{ Н}^2;$$

$$\sigma_{\dot{\varrho}_{\Pi}} = \sqrt{D_{\dot{\varrho}_{\Pi}}} = \sqrt{2,38} = 1,54 \text{ Н}.$$

Найбільша складова дисперсії  $D_{\dot{\varrho}_{\Pi}}$  (2.1) зумовлена нестабільністю параметра  $K = \delta_{\text{вiдн}} - \delta_{\text{кр}}$ . В процесі експлуатації  $\delta_{\text{вiдн}} \approx \text{const}$  залишається таким, яким його встановили при регулюванні після ремонту контактора. Тому можна стверджувати, що стабільність протидіючої характеристики, як і стабільність тягової характеристики, в експлуатації залежить в основному від



забезпечення стабільності критичного зазору  $\delta_{кр}$ .

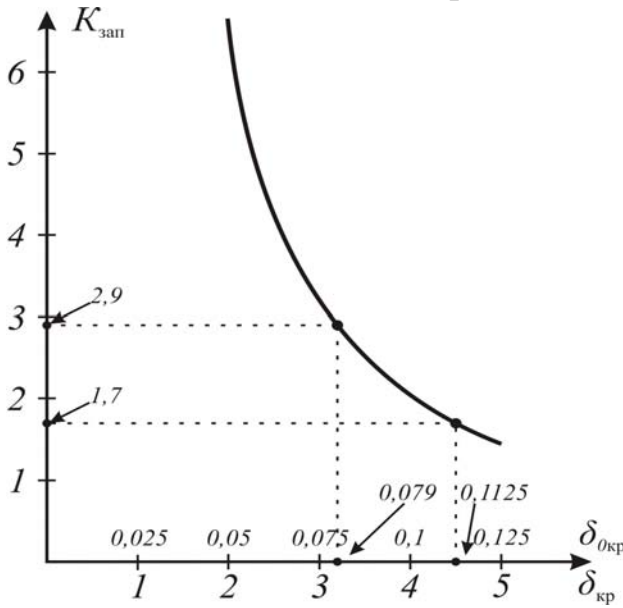


Рис. 11. Залежність  $K_{зап} = f(\delta_{0кр})$

Отримані раціональні значення коефіцієнту запасу по силі при критичному зазорі в межах 1,7...2,9, забезпечення якого сприяє підвищенню надійності контактора по фактору повного вмикання. Доведено, що тягові характеристики усіх типів ТЕК клапанного виду, які застосовуються на РС залізниць у теперішній час, можуть бути виражені однією узагальненою характеристикою у відносних одиницях з розходженням 5,32...8,6%. За узагальнений показник порівняння прийнято діаметр  $d_c$  осердя привода.

Узагальнене відносне значення  $\delta_{0кр} = \frac{\delta_{кр}}{d_{\Pi}} = \frac{\delta_{кр}}{d_{\Pi} d_c}$ , де  $d_{\Pi} = \frac{d_{\Pi}}{d_c}$ ,  $d_{\Pi}$  - діаметр полюсного наконечника. Тому отримані результати дослідження на базі контактора МК-310Б можуть бути застосовані й для інших типів контакторів. Вперше отримана графічна залежність коефіцієнта запасу по силі  $K_{зап}$  від критичного зазору  $\delta_{0кр}$  у відносних одиницях (рис. 11)

**Третій розділ** присвячений розробці імовірнісної моделі параметричної надійності силових ТЕК рухомого складу залізниць. Умовою повного вмикання силових ТЕК РС є нерівність:

$$Q'_{\Pi\delta_{кр}} < Q_{M\delta_{кр}} \quad (8)$$

Кожна із величин  $Q'_{\Pi\delta_{кр}}$  та  $Q_{M\delta_{кр}}$  залежить від багатьох факторів і тому є випадковою. Тому абсолютна вимога виконання нерівності (8) не має сенсу. Можна лише поставити вимогу, щоб протягом усього процесу експлуатації вона була виконана з тією або іншою імовірністю. Тобто, задача оцінки експлуатаційної надійності контакторів повинна бути вирішена у імовірнісному трактуванні. На базі класичної моделі параметричних відмов запропонована імовірнісна модель параметричної надійності силових ТЕК рухомого складу. Виходячи з умови (8) введена величина  $R_{\delta_{кр}}$  («функція надійності»):

$$R_{\delta_{кр}} = Q_{M\delta_{кр}} - Q'_{\Pi\delta_{кр}} > 0 \quad (9)$$

Показано, що імовірність  $P$  повного вмикання контактора буде:

$$P = 1 - V = 1 - \int_{-\infty}^0 f(R_{\delta_{кр}}) dR_{\delta_{кр}} = \int_0^{\infty} f(R_{\delta_{кр}}) dR_{\delta_{кр}}, \quad (10)$$

де  $V$  - імовірність порушення нерівності (9);  $f(R_{\delta_{кр}})$  - густина розподілу функції  $R_{\delta_{кр}}$ .

$$f(R_{\delta_{кр}}) = \frac{1}{\sigma_{R_{\delta_{кр}}}} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}}, \quad (11)$$

де  $t = \frac{R_{\delta_{кр}} - \bar{R}_{\delta_{кр}}}{\sigma_{R_{\delta_{кр}}}}$ ;  $\bar{R}_{\delta_{кр}}$ ,  $\sigma_{R_{\delta_{кр}}}$  - відповідно вибіркове середнє та

середньоквадратичне відхилення величини  $R_{\delta_{кр}}$ . Значення  $\sigma_{R_{\delta_{кр}}} = \sqrt{\sigma_{Q_{M\delta_{кр}}}^2 + \sigma_{Q_{П\delta_{кр}}}^2}$ .

Відповідно до (10) імовірність  $P$  повного вмикання контактора дорівнює площі  $S$ , яка обмежена функцією  $f(R_{\delta_{кр}})$  та віссю абсцис. Тобто:

$$P = \int_0^{\infty} f(R_{\delta_{кр}}) dR_{\delta_{кр}} = S = \sum_{i=1}^K f_{i_{сер}}(R_{\delta_{кр}}) \Delta R_{\delta_{кр}}, \quad (12)$$

де  $f_{i_{сер}}(R_{\delta_{кр}})$  - значення ординати, що відповідає середній точці кроку  $\Delta R_{\delta_{кр}}$ .

Теоретична залежність  $f(R_{\delta_{кр}})$  при значенні  $\delta_{кр} = 3,24$  мм, яке отримано на базі статистичних даних, зібраних в локомотивному депо ТЧ-8 Придніпровської залізниці для контактора МК-310Б наведена на рис. 12. Статистична імовірність

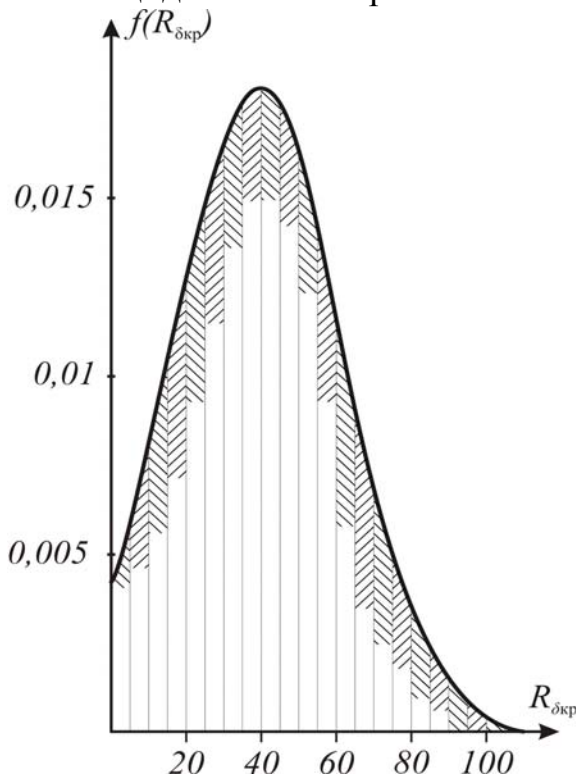


Рис. 12. Теоретична залежність  $f(R_{\delta_{кр}})$  при  $\delta_{кр} = 3,24$  мм.

$P$  повного вмикання контакторів дорівнює 0,73. Теоретична імовірність  $P$  повного вмикання контакторів згідно виразу (12) та рис. 12 отримана 0,81.

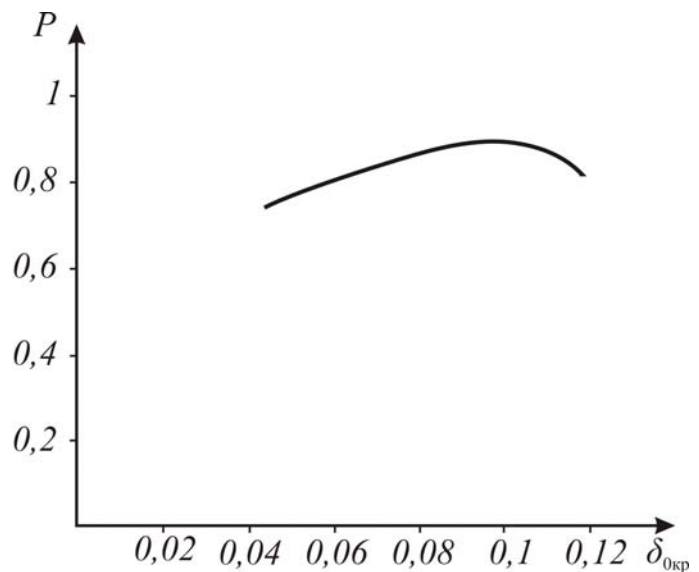


Рис. 13. Залежність імовірності повного вмикання контактора від значення критичного зазору у відносних одиницях.

Розбіжність між вказаними значеннями складає 9,87%, що підтверджує достовірність (10) для визначення параметричної надійності силових ТЕК рухомого складу залізниць. Використовуючи запропоновану імовірнісну модель знайдено залежність  $P = f(\delta_{0_{KP}})$  (рис. 13). З рис. 13 видно, що при критичному зазорі у відносних одиницях  $\delta_{0_{KP}} = 0,113$  для усіх типів контакторів клапанного виду імовірність повного вмикання  $P \approx 0,91$ , що є припустимим для обладнання РС залізниць.

**У четвертому розділі** проведені дослідження з метою доведення необхідності ввести в перелік технічних характеристик ТЕК для підвищення надійності роботи контакторів «струм термічної стійкості», а при виборі типу контактора для певного кола РС забезпечувати вимогу, щоб значення струму термічної стійкості перевищувало значення струму КЗ, який може проходити через контакти контактора певний час. Запропоновано метод визначення струмів через контакти ТЕК, які не викликають їх пластичної деформації  $I_d$ , та струмів плавлення  $I_{пл}$  контактів з урахуванням електродинамічних сил відштовхування між контактами при різних режимах їх навантаження. Перевірка адекватності запропонованого методу визначення струмів  $I_d$  та  $I_{пл}$  проведена на базі кіл опалення пасажирських вагонів поїзда від електровозів ЧС4 та ЧС8. Дослідження показали, що номінальні струми кіл опалення значно менші за  $I_d$ , а струми КЗ перевищують значення струмів  $I_{пл}$ . Так при напрузі у контактній мережі 25кВ максимальний струм КЗ у колі опалення електровозу ЧС4 приблизно складає 9310А, що значно перевищує струм плавлення  $I_{пл} = 1420,5$  А. Таке співвідношення між вказаними струмами пояснює явища плавлення, а інколи і зварювання, контактів контакторів у колах опалення, які спостерігаються на практиці.

Показано, що під впливом електродинамічних сил відштовхування в окремих випадках контакти можуть самовільно розімкнутися.

**У п'ятому розділі** на прикладі обставин з практики показана доцільність ввести вимогу перевірки коефіцієнту запасу по силі при критичному зазорі під час регулювання контактора після ремонту, а також після заміни зношених контактів в процесі експлуатації на нові. Виконання цієї вимоги забезпечує повне вмикання контактора. При повному вмиканні забезпечується повне притирання і достатнє натиснення силових контактів. Звертається увага на те, що значні оплавлення контактів при його спрацьовуванні є ознакою того, що контактор не відповідає даному колу за значенням струму термічної стійкості. У теперішній час є реальна можливість зменшити час проходження струму КЗ через контакти шляхом використання швидкодіючих пристроїв на базі мікропроцесорної техніки у схемах захисту. Сумарний економічний ефект від впровадження результатів досліджень складає приблизно 316 000 грн. за рік.



## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішена актуальна науково-прикладна задача підвищення надійності індивідуальних контакторів рухомого складу магістральних залізниць. Основні наукові результати, висновки та практичні рекомендації дисертації полягають у наступному:

1. Аналіз статистичних даних про неповне вмикання силових електромагнітних контакторів в схемах РС при мінімальній напрузі кіл керування показав, що статистичний коефіцієнт надійності цих контакторів при вказаній умові по фактору повного вмикання складає 0,73, що є недостатнім. Аналіз нормативної документації щодо вибору індивідуальних контакторів для схем РС підтвердив відсутність врахування значення стуму термічної стійкості при цьому, що приводить до значних пошкоджень електрообладнання в експлуатації при виникненні у колах короткого замикання навіть у тих випадках, коли захист спрацьовує у встановленому порядку.

2. Одним із шляхів підвищення імовірності повного вмикання контакторів є підвищення стабільності його тягової та протидіючої характеристик. З цією метою у роботі виконано наступне:

- вперше отримані аналітичні вирази для розрахунку дисперсій тягової та протидіючої характеристик електромагнітно - пружинних контакторів РС залізниць. За допомогою цих виразів проведена оцінка стабільності вказаних характеристик реальних контакторів.

- доведено, що у випадку, коли при визначенні дисперсії тягової характеристики використовується розкладання цієї суттєво нелінійної функції у ряд Тейлора, то врахування не двох (як це прийнято у теперішній час при лінеаризації функцій), а чотирьох перших членів підвищує точність визначення дисперсії при критичному зазорі на 13,5%.

- доведено, що тягові характеристики усіх типів контакторів клапанного виду, які застосовуються на РС залізниць у теперішній час, можуть бути виражені однією узагальненою характеристикою у відносних одиницях. Встановлено, що розходження при цьому між розрахунковим значенням тягової сили та значенням цієї сили згідно узагальненої характеристики складає 5,32...8,6%.

- розроблені рекомендації щодо раціонального значення коефіцієнту запасу по силі (відношення сили тяги до протидіючої при критичному зазорі) з точки зору підвищення їх надійності по фактору повного вмикання.

- вперше отримана графічна залежність коефіцієнту запасу по силі від критичного зазору у відносних одиницях.

3. Запропонована імовірнісна модель параметричної надійності контакторів РС, за допомогою якої вперше встановлена графічна залежність значення імовірності повного вмикання контактора від критичного зазору, який

виражено у відносних одиницях. При використанні рекомендацій автора імовірність повного вмикання контакторів по фактору їх повного вмикання може бути підвищена до 0,91 у порівнянні із 0,73 у теперішній час.

4. Вперше запропоновано метод визначення струму плавлення матеріалів контакторів при раптовому КЗ з урахуванням реальних умов роботи електрообладнання рухомого складу. Показано, що реальні струми раптового КЗ в схемах РС можуть у декілька разів перевищувати струми плавлення матеріалу контактів контакторів. Тому з точки зору підвищення надійності ТЕК в нормативні документи рекомендується ввести струм термічної стійкості до переліку параметрів, якими характеризуються контактори рухомого складу залізниць. Струм термічної стійкості повинен бути більшим, ніж максимально можливий струм КЗ через контакти у певному електричному колі рухомого складу.

5. З метою підвищення надійності електромагнітних контакторів РС залізниць по факту повного вмикання рекомендується доповнити нормативні документи з регулювання контакторів після ремонту наступними вимогами:

- забезпечити значення коефіцієнту запасу по силі при критичному зазорі в межах не менше 1,7...2,9;
- в експлуатації підтримувати значення критичного зазору  $\delta_{кр} \approx const$  шляхом відповідного регулювання контактора після ремонтів із заміною його деталей, зокрема контактів.

6. Сумарний економічний ефект від впровадження результатів дисертаційної роботи складає приблизно 316 000 грн. за рік.

***Основні положення і результати дисертації опубліковані в таких роботах:***

### ***Основні праці***

1. Маренич О. О. Вплив відхилень параметрів приводу електромагнітних контакторів електрорухомого складу від їх номінальних значень на надійність роботи контакторів / О. О. Маренич // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. ак. В. Лазаряна. - Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2009. – Вип. 26. – С. 60 – 62.

2. Маренич А. А. Повышение надежности электромагнитных контакторов / А. А. Маренич // Гірничі Електромеханіка та автоматика. Наук.-техн. зб. Національного Гірничого університету. - Дніпропетровськ: ДНГУ, 2009. - Вип. 83. – С. 21 -25.

3. Маренич О. О. Робота електромагнітних контакторів при мінімальному значенні напруги кіл керування рухомим складом залізниць / О. О. Маренич // Вісник Дніпропетровського національного університету

залізничного транспорту ім. ак. В.Лазаряна. - Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2010. - Вип. 31. – С. 32-35.

4. Маренич О. О. Вплив відхилень параметрів приводу тягового електромагнітного контактора на його тягову характеристику / О. О. Маренич // Гірнича Електромеханіка та автоматика. Наук.-техн. зб. Національного Гірничого університету. – Дніпропетровськ: ДНГУ, 2010. - Вип. 84.– С.188-192.

5. Маренич А. А. Метод оценки технологической стабильности электротяговой и противодействующей сил контакторов подвижного состава / А. А. Маренич, Н. А. Костин // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. ак. В. Лазаряна. - Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2011. - Вип. 37. – С. 89-95.

6. Маренич О. О. Підвищення надійності кіл опалення електровозів ЧС4 та ЧС8 / О. О. Маренич // Науковий журнал НТУ «ХПІ» «Електротехніка і електромеханіка». – Харків, 2011.- №4. – С. 72-74.

7. Маренич О. О. Імовірнісна модель параметричної надійності силових електромагнітних контакторів рухомого складу залізниць / О. О. Маренич, М. О. Костін // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. ак. В.Лазаряна. - Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2011. - Вип. 36. – С. 60-63.

### *Додаткові праці*

8. Маренич О. О. Підвищення надійності електромагнітних контакторів електрорухомого складу / О. О. Маренич // Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту: 69 Міжнар. наук.-практ. конф. 21-22 травня 2009 р.: тези доп. - Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2009. – С. 131.

9. Маренич О. О. Покращення працездатності електромагнітних контакторів у колах рухомого складу залізниць / О. О. Маренич // Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту: 70 Міжнар. наук.-практ. конф. 15-16 квітня 2010 р.: тези доп. - Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2010. – С. 97-98.

10. Маренич О. О. Метод оцінки технологічної стабільності характеристик та імовірнісна модель параметричної надійності електромагнітних контакторів рухомого складу / О. О. Маренич, М. О. Костін // Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту: 71 Міжнар. наук.-практ. конф. 14-15 квітня 2011 р.: тези доп. - Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2011. – С. 114.

11. Маренич А. А. Повышение работоспособности электромагнитных устройств подвижного состава / А. А. Маренич // Сборник Рижского Технического Университета. Scientific proceedings of Riga Technical University, Transport and Engineering. Railway Transport. - Рига: РТУ, 2009. – № 32. – С. 33.

## АНОТАЦІЯ

Маренич О.О. Підвищення надійності індивідуальних контакторів рухомого складу магістральних залізниць. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів. – Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, Дніпропетровськ, 2011.

Дисертація присвячена підвищенню надійності індивідуальних контакторів рухомого складу магістральних залізниць шляхом забезпечення певного коефіцієнту запасу по силі при критичному зазорі з метою отримання повного вмикання контактора та врахування струму термічної стійкості при виборі контакторів електричних кіл.

Аналіз статистичних даних показав, що для 27% тягових електромагнітних контакторів (ТЕК) при мінімальній напрузі кіл керування співвідношення між тяговою та протидіючою характеристиками може не задовольнити умовам безумовного включення контактора, коли якір повинен повністю притягнутися до осердя. Встановлено, що в переліку технічних характеристик ТЕК відсутній струм термічної стійкості.

Отримані аналітичні вирази для розрахунку дисперсій тягової та протидіючої характеристик ТЕК. Запропоновано метод підвищення точності визначення дисперсії тягової характеристики.

Розроблені рекомендації щодо раціонального значення коефіцієнта запасу по силі при критичному зазорі з точки зору забезпечення повного вмикання контакторів при мінімальній напрузі кіл керування рухомим складом.

З використанням класичної моделі параметричної надійності встановлена залежність значення імовірності повного вмикання контактора від критичного зазору у відносних одиницях.

Доведено, що до переліку параметрів, якими характеризуються контактори рухомого складу у теперішній час, потрібно ввести струм термічної стійкості.

Ключові слова: тяговий електромагнітний контактор, тягова та протидіючі характеристики, дисперсія характеристики, коефіцієнт запасу по силі, параметрична надійність, струм термічної стійкості.

## АННОТАЦИЯ

Маренич А.А. Повышение надежности индивидуальных контакторов подвижного состава магистральных железных дорог. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.07 – подвижной состав железных дорог и тяга поездов. – Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта

имени академика В. Лазаряна, Днепропетровск, 2011.

Диссертация посвящена повышению надежности индивидуальных контакторов подвижного состава магистральных железных дорог путем обеспечения определенного коэффициента запаса по силе при критическом зазоре с целью получения полного включения контактора и принятия во внимание тока термической стойкости при выборе контакторов электрических цепей.

Анализ статистических данных показал, что значительная часть тяговых электромагнитных контакторов (ТЭК) не включается при минимальном напряжении цепей управления подвижным составом, а из-за непринятия во внимание тока термической стойкости при выборе контакторов происходит существенная порча электрооборудования во время коротких замыканий, несмотря на то, что защита срабатывает в установленном порядке.

Получены аналитические выражения для расчета дисперсий тяговой и противодействующей характеристик ТЭК. Доказано, что если при определении дисперсии тяговой характеристики ТЭК применить разложение этой существенно нелинейной функции в ряд Тейлора, то использование не двух (как это принято в настоящее время при линеаризации функций), а четырех первых членов существенно повышает точность определения дисперсии при критическом зазоре.

Разработаны рекомендации по рациональному значению коэффициента запаса по силе при критическом зазоре с точки зрения обеспечения полного включения контакторов.

С целью повышения надежности ТЭК подвижного состава рекомендуется дополнить нормативные документы по регулированию контакторов после ремонта следующими требованиями:

- после регулирования снять тяговую и противодействующую характеристики с целью оценки превышения значения тяговой силы над противодействующей во всем диапазоне изменения воздушного зазора;
- обеспечить рациональное значение коэффициента запаса по силе при критическом зазоре.

Предложена вероятностная модель параметрической надежности силовых ТЭК подвижного состава, с помощью которой впервые установлена зависимость значения вероятности полного включения контактора от критического зазора в относительных единицах. Предложен метод определения рационального критического зазора для любого типа ТЭК. Полученные значения могут быть использованы при регулировании контакторов после ремонта.

Предложен метод определения тока плавления материала контактов при коротком замыкании с учетом реальных условий работы электрооборудования подвижного состава. Показано, что реальные токи короткого замыкания могут в

несколько раз превышать токи плавления материала контактов контакторов, которые находятся в эксплуатации в настоящее время, особенно при учете электродинамических сил отталкивания.

Нашли дальнейшее развитие существующие представления о выборе контакторов для силовых цепей локомотивов, вагонов. В частности, доказано, что в перечень параметров, которыми характеризуются контакторы в цепях подвижного состава в настоящее время, необходимо ввести ток термической стойкости.

Ключевые слова: тяговый электромагнитный контактор, тяговая и противодействующая характеристики, дисперсия характеристики, коэффициент запаса по силе, параметрическая надежность, ток термической стойкости.

### ABSTRACT

Marenych O.O. Reliability improvement of individual railway rolling stock contactors. - Manuscript.

Thesis for a candidate degree in engineering sciences in speciality 05.22.07 – railway rolling stock and train traction. - Dnepropetrovsk national university of railway transport named after academician V. Lazaryan, Dnepropetrovsk, 2011.

The thesis deals with the reliability improvement of individual railway rolling stock contactors by ensuring the determined value of force safety factor at the critical air gap, in order to secure complete switching of a contactor, and taking into account the value of short-time thermal current, while choosing contactors for electrical circuits.

Analysis of statistic data has shown that for 27% of traction electromagnetic contactors (TEC) the correlation of traction and counteracting characteristics at the minimal voltage in control circuits may not fulfil conditions of contactor complete switching (when an armature is fully attracted to a core). It was shown that the value of short-time thermal current is not specified in the list of TEC technical characteristics.

To calculate dispersion of traction and counteracting characteristics an analytical expression has been developed; to increase accuracy of the calculation a new method has been proposed.

Recommendations for choosing the rational value of force safety factor at the critical air gap have been developed in order to secure complete switching of contactors at the minimal voltage in control circuits of rolling stock.

A dependence between probability of contactor complete switching and the critical air gap (in relative units) was found using a classical model of parametric reliability.

It was proved that the short-time thermal current should be added to the list of parameters which characterize rolling stock contactors at the present time.

Key words: traction electromagnetic contactor, force safety factor, parametric reliability, short-time thermal current.

Маренич Олександра Олександрівна

ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ІНДИВІДУАЛЬНИХ КОНТАКТОРІВ  
РУХОМОГО СКЛАДУ МАГІСТРАЛЬНИХ ЗАЛІЗНИЦЬ

АВТОРЕФЕРАТ  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

підписано до друку «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2011 року.  
Формат 60x84 1/16. Папір для множильних апаратів. Різограф.  
Ум. Др. арк. 1,0. Обл.-вид. л. 1,0. Тираж 100 прим.  
Замовлення № \_\_\_\_\_. Безкоштовно.

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту  
імені академіка В. Лазаряна  
ДК №1315 від 31.03.03

*Адреса університету і ділянки оперативної поліграфії:*  
49010, Дніпропетровськ, вул. акад. В. Лазаряна, 2  
[www.diit.dp.ua](http://www.diit.dp.ua)  
[admin@diitrzv.dp.ua](mailto:admin@diitrzv.dp.ua)