

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет «Управління енергетичними та економічними процесами»

Кафедра «Електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ЕТЕМ

Андрій МУХА
(підпис)

Дата 18.02.25

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи магістра

на тему: «Дослідження впливу напруги керування контактора на характеристики електричного апарата»

за освітньою програмою: «Енергетичні та електромеханічні системи на транспорті»

зі спеціальності: «141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Виконав: студент
групи «ЕЕ2321»

Гордієнко
(підпис студента)

/Микола ГОРДІЄНКО/
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник:

Мар
(підпис)

/доц. Оксана МАРЕНИЧ/
(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Нормоконтролер:

С
(підпис)

/доц. Оксана КАРЗОВА/
(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Консультанти:

(назва розділу)

(підпис)

// _____
(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

(назва розділу)

(підпис)

// _____
(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

(назва розділу)

(підпис)

// _____
(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

(назва розділу)

(підпис)

// _____
(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Засвідчую, що у цій роботі немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент

Гордієнко
(підпис)

Дніпро – 2024 рік

Ministry of Education and Science of Ukraine
Ukrainian State University of Science and Technologies

Faculty «Management of energy and economic processes»
Department «Electrical engineering and electromechanics»

Explanatory Note
to Master's Thesis

on the topic: «Study of the effect of the contactor control voltage on the characteristics of the electrical apparatus»

according to educational curriculum «Energy and electromechanical systems in transport»

in the Speciality: «141 Electrical energetics, electrical engineering and electromechanics»

Done by the student of the group EE2321: /Mykola HORDIIENKO/

Scientific Supervisor: /Oksana MARENYCH/

Normative controller: /Oksana KARZOVA/

Supervisors

<hr/>	//
(Chapter title heading)	(position, name, surname)
<hr/>	//
(Chapter title heading)	(position, name, surname)
<hr/>	//
(Chapter title heading)	(position, name, surname)
<hr/>	//
(Chapter title heading)	(position, name, surname)

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет: Факультет «Управління енергетичними та економічними процесами»
Кафедра: «Електротехніка та електромеханіка»
Рівень вищої освіти: магістр
Освітня програма: «Енергетичні та електромеханічні системи на транспорті»
Спеціальність: «141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу магістра
студенту Гордієнко Микола Андрійович

1. Тема роботи: «Дослідження впливу напруги керування контактора на характеристики електричного апарата»

Керівник роботи: Маренич Оксана Леонідівна, доцент
затверджені наказом № 247 ст від 01.04.2024 р.

2. Строк подання студентом роботи: 05.01.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи: Контактор типу МК-310Б.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно опрацювати):

4.1 Аналітична частина: Вступ. Аналіз літературних джерел та нормативної документації зі вказаного питання. Конструкція та характеристики електромагнітних контакторів та реле. Фактори, що визначають їх безвідмовну роботу.

4.2 Основна частина: Проблема не повного вмикання електромагнітного контактора та її зв'язок з напругою котушки привода. Статистичні дані по напрузі на котушці, за якої контактор вмикається та їх математична оцінка методами теорії імовірності. Оцінка впливу зміни напруги кіл керування на тягову характеристику електромагнітного контактора. Рекомендації.

4.3 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях: Основні функції системи управління охороною праці на підприємстві.

4.4 Економічна частина: –

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

1. Контактор МК-310Б: паспорт, конструкція, характеристики, особливості експлуатації; 2. Фактори, що визначають безвідмовну роботу контактора, проблема не повного вмикання; 3. Статистичні дані по напрузі на котушці, за якої контактор вмикається та їх оцінка; 4. Оцінка впливу зміни напруги кіл керування на тягову характеристику електромагнітного контактора. Рекомендації.

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Завдання видав: (підпис консультанта, дата)	Завдання прийняв: (підпис студента, дата)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ.	11.11.2024 – 17.11.2024	10%
2	Аналіз літературних джерел та нормативної документації зі вказаного питання. Конструкція та характеристики електромагнітних контакторів та реле. Фактори, що визначають їх безвідмовну роботу.	18.11.2024 – 24.11.2024	15%
3	Проблема не повного вмикання електромагнітного контактора та її зв'язок з напругою котушки привода. Статистичні дані по напрузі на котушці, за якої контактор вмикається та їх математична оцінка методами теорії імовірності.	25.11.2024 – 08.12.2024	30%
4	Оцінка впливу зміни напруги кіл керування на тягову характеристику електромагнітного контактора. Рекомендації.	09.12.2024 – 22.12.2024	30%
5	Основні функції системи управління охороною праці на підприємстві.	23.12.2024 – 29.12.2024	10%
6	Висновки та рекомендації	30.12.2024 – 05.01.2025	5%
7	Подання кваліфікаційної роботи до кафедри		-
8	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Екзаменаційної комісії	06.01.2025 – 26.01.2025	-

Студент

_____ (підпис)

Микола ГОРДІЄНКО

_____ (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи

_____ (підпис)

доц. Оксана МАРЕНИЧ

_____ (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

№ рядка	Формат	Позначення	Назва	Кільк. арк.	№ екз.	Прим
1			<u>Документація загальна</u>			
2			Заново розроблена			
3	A4	7.141.190036.ПЗ	Пояснювальна записка	61		
4			Запозичена			
5			<u>Графічна частина</u>			
6			Заново розроблена			
7	A4	7.141.190036.01	Конструкція та характер.	1		
8			контактора МК-310Б			
9	A4	7.141.190036.02-03	Аналіз статистичних даних	2		
10			по відхиленню параметрів			
11			електромагнітного контактора			
12			типу МК-310Б			
13	A4	7.141.190036.04	Оцінка стабільності	1		
14			характеристик контактора			
15						
16						
17						
18						
19			Запозичена			
20						
21			<u>Електронна частина</u>			
22						
23						
24						

7.141.190036.ПЗ

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Розробив		Гордієнко М.А.		
Осн. керів.		Маренич О.Л.		
Консульт.				
Н. контр.		Карзова О.О.		
Зав. кафедр.		Муха А.М.		

Відомість
кваліфікаційної роботи

Стад.	Аркуш	Аркушів
	5	61
МОН України. УДУНТ Кафедра «ЕТЕМ» Група ЕЕ2321		

РЕФЕРАТ

Дипломна магістерська робота на тему «Дослідження впливу напруги керування контактора на характеристики електричного апарата» складається з 5 розділів та містить: 61 сторінку основного тексту, 19 таблиць, 7 рисунків, 17 літературних джерел, 1 додаток.

Мета роботи – підвищення надійності контактора типу МК-310Б.

В розділі 1 на основі проведеного аналізу літератури та нормативних документів, наукових робіт, статистичної інформації по виходу з ладу тягових контакторів встановлено, що забезпечення стабільності характеристик контактора (тягової та протидії) є ключовим фактором в досягненні високої надійності їх функціонування. Одним з основних чинників, що впливає на характеристики контактору є величина напруги на котушці його електромагніту, а точніше мінімальне її значення за якого забезпечується повне увімкнення контактора.

В розділі 2 викладені основні положення Теорії ймовірностей, математичної статистики в контексті їх використання для аналізу характеристик контактора, оскільки параметри його механізмів є випадковими величинами, що змінюються в процесі експлуатації.

Розділ 3 присвячений оцінці числових характеристик – математичного очікування, дисперсії та середньоквадратичного відхилення – функцій Q_m та Q'_n . Доведено припущення про нормальний закон розподілення параметрів-аргументів цих функцій. При оцінці стабільності тягової характеристики контактора встановлено, що на відхилення в експлуатації від її початкового положення найбільше впливає значення критичного повітряного зазору та напруга на котушці електромагніту.

В розділі 4 досліджено вплив напруги на тягову характеристику контактора, запропоновано розширити перелік робіт з регулювання контактора пунктом по отриманню його характеристик з відповідним аналізом їх взаємного положення.

Розділ 5 присвячений питанням щодо основних функцій системи управління охороною праці на підприємстві.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ЕЛЕКТРОМАГНІТНИЙ КОНТАКТОР, НАПРУГА, ПРУЖИНА, ТЯГОВА ХАРАКТЕРИСТИКА, ДИСПЕРСІЯ

					7.141.190036.ПЗ	Лист
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1 ФАКТОРИ, ЩО ВИЗНАЧАЮТЬ БЕЗВІДМОВНУ РОБОТУ КОНТАКТОРА ТИПУ МК-310Б	10
1.1 Конструкція та технічні дані контактора типу МК-310Б	10
1.2 Аналіз факторів, що впливають на надійну роботу комутаційних апаратів електрорухомого складу	12
1.3 Характеристики електромагнітного контактору типу МК-310Б та їх взаємна узгодженість	14
РОЗДІЛ 2 ТЕОРІЯ ЙМОВІРНОСТЕЙ ТА МАТЕМАТИЧНА СТАТИСТИКА ЯК ЗАСІБ АНАЛІЗУ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ	20
2.1 Основні положення та методи Теорії ймовірності	20
2.2 Числові характеристики статистичного матеріалу	26
РОЗДІЛ 3 АНАЛІЗ СТАТИСТИЧНИХ ДАНИХ ПО ВІДХИЛЕННЮ ПАРАМЕТРІВ КОНТАКТОРА ТИПУ МК-310Б	28
3.1 Статистичні дані по відхиленню параметрів-аргументів функції Q_m	28
3.2 Статистичні дані по відхиленню параметрів-аргументів функції Q'_n	30
3.3 Числові характеристики випадкових величин $U, S_T, R_k, \delta_{кр}$	31
3.4 Аналіз стабільності характеристик тягового електромагнітного контактора типу МК-310Б	47
РОЗДІЛ 4 ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ НАПРУГИ КІЛ КЕРУВАННЯ ЛОКОМОТИВА НА ТЯГОВУ ХАРАКТЕРИСТИКУ КОНТАКТОРА	50
РОЗДІЛ 5 ОСНОВНІ ФУНКЦІЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ОХОРОНОЮ ПРАЦІ НА ПІДПРИЄМСТВІ	54
ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ	58
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	60
СПИСОК ГРАФІЧНИХ РОБІТ	62
ДОДАТОК А	63

					Пояснювальна записка				
					Дослідження впливу напруги керування контактора на характеристики електричного апарата	Літ.		Маса	Масштаб
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					1:1
Розробив		Гордієнко М.А.							
Перевірів		Маренич О.Л.							
Т. контр.									
Реценз.						Арк. 7		Аркушів 61	
Н. контр.		Карзова О.О.			7.141.190036.ПЗ		Український державний університет науки і технологій, група ЕЕ2321		
Затвердив		Муха А.М.							

ВСТУП

В допоміжних електричних колах та колах керування електрорухомого складу залізниць (електровози, електропоїзди) для вмикання/вимикання відповідного обладнання (допоміжні електричні машини, опалення, автоматичного вимикання пускових резисторів в електричних колах допоміжних машин після їх розгону та ін.) застосовуються індивідуальні електромагнітні контактори. Широке розповсюдження на вітчизняному електрорухомому складі отримав індивідуальний електромагнітний контактор типу МК-310Б для комутації електричних кіл живлення допоміжних електричних машин.

Відомо [1-3], що електромагнітні контактори розраховують на номінальні фізичні та електричні параметри. Тим не менш реальні значення цих параметрів у контакторів, що знаходяться в експлуатації завжди відрізняються від номінальних. Ця відмінність (відхилення від номінального значення) має місце при виготовленні контактора на заводі або після його ремонту (технологічна стабільність), так і в процесі експлуатації (експлуатаційна стабільність). Вказані нестабільності параметрів електромагнітного контактора приводять до нестабільності сили електромагнітного притягування Q_m , що виникають в його приводі, а також сили протидії Q_n (створюється пружинами). Співвідношення між цими силами визначає працездатність контактора по критерію факту його нормального замикання, коли якір повністю притягнутий до сердечника, а контактор вважається повністю увімкненим.

Працездатність – це стан виробу, при якому він спроможний виконувати задані функції з параметрами, які встановлені вимогами технічної документації [4]. Наслідком відмови контакторів в схемах електрорухомого складу може бути часткова або повна втрата електровозом чи електропоїздом своїх функцій. Дослідження можливих причин відмови електромагнітних контакторів є важливою задачею в контексті збереження працездатності електрорухомого складу залізниць.

					7.141.190036.ПЗ	Лист
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

Згідно з ДСТУ 2773-94 мінімальне значення напруги вмикання контакторів електрорухомого складу повинно складати 35 В (за номінального значення 50 В) та 77 В (за номінального значення напруги 110 В).

Напруга, що прикладається до котушки електромагнітного привода комутаційного апарату суттєво впливає на значення сили електромагнітного притягування. Для вмикання контактора потрібно, щоб за будь-якого значення повітряного зазору між осердям магнітопроводу та якорем сила тяги була б більшою за значенням сили протидії. В ситуації неповного вмикання контактора створюються передумови до підгоряння контактів або навіть їх зварювання.

Статистичні дані по виходу з ладу контакторів типу МК-310Б вказують на те, що значна їх кількість не вмикається повністю.

Враховуючи вищевикладене в рамках роботи стоїть задача оцінити вплив величини напруги керування на надійність (ймовірність надійного повного вмикання) електромагнітного контактора типу МК-310Б.

					7.141.190036.ПЗ	Лист
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1

ФАКТОРИ, ЩО ВИЗНАЧАЮТЬ БЕЗВИДМОВНУ РОБОТУ КОНТАКТОРА ТИПУ МК-310Б

1.1 Конструкція та технічні дані контактора типу МК-310Б

Індивідуальний електромагнітний контактор типу МК-310Б застосовується для включення/відключення допоміжних електричних машин на електровозах ВЛ10, ВЛ11, ВЛ8 та інших типах.

Технічні дані МК-310Б-34 наведено в табл. 1 [5].

Таблиця 1 – Технічні дані контактора типу МК-310Б

Номинальна напруга в силовому колі, В	3000
Номинальний силовий струм контактора, А	25
Номинальна напруга в колі керування, В	50
Номинальний струм котушки вимикання, А	0,65
Активний опір котушки вмикання при +20°C, Ом	58...65,8
Величина розриву контактів, мм	30...34
Величина провалу контактів, мм	7...9
Сила стискання силових контактів, Н	18...27
Контактор повинен вмикатись при напрузі на затискачах котушки увімкнення, В	30
Жорсткість пружини вимикання, Н/мм	1
Жорсткість пружини притирання (контактної), Н/мм	3,24
Маса, кг	28,4

Контактор типу МК-310Б складається з електромагнітного приводу клапанного типу, контактної та дугогасної систем.

Під дією пружини вимикання 8 (рис. 1) якір 9 разом з ізоляційним важелем 7 і механізмом рухомого контакту (складається з кронштейна 6, тримача контакту 3, пружини притирання 5 і рухомого контакту 2) знаходяться в крайньому правому

					7.141.190036.ПЗ	Лист
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

положенні (ілюструє кінематична схема на рис. 1, б). Контакти знаходяться в розімкненому стані.

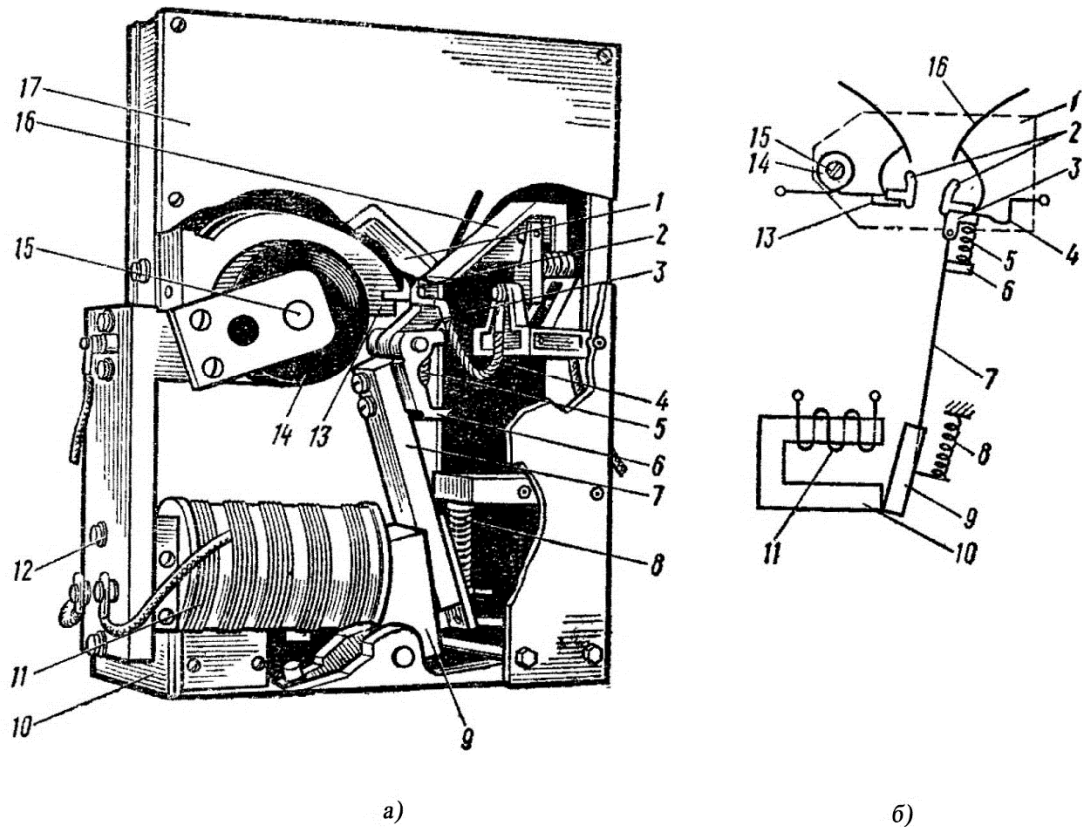


Рисунок 1 – Електромагнітний контактор типу МК-310Б:

а) загальний вигляд; б) схема роботи

При подачі напруги 50 В на котушку увімкнення 11, то під діє струму в осерді котушки і ярмі магнітопроводу 10 індукуються магнітний потік, який і притягує яркір. Яркір повертається, і стискаючи пружину 8, спочатку підводить рухомий контакт до нерухомого, а потім, стискаючи пружину 5, **притирає** і притискає контакти в замкненому стані.

Нерухомий контакт закріплений на кронштейні 13, а той в свою чергу на ізоляційній планці. У вирізі кронштейна 13 знаходиться дугогасна котушка 14 з сердечником 15. Для того аби отримати достатній магнітний потік для роботи дугогасної системи котушка 14 має достатньо велику кількість витків.

Коли контактор увімкнений, то струм силового кола протікає через дугогасну котушку 14, контакти 2 і гнучкий шунт 4. Вимикання котушки 11 викликає відпадання яркіра від магнітопроводу під дії пружини 8, і як наслідок відбувається

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
------	------	----------	--------	------

розмикання контактів. Дуга, що утворюється при розмиканні силових контактів видувається вгору в дугогасну камеру 17 під дією магнітного поля котушки 14 та потоку повітря, що утворюється внаслідок його нагрівання електричною дугою. Дугогасна камера виконана з азбестоцементу та має щілинний тип.

1.2 Аналіз факторів, що впливають на надійну роботу комутаційних апаратів електрорухомого складу

Контактор типу МК-310Б має електромагнітний привод клапанного типу із замкненим магнітопроводом та якорем, що обертається навколо власної осі на кут менше 30°. За такого кута повороту якоря можна вважати його рух поступальним прямолінійним [6].

Відхилення параметрів елементів електромагнітного приводу контактора від їх номінальних значень впливають на вид і взаємне розташування характеристик цього апарату, що здатне суттєво погіршити показники його надійності [7].

У відповідності до вимог ДСТУ 2773-94 [1] тяговий контактор повинен вмикатись за напруги кіл керування від 35 В і вище, оскільки його номінальна напруга котушки керування складає 50 В (табл. 1). Зрозуміло, що не виконання цієї вимоги не забезпечить виконання деяких параметрів, а аналіз експериментальних даних, вказує на те, що значна кількість тягових контакторів МК-310Б не вмикається повністю при напрузі меншій від номінального значення, але більшій від зазначених вище 35 В. При подачі вказаних значень напруги (діапазон від 35 В до 50 В) на котушку електромагнітного приводу МК-310Б якір починає рухатись, але після дотикання силових контактів він зупиняється, а між осердям та якорем залишається повітряний зазор в декілька міліметрів. Тобто має місце неповне вмикання контактора. Фактично має місце не виконання пружиною притирання своїх функцій, що полягають у створенні заданої величини натиснення в контактній групі та притиранню контактів (руйнуванню окисних плівок на робочих поверхнях контактів). Зменшення сили натискання контактів у купі з оксидними плівками на їх робочих поверхнях створює передумови для збільшення величини перехідного опору контактної групи, і як наслідок, до зменшення надійності роботи апарату.

					7.141.190036.ПЗ	Лист
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Відомо, що із збільшення перехідного опору контактів зростає енергія втрат в даному контактному з'єднанні. За певний час T величина енергії втрат через контакт буде визначатись наступним виразом:

$$A_{\text{втр}} = \int_0^T (I^2 \cdot r_k) dt, \quad (1)$$

де r_k – значення перехідного опору контактів;

I – силу струму, що протікає через контакт на протязі часу T .

При деякому значенні r_k енергія втрат може перевищити можливості контактної системи по розсіюванню тепла, що звісно, призведе до недопустимого перевищення температури контактів. В ряді випадків контакти можуть приваритись один до одного.

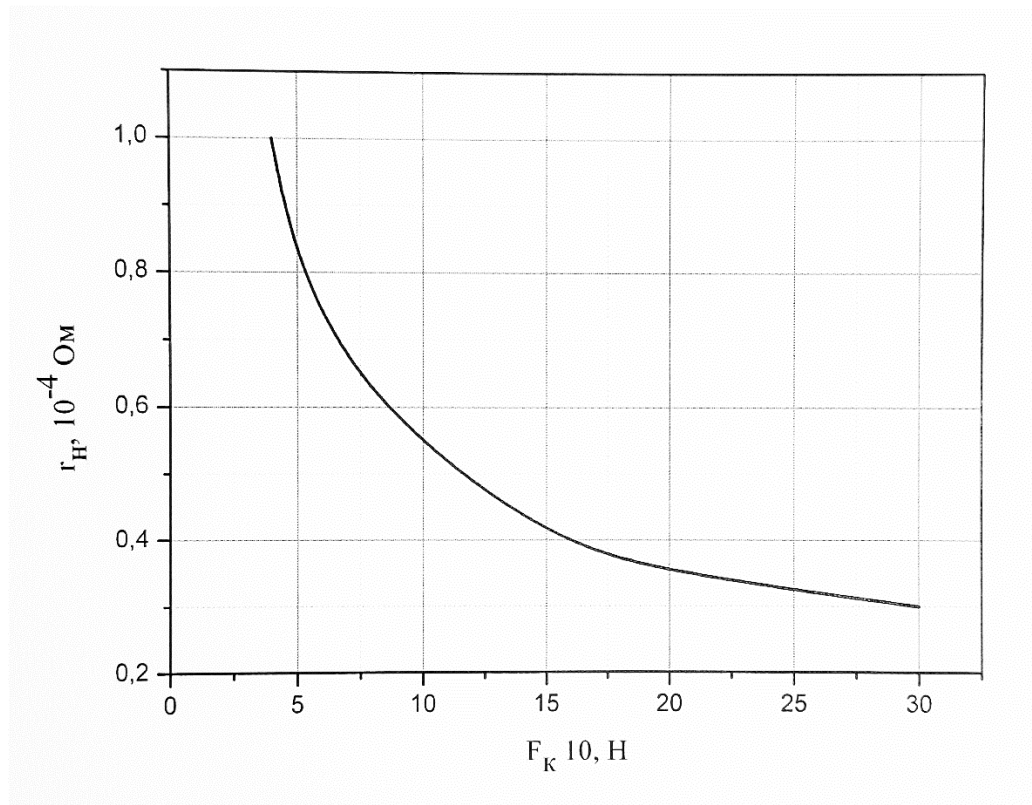


Рисунок 2 – Графік впливу натиснення контактів на значення перехідного опору

На рис. 2 наведено залежність опору лінійних металокерамічних контактів зі сплаву МВ-70 (мідь-вольфрам) при ширині контакту 20 мм [6].

На надійну роботу тягового електромагнітного контактора впливають не тільки явища чи фактори пов'язані з інтенсивністю його спрацьовувань, а і явища і

фактори, які визначаються кліматичними умовами, тривалою дією вібрацій, старінням. Так склалося, що електрорухомий склад залізниць України в більшості випадків експлуатується значно довше за нормативні терміни і йому притаманне природне старіння матеріалів до яких додається зміна властивостей пов'язана з ремонтами. Виходячи з вищезазначеного, для того аби забезпечити надійну роботу комутаційної апаратури і компенсувати дію вказаних факторів та явищ необхідно забезпечити відповідне співвідношення між тяговою характеристикою та характеристикою протидії контактора.

1.3 Характеристики електромагнітного контактору типу МК-310Б та їх взаємна узгодженість

Залежність тягової сили Q_m , що створюється його електромагнітним приводом від величини повітряного зазору δ між якорем та ярмом магнітної системи при постійності магніторушійної сили називають статичною характеристикою електромагнітного контактора [2]. Цю силу можна визначити аналітично, якщо вважати струм в котушці керування незмінним, знехтувати перехідними процесами та магнітним опором магнітопроводу, і врахувати виключно опір повітряного зазору [6, 7]:

$$Q_m = 0,5 \cdot \mu_0 \cdot S_\delta \cdot \left(\frac{F}{\delta}\right)^2, \quad (2)$$

де μ_0 – магнітна проникність повітряного зазору;

S_δ – площа поперечного перерізу повітряного зазору;

F – магніторушійна сила котушки електромагніту;

δ – величина повітряного зазору.

Магніторушійна сила електромагніту:

$$F = W \cdot I, \quad (3)$$

де W – кількість витків у котушці;

I – струм в котушці електромагніту.

						Лист
					7.141.190036.ПЗ	14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Власне значення струму в котушці електромагніту контактора може бути виражене через її опір:

$$I = \frac{U}{R_k}, \quad (4)$$

де U – напруга на котушці електромагніту;

R_k – активний опір котушки електромагніту.

Точне значення площі поперечного перерізу повітряного зазору визначити не просто, оскільки вона залежить не тільки від конструкції контактора, а і від положення якоря відносно ярма магнітної системи. Тому пропонується наближена формула для розрахунку [6]:

$$S_\delta = \delta \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot \delta}{\sqrt{S_T}} \right), \quad (5)$$

де S_T – площа торця осердя.

Підставивши (3), (4), (5) у вираз (2) отримаємо:

$$Q_m = 0,5 \cdot \mu_0 \cdot S_T \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot \delta}{\sqrt{S_T}} \right) \cdot \left(\frac{U}{R_k} \cdot \frac{F}{\delta} \right)^2. \quad (6)$$

Пружина є обов'язковим елементом будь-якого контактного електричного апарату. Характеристика пружини – це залежність $Q = f(l)$, де Q – зовнішня сила, що діє на пружину; l – деформація пружини.

Для пружини з постійною характеристикою [7]:

$$Q_{pr} = c \cdot l, \quad (7)$$

де c – жорсткість пружини з монотонною характеристикою, Н/м.

Утворення сили протидії в кінематичній схемі електромагнітного контактора проілюстровано на рис. 3.

Сила протидії складається із приведених до плеча l сили Q_M відносно осі повороту O , ваги рухомої системи, сили Q_{Π} (створюється пружиною вимикання B), яка залежить від характеристики пружини, і сили натиснення контактів Q_K (після їх замикання), що створюється пружиною притирання (або контактна пружина K)

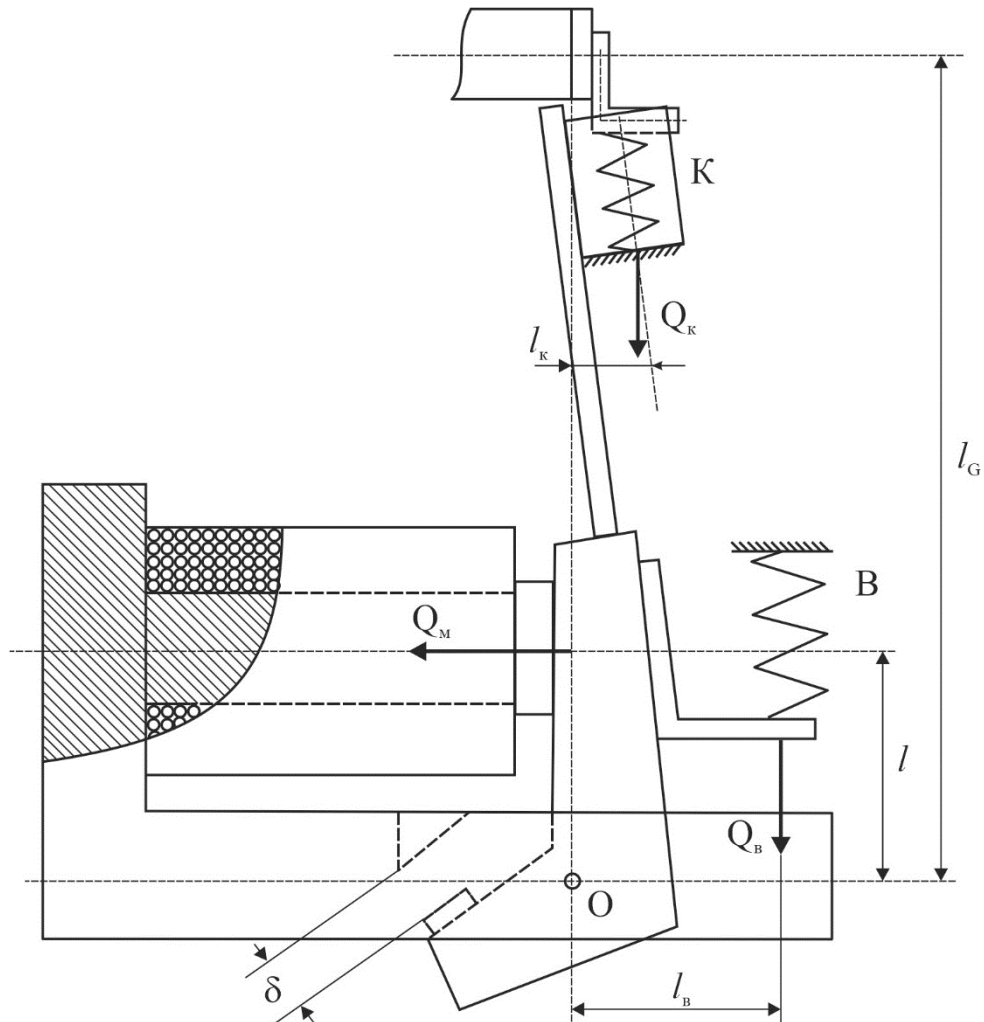


Рисунок 3 – Кінематична схема електромагнітного привода контактора

Результуюче значення сили протидії Q'_{Π} , що приведене до осі дії сили тяги Q_M (рис. 3, точка O), визначається із суми моментів її складових, віднесена до плеча l (згідно рис. 3):

$$Q'_{\Pi} = \frac{(G \cdot l_G + Q_B \cdot l_B + Q_K \cdot l_K)}{l} = G' + Q'_B + Q'_K, \quad (8)$$

де G' , Q'_B , Q'_K – сили протидії, приведені до плеча l ;

l_G , l_B , l_K – відповідно плечі дії указаних сил відносно осі дії сили тяги Q_M .

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
------	------	----------	--------	------

Враховуючи вищевикладене на рис. 4 показані сили Q_M та складові Q'_Π .

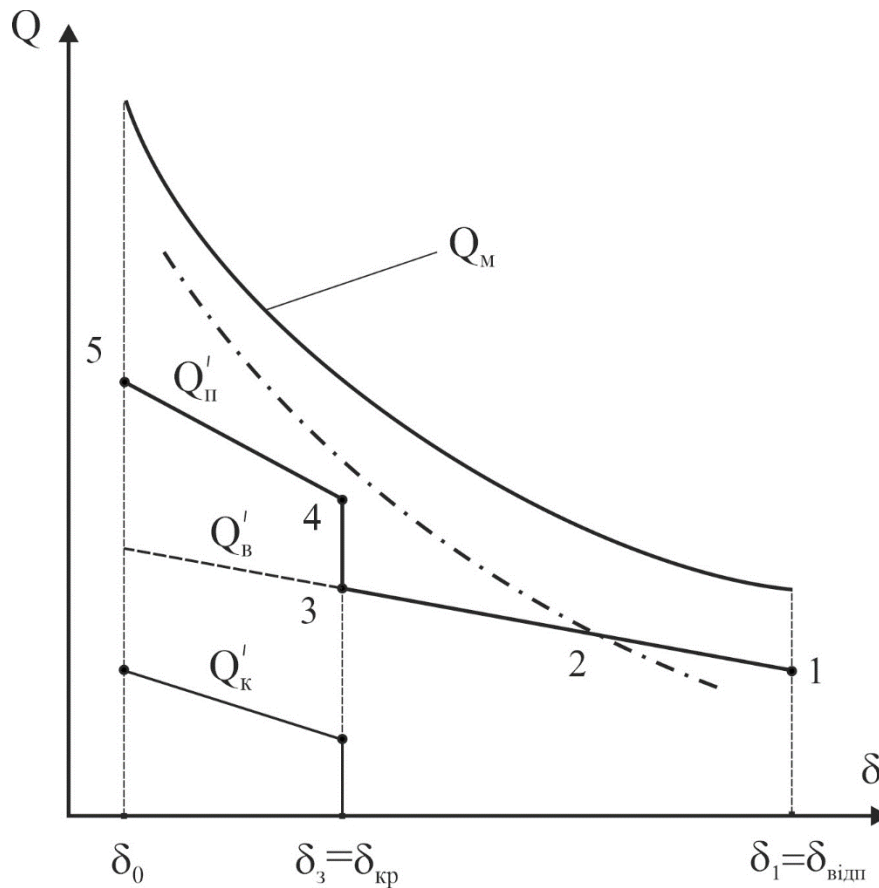


Рисунок 4 – Характеристики тягового електромагнітного контактора:

$$Q_M = f(\delta) - \text{тягова}; \quad Q'_\Pi = f(\delta) - \text{протидії}$$

На рис. 4 сила протидії зображена ломаною лініє 1-3-4-5. У процесі руху до замикання силових контактів електромагнітний привод контактора переборює виключно сили, що утворюються пружиною повернення та власної ваги.

Коли зазор в точці 3 стає рівним критичному значенню $\delta_3 = \delta_{кр}$ відбувається дотикання силових контактів і результуюча сила протидії стрибкоподібно зростає на величину початкової сили натиснення контактів Q'_K (точка 4, рис. 4), яка визначається попереднім натягом пружини.

Рис. 4 дозволяє розглядати умови спрацьовування привода тягового електромагнітного контактора. Якщо тягова характеристика $Q_M = f(\delta)$ відповідає значенню магніторушійної сили F , то привод спрацює за умови $\delta < \delta_1$ та $Q_M > G' + Q'_B + Q'_K$.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
------	------	----------	--------	------

Досвід експлуатації [7, 8, 9] вказує на те, що працездатність значної кількості тягових електромагнітних контакторів, призначених для оперативної комутації кіл електрорухомого складу є знижена. Існує висока вірогідність, що за більш несприятливих умов (знижена напруга в колах керування, підвищена жорсткість пружин контактора та інше) співвідношення між тяговою та характеристикою протидії не задовільнить умовам безумовного увімкнення контактора.

Якщо необхідно забезпечити заданий коефіцієнт запасу в точці з критичним зазором (точка 4, рис. 4), між якорем та осердям, то інтерес представляє значення $Q'_п$ в цій точці. Для ломаної 1-3-4 вираз для обчислення $Q'_п$ буде мати наступний вигляд (отримано з виразу (8)):

$$Q'_п = Q'_п(\delta_{відп}) + \Delta Q'_в + \Delta Q'_к, \quad (9)$$

де $Q'_п(\delta_{відп}) = Q'_м(\delta_{відп}) = A = const$ – сила тяги для $\delta = \delta_{відп}$. Величина цієї сили незмінна в реальних межах зміни $\delta_{відп}$.

$$\Delta Q'_в = \frac{c_в \cdot (\delta_{відп} - \delta_{кр}) \cdot l_в}{l} = \frac{c_в \cdot K \cdot l_в}{l}, \quad (10)$$

де $(\delta_{відп} - \delta_{кр}) = K$;

$l_в$ – плече дії сили $Q'_в$ (рис. 3);

l – плече дії сили $Q'_м$ (рис. 3).

Тоді приріст сили, що створюється пружиною вмикання при зменшенні повітряного зазору від значення $\delta_{відп}$ до $\delta_{кр}$, приведений до плеча l .

$$\Delta Q'_к = \frac{c_к \cdot \Delta x_к \cdot l_к}{l}, \quad (11)$$

де $\Delta x_к$ – початкове (до моменту дотикання силових контактів) стиснення контактної пружини;

$l_к$ – плече дії сили $Q'_к$ (рис. 3).

В результаті вираз (10) можна переписати з урахуванням формул (10) та (11):

									Лист
									18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	7.141.190036.ПЗ				

$$Q_{\Pi}' = A + \frac{c_{\text{в}} \cdot K \cdot l_{\text{в}}}{l} + \frac{c_{\text{к}} \cdot \Delta x_{\text{к}} \cdot l_{\text{к}}}{l}. \quad (12)$$

Тобто:

$$Q_{\Pi}' = f(c_{\text{в}}, K, c_{\text{к}}, \Delta x_{\text{к}}). \quad (13)$$

У виразі (12) величини $c_{\text{в}}$, K , $c_{\text{к}}$, $\Delta x_{\text{к}}$ є випадковими, тобто Q_{Π}' є функцією системи випадкових величин виду (13).

					7.141.190036.ПЗ	Лист
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2

ТЕОРІЯ ЙМОВІРНОСТЕЙ ТА МАТЕМАТИЧНА СТАТИСТИКА ЯК ЗАСІБ АНАЛІЗУ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

2.1 Основні положення та методи Теорії ймовірності

Відомо, що предметом Теорії ймовірностей є вивчення стохастичних закономірностей однорідних випадкових масових явищ [10, 11].

Методи Теорії ймовірностей часто і широко застосовуються в таких напрямках дослідження та аналізу технічних систем: теорія надійності, теорії масового обслуговування, теорії похибок, теорії автоматизованого управління, загальній теорії зв'язку, програмуванні та інше.

Теорія ймовірностей лежить в основі іншого прикладного напрямлення – математичної статистики, методи і засоби якої використовуються при аналізі технологічних процесів, контролі якості продукції та інше. [12].

Фактично в основі методів Теорії ймовірностей лежить математична модель випробування (дослід, експерименту), наслідок якого не можливо передбачити (при цьому припускається, що дослід можна повторити необмежену кількість разів за незмінних основних умов). При цьому другорядні умови, що не піддаються контролю, змінюються від експерименту до експерименту, і от саме ці умови приводять до різних результатів за однотипних випробувань [12].

Стосовно тягових контакторів і вивчення впливу зміни (відхилення) його параметрів на його ж характеристики застосування методів Теорії ймовірності дозволить визначити серед усього спектру його параметрів, ті які найбільше впливають на взаємне положення характеристик, а відповідно і на працездатність механізму. Параметри механізмів контактора є випадковими величинами, які змінюються в процесі експлуатації, ремонту, відновлення, тощо.

Виходячи з класичного означення ймовірності – ймовірністю події є число, яке характеризує чисельну міру можливості появи події A в результаті певного експерименту – тобто, ймовірністю події A є відношення кількості випадків, що підтверджують подію A (m), до загальної кількості випадків у експерименті (n):

									Лист
									20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

$$P(A) = \frac{m}{n}. \quad (9)$$

Але використання класичного визначення ймовірності до задач природничо-наукового характеру не завжди можливо, бо не усі результати випробовування зводяться до схеми простих випадків. Для складніших задач необхідно визначати ймовірність частотним способом, тобто для визначення ймовірності користуються статистичним визначенням ймовірності, приймаючи за ймовірність події її відносну частоту. Тобто, якщо n –кратному повторенні експерименту подія A настає n_A разів, то частотою події A у цій серії називається відношення [11, 12]:

$$P_n(A) = \frac{n_A}{n}. \quad (10)$$

В різних серіях експериментів частота буде змінюватись випадковим чином, однак, якщо серії достатньо довгі, то частоти за ними мало відрізняються одна від одної і будуть групуватись навколо деякого числа $P(A)$, яке і буде ймовірністю (точніше – статистичною ймовірністю) події A [11, 12]:

$$P(A) \approx P_n(A) = \frac{n_A}{n}. \quad (11)$$

При зростанні кількості повторень експерименту різниця між $P_n(A)$ і $P(A)$ прямує до нуля для більшості серій.

В Теорії ймовірностей випадкова величина X є одним з базових понять, яке прийнято класифікувати на дискретну випадкову величину та неперервну випадкову величину. Загалом, випадковою величиною X називають таку величину, яка в результаті досліду прийме лише одне, наперед невідоме, значення, яке залежить від випадкових причин, що наперед також не можуть бути враховані.

Дискретною випадковою величиною називають таку випадкову величину, яка приймає ізольовані числові значення із усіх можливих.

Неперервною випадковою величиною називають таку величину, яка набуває всі свої можливі значення з деякого проміжку [10, 11].

					7.141.190036.ПЗ	Лист
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Випадкова величина характеризується не тільки діапазоном можливих значень, а також ймовірністю появи цих значень. Відповідно, перелік усіх випадкових значень випадкової величини та їм відповідних ймовірностей називається законом розподілу випадкових величин.

Для дискретних випадкових величин закон розподілу можна задати у декілька способів [11]:

- графічний спосіб (функція задається у вигляді графіка в Декартовій системі координат);
- табличний спосіб (дається таблиця, в якій записані окремі значення випадкової величини X та відповідні їм значення ймовірності);
- аналітичний спосіб (дається математичний вираз/формула за яким/якою обчислюється ймовірність того, що випадкова величина X прийме якесь значення).

До найважливіших розподілів дискретної випадкової величини відносять: рівномірний розподіл; біноміальний розподіл; показниковий та геометричний розподіли.

На відміну від дискретної випадкової величини розподіл неперервної випадкової величини X неможливо задати, зазначивши певні її значення, яких вона набуває, та відповідні їм значення ймовірності [11, 12]. Множина можливих значень неперервної випадкової величини прямує до безкінечності, а тому для її задання використовують функцію розподілу.

Є різні функції розподілу неперервної випадкової величини, до найрозповсюдженіших відносяться [10, 11]:

- інтегральна функція розподілу.

Це деяка функція $F(x)$, яка фактично визначає для кожного значення x ймовірність того, що випадкова величина X набуває значення, яке менше дійсного числа x , тобто:

$$F(x) = P(X < x). \quad (12)$$

Випадкову величину вважають неперервною у випадку, якщо її інтегральна функція розподілу $F(x)$ є неперервно диференційованою.

- диференціальна функція розподілу (щільність ймовірностей).

Це деяка функція $f(x)$ неперервної випадкової величини X , представляє собою першу похідну від інтегральної функції – $f(x) = F'(x)$. В багатьох випадках диференційну функцію розподілу неперервної випадкової величини X називають густиною ймовірності у точці x .

- нормальний закон розподілу або закон Гауса.

Нормальним законом розподілу випадкової величини X є закон, диференціальна функція якого описується наступним виразом [10]:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}}. \quad (13)$$

З виразу (13) зрозуміло, що закон розподілу Гауса визначається двома параметрами: a та σ . Задаючи ці параметри задають закон розподілу.

Графік диференціальної функції нормального закону розподілу (рис. 5) називають нормальною кривою чи кривою Гауса.

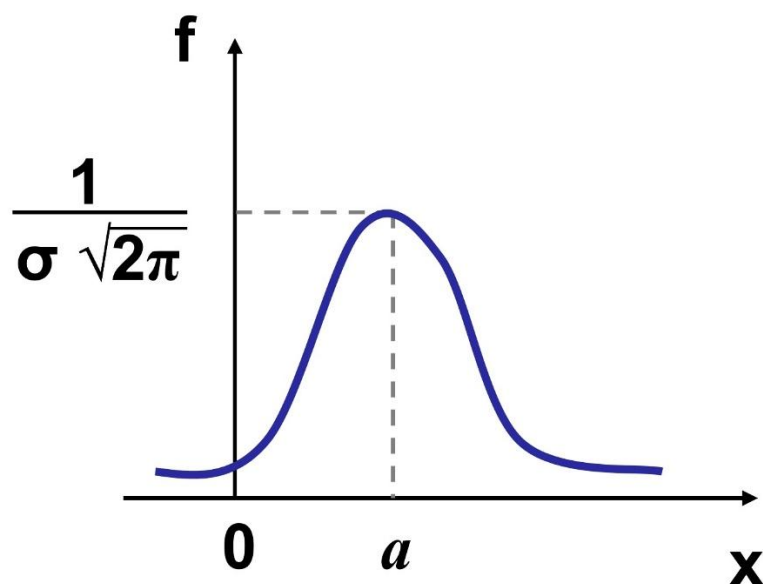


Рисунок 5 – Нормальна крива (крива Гауса)

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Графік інтегральної функції нормального закону розподілу (рис. 6) називають інтегральною кривою Гауса.

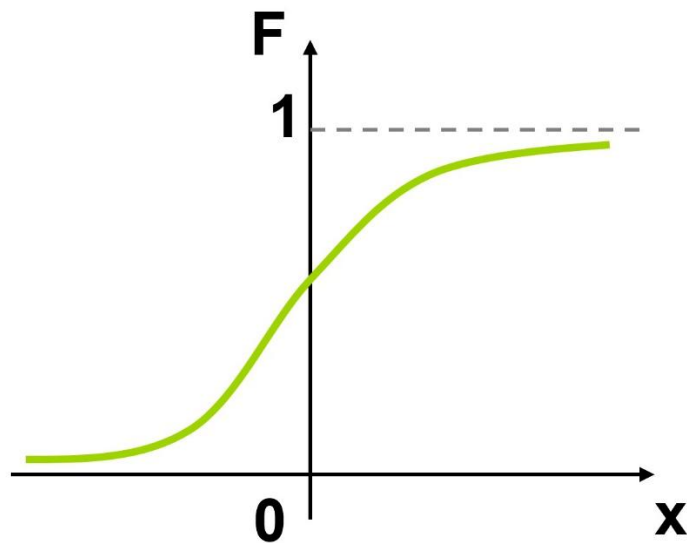


Рисунок 6 – Інтегральна крива Гауса

Для нормального закону сформульовано правило трьох сигм, яке на практиці застосовується наступним чином: якщо закон розподілу випадкової величини X невідомий, але $|X - a| < 3 \cdot \sigma$, тоді можна припустити, X розподілена нормально [10].

- розподіл «хі-квадрат» (χ^2).

Розподіл χ^2 визначається параметром – числом ступеней вільності k . Коли число k зростає, розподіл χ^2 дуже повільно прямує до нормального розподілу.

- розподіл Стьюдента (Т-розподіл).
- показниковий (експоненціальний) закон розподілу.

Показниковий закон розподілу випадкової величини X це такий закон у якому розподіл ймовірностей описується наступною диференційною функцією [10]:

$$f(x) = \begin{cases} 0 & \text{при } x < 0, \\ \lambda \cdot e^{-\lambda x} & \text{при } x \geq 0. \end{cases} \quad (14)$$

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Випадкова величина і її розподіл має числові характеристики: математичне сподівання, дисперсія, середньоквадратичне відхилення, мода та медіана.

Числові характеристики випадкових величин – це не випадкові величини. Кожна з числових характеристик має одне значення, яке не залежить від результату конкретного експерименту і від кількості цих експериментів.

Математичне сподівання дискретної випадкової величини [10, 11]:

$$M(X) = x_1 \cdot p_1 + x_2 \cdot p_2 + \dots + x_n \cdot p_n = \sum_{i=1}^n x_n \cdot p_n. \quad (15)$$

Математичне сподівання наближено дорівнює середньому арифметичному значень випадкової величини (ймовірнісний зміст математичного сподівання).

Математичне сподівання неперервної випадкової величини X , можливі значення якої попадають у діапазон $[a, b]$, називають наступний інтеграл [10, 11]:

$$M(X) = \int_a^b x \cdot f(x) dx. \quad (16)$$

Дисперсія (розсіювання) дискретної випадкової величини [10]:

$$D(X) = M(X - M(X))^2. \quad (17)$$

Дисперсія неперервної випадкової величини X , можливі значення якої попадають у діапазон $[a, b]$ може обраховуватись формулою [10]:

$$D(X) = \int_a^b (X - M(X))^2 \cdot f(x) dx. \quad (18)$$

Середньоквадратичним відхиленням дискретної або неперервної випадкової величини називають корінь із дисперсії, тобто [11]:

$$\sigma(X) = \sqrt{D(X)}. \quad (19)$$

Середнє квадратичне відхилення має ту ж розмірність, що і випадкова величина X .

Модою випадкової величини називають найбільш ймовірне її значення в деякому діапазоні цього значення.

Медіаною випадкової величини називається таке число $M_e(X)$, для якого виконується наступна умова [10]:

$$P(X < M_e(X)) = P(X > M_e(X)). \quad (20)$$

В роботі прийнято допущення, що усі параметри, які визначають характеристики тягового електромагнітного контактора, розподіляються за нормальним законом. Дане твердження потребує доведення, що і є однією з задач роботи.

Тому, якщо випадкова величина розподілена за нормальним законом (13) її математичне сподівання для неперервної випадкової величини буде визначитись виходячи з виразу (16) наступним чином:

$$M(X) = \int_a^b x \cdot f(x) dx = \int_a^b x \cdot \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}} dx = a \quad (21)$$

Дисперсія неперервної випадкової величини за виразом (18), з урахуванням, що $M(X) = a$ буде мати вигляд:

$$D(X) = \int_a^b (X - M(X))^2 \cdot f(x) dx = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_a^b (x-a)^2 \cdot e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}} dx = \sigma^2, \quad (22)$$

звідси $\sigma = \sqrt{D(X)}$, тобто середньоквадратичне відхилення нормально розподіленої випадкової величини X дорівнює параметру σ .

2.2 Числові характеристики статистичного матеріалу

До основних завдань математичної статистики відноситься статична перевірка гіпотез чи припущень, оцінка розподілу статистичних ймовірностей та його параметрів, визначення основних числових характеристик випадкових вибірок, якими є: вибіркове середнє, вибіркові дисперсії, стандартне (середньоквадратичне) відхилення.

									Лист
									26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Вибіркове середнє статистичного матеріалу вибірки [10, 11]:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^m n_i \cdot x_i, \quad (23)$$

де n – обсяг вибірки;

m – число різних варіант;

n_1, n_2, \dots, n_m – частоти варіант ($n = n_1 + n_2 + \dots + n_m$);

x_i – значення i -тої варіанти.

Вибіркове середнє є аналогом математичного сподівання і використовується дуже часто. Воно може набувати різних числових значень при різних вибірках однакового об'єму.

Вибіркова дисперсія є середнім значенням квадратів відхилення варіант від вибіркового середнього (враховуються частоти):

$$D_b = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^m n_i \cdot (x_i - \bar{x})^2 \quad (24)$$

Вибіркове середньоквадратичне відхилення є коренем квадратним із вибіркової дисперсії [10]:

$$\sigma_b = \sqrt{D_b}. \quad (25)$$

До структурних середніх поряд з вибірковим середнім відносяться мода та медіана.

Мода M_o – це елемент, який найчастіше трапляється у вибірці [10].

Медіана M_e – варіанта, що ділить варіаційний ряд на дві частини, для інтервальних статистичних рядів обраховується за наступною формулою:

$$M_e = x_i + h \cdot \frac{\frac{n}{2} \cdot \sum_{j=1}^{i-1} n_j}{n_i}, \quad (26)$$

де h – довжина i -го інтервалу.

									Лист
									27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

РОЗДІЛ 3

АНАЛІЗ СТАТИСТИЧНИХ ДАНИХ ПО ВІДХИЛЕННЮ ПАРАМЕТРІВ КОНТАКТОРА ТИПУ МК-310Б

3.1 Статистичні дані по відхиленню параметрів-аргументів функції Q_m

Тягова сила Q_m електромагнітного контактора є наступною функцією параметрів-аргументів [2]:

$$Q_m = f(U, S_r, R_k, \delta_{кр}). \quad (27)$$

Статистичні дані параметрів-аргументів функції Q_m для контактора МК-310Б наведені в табл. 2, 3, 4 та 5. У вказаних таблицях параметр h є кроком рівновіддалених варіант, а n_i сумою частот варіант інтервалу.

Кількість контакторів при спостереженні $n=30$ (табл. 2, 3, 5), $n=100$ (табл. 4).

Таблиця 2 – Статистичні дані для вибірки параметра-аргумента U

Номер інтервалу i	Крок $h, В$	Частковий інтервал $U_i \dots U_{i+1}, В$	Сума частот варіант інтервалу n_i
1	1,5	30,5...32	2
2		32...33,5	4
3		33,5...35	5
4		35...36,5	4
5		36,5...38	7
6		38...39,5	4
7		39,5...41	2
8		41...42,5	1
9		42,5...44	1

Біля третини тягових контакторів типу МК-310Б не включались повністю, тобто в магнітній системі електромагніту між його якорем та осердям залишався повітряний зазор, величина якого коливалась від 1,9 мм до 4,6 мм (табл. 2, 3, 4, 5).

Таблиця 3 – Статистичні дані для вибірки параметра-аргумента S_T

Номер інтервалу i	Крок $h, \text{м}^2$	Частковий інтервал $S_{Ti} \dots S_{Ti+1}, \text{В}$	Сума частот варіант інтервалу n_i
1	$3 \cdot 10^{-6}$	$955 \cdot 10^{-6} \dots 958 \cdot 10^{-6}$	2
2		$958 \cdot 10^{-6} \dots 961 \cdot 10^{-6}$	5
3		$961 \cdot 10^{-6} \dots 964 \cdot 10^{-6}$	2
4		$964 \cdot 10^{-6} \dots 967 \cdot 10^{-6}$	4
5		$967 \cdot 10^{-6} \dots 970 \cdot 10^{-6}$	7
6		$970 \cdot 10^{-6} \dots 973 \cdot 10^{-6}$	3
7		$973 \cdot 10^{-6} \dots 976 \cdot 10^{-6}$	2
8		$976 \cdot 10^{-6} \dots 979 \cdot 10^{-6}$	3
9		$979 \cdot 10^{-6} \dots 982 \cdot 10^{-6}$	2

Таблиця 4 – Статистичні дані для вибірки параметра-аргумента R_K

Номер інтервалу i	Крок $h, \text{Ом}$	Частковий інтервал $R_{Ki} \dots R_{Ki+1}, \text{Ом}$	Сума частот варіант інтервалу n_i
1	0,7	57,7...58,4	4
2		58,4...59,1	6
3		59,1...59,8	10
4		59,8...50,5	12
5		60,5...61,2	13
6		61,2...61,9	14
7		61,9...62,6	10
8		62,6...63,2	10
9		63,2...63,9	10
10		63,9...64,6	7
11		64,6...65,3	4

Таблиця 5 – Статистичні дані для вибірки параметра-аргумента $\delta_{кр}$

Номер інтервалу i	Крок h , мм	Частковий інтервал $\delta_{кри} \dots \delta_{кри+1}$, мм	Сума частот варіант інтервалу n_i
1	0,3	1,9...2,2	1
2		2,3...2,5	3
3		2,5...2,8	5
4		2,8...3,1	5
5		3,1...3,4	10
6		3,4...3,7	2
7		3,7...4,0	2
8		4,0...4,3	1
9		4,3...4,6	1

Аналіз статистичних даних по параметрам-аргументам функції Q_m вказує на те, що механізми контактора не виконують свої функції. Так контактна пружина не забезпечує унормованої сили натиснення в контактній групі, через що створюються передумови до збільшення перехідного опору в силових контактах. Вище зазначалось, що ріст перехідного опору в контактній парі супроводжується зростанням втрат, а значить порушення теплового балансу у цьому вузлі, і як наслідок до зниження або втрати працездатності механізмом.

3.2 Статистичні дані по відхиленню параметрів-аргументів функції $Q'_п$

Сила протидії $Q'_п$ в контакторі типу МК-310Б утворюється двома пружинами: контактною (5, рис. 1, б) та вимикання (8, рис. 1, б). В розрахунках оперують значенням сили протидії $Q'_п$, що приведені до осі дії сили тяги Q_m (рис. 3, точка О). Вираз (9) визначає складові приведенного значення сили протидії:

- $Q'_п(\delta_{відп}) = Q_m(\delta_{відп}) = A = const$ сила тяги для $\delta = \delta_{відп}$. Величина цієї складової незмінна в межах зміни $\delta_{відп}$, що відповідає експлуатації;

- приріст сили $\Delta Q'_B$, що створюється пружиною вимикання, приведений до плеча l визначається за формулою (10) і перш за все залежить від жорсткості пружини вимикання c_B та різниці $(\delta_{\text{відп}} - \delta_{\text{кр}}) = K$;
- приріст сили $\Delta Q'_K$, що створюється контактною пружиною, приведений до плеча l обраховується за формулою (11) і також залежить від жорсткості контактної пружини c_K та величини її початкового стиснення до моменту дотикання силових контактів Δx_K .

Тобто величини $c_B, K, c_K, \Delta x_K$ є параметрами-аргументами функції Q'_Π , а значить також потребують статистичного спостереження. Але оскільки в роботі поставлена задача визначити вплив напруги на тягову характеристику контактора, то статистичні дані по параметрам-аргументам функції $Q'_\Pi = f(c_B, K, c_K, \Delta x_K)$ не наводяться, а беруться для подальших розрахунків з додатку А роботи [13].

3.3 Числові характеристики випадкових величин $U, S_T, R_K, \delta_{\text{кр}}$

Об'єм статистичних даних по параметрам-аргументам функцій Q'_M та Q'_Π можна вважати достатньо великим (спостерігалось 30 контакторів). Спираючись на теорему Ляпунова із ймовірністю, скільки завгодно близькою до одиниці, отримати величину, скільки завгодно близьку до її математичного очікування. Тобто, в якості приблизного центру групування (математичного очікування) для практичних розрахунків брати середнє арифметичне із результатів випробувань.

Таким чином, необхідно для кожного з параметрів-аргументів $U, S_T, R_K, \delta_{\text{кр}}$ визначити числові значення математичного очікування (вибіркове середнє) \bar{x}_i , дисперсії D_i та середньоквадратичного відхилення σ_i та підтвердити закон розподілу. Для цього застосуємо методику описану у роботі [8].

Згідно до методики [8] математичне очікування випадкової величини обраховується за наступним виразом:

$$\bar{x}_i = M_1 \cdot h + M_e, \quad (28)$$

де M_1 – умовний момент першого порядку;

					7.141.190036.ПЗ	Лист
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

h – крок між рівновіддаленими варіантами варіаційного ряду;

M_e – удаваний нуль (варіанта, що розміщена приблизно всередині варіаційного ряду).

Умовний момент першого порядку визначається за наступною формулою:

$$M_1 = \frac{d_1}{n}, \quad (29)$$

де $d_1 = a_1 - b_1$ (a_1, b_1 – коефіцієнти).

Дисперсія:

$$D_i = [M_2 - M_1^2] \cdot h^2, \quad (30)$$

де M_2 – умовний момент другого порядку.

Значення умовного моменту другого порядку оцінюється наступним виразом:

$$M_2 = \frac{s_1 + 2 \cdot s_2}{n}, \quad (31)$$

де $s_1 = a_1 + b_1$;

$s_2 = a_2 + b_2$ (a_2, b_2 – коефіцієнти).

Середньоквадратичне відхилення:

$$\sigma_i = \sqrt{D_i}. \quad (32)$$

Щоб виразити найсуттєвіші особливості розподілу вказаних величин параметрів-аргументів окрім математичного очікування, дисперсії та середньоквадратичного відхилення визначаються ще асиметрія a_{si} і ексцес a_{ki} .

Асиметрія:

$$a_{si} = \frac{[M_3 - 3 \cdot M_1 \cdot M_2 + 2 \cdot M_1^3] \cdot h^3}{\sigma_i^3}, \quad (33)$$

де M_3 – умовний момент третього порядку.

									Лист
									32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Експес:

$$a_{ki} = \frac{[M_4 - 4 \cdot M_1 \cdot M_3 + 6 \cdot M_1^2 \cdot M_2 - 3 \cdot M_1^4] \cdot h^4}{\sigma_i^4}, \quad (34)$$

де M_4 – умовний момент четвертого порядку.

Значення умовних моментів третього та четвертого порядку:

$$M_3 = \frac{d_1 + 6 \cdot d_2 + 6 \cdot d_3}{n}, \quad (35)$$

$$M_4 = \frac{s_1 + 14 \cdot s_2 + 36 \cdot s_3 + 24 \cdot s_4}{n}, \quad (36)$$

де $d_2 = a_2 - b_2$; $d_3 = a_3 - b_3$ (a_3, b_3 – коефіцієнти);

$s_3 = a_3 + b_3$, $s_4 = a_4 + b_4$ (a_4, b_4 – коефіцієнти).

Для параметра-аргумента U проводиться об'єднання частот, що зведені до табл. 2, крок $h=1,5$ В. Після цього кількість груп для вибірки по U складе $S=9$, результат заноситься до табл. 6.

Таблиця 6 – Результати визначення числових характеристик U

$U_i, \text{В}$	n_i	$b_1 = 34$	$b_2 = 31$	$b_3 = 14$	$b_4 = 3$
32	2	3	3	3	3
33,5	4	5	8	11	0
35	5	11	20	0	0
36,5	4	15	0	0	0
38	7	0	0	0	0
39,5	4	8	0	0	0
41	2	5	7	0	0
42,5	1	2	3	3	0
44	1	1	1	1	1
	$n=30$	$a_1 = 16$	$a_2 = 11$	$a_3 = 4$	$a_4 = 1$

В табл. 6 значенню n_i відповідає кількість тягових контакторів, що спрацювали повністю за вказаної напруги U_i .

Розрахунок значень коефіцієнтів:

$$d_1 = a_1 - b_1 = 16 - 34 = -18;$$

$$d_2 = a_2 - b_2 = 11 - 31 = -20;$$

$$d_3 = a_3 - b_3 = 4 - 14 = -10;$$

$$s_1 = a_1 + b_1 = 16 + 34 = 50;$$

$$s_2 = a_2 + b_2 = 11 + 31 = 42;$$

$$s_3 = a_3 + b_3 = 4 + 14 = 18;$$

$$s_4 = a_4 + b_4 = 1 + 3 = 4.$$

Значення усіх умовних моментів M_1, M_2, M_3, M_4 обраховуються за формулами (29), (31), (35) та (36):

$$M_1 = \frac{d_1}{n} = \frac{-18}{30} = -0,6;$$

$$M_2 = \frac{s_1 + 2 \cdot s_2}{n} = \frac{50 + 2 \cdot 42}{30} = 4,47;$$

$$M_3 = \frac{d_1 + 6 \cdot d_2 + 6 \cdot d_3}{n} = \frac{-18 + 6 \cdot (-20) + 6 \cdot (-10)}{30} = -6,6;$$

$$M_4 = \frac{s_1 + 14 \cdot s_2 + 36 \cdot s_3 + 24 \cdot s_4}{n} = \frac{50 + 14 \cdot 42 + 36 \cdot 18 + 24 \cdot 4}{30} = 46,1.$$

Математичне очікування параметра-аргумента U обраховується за формулою (28), $M_e = 38$ (з табл. 6):

$$\bar{U} = M_1 \cdot h + M_e = -0,6 \cdot 1,5 + 38 = 37,1 \text{ В.}$$

Дисперсія параметра-аргумента U обраховується за формулою (30):

$$D_U = [M_2 - M_1^2] \cdot h^2 = [4,47 - (-0,6)^2] \cdot 1,5^2 = 9,25.$$

Середньоквадратичне відхилення параметра-аргумента U обраховується за формулою (32):

$$\sigma_U = \sqrt{D_U} = \sqrt{9,25} = 3,04.$$

$$a_{sU} = \frac{[M_3 - 3 \cdot M_1 \cdot M_2 + 2 \cdot M_1^3] \cdot h^3}{\sigma_U^3} =$$

$$= \frac{[(-6,6) - 3 \cdot (-0,6) \cdot 4,47 + 2 \cdot (-0,6)^3] \cdot 1,5^3}{3,04^3} = 0,226$$

$$a_{kU} = \frac{[46,1 - 4 \cdot (-0,6) \cdot (-6,6) + 6 \cdot (-0,6)^2 \cdot 4,47 - 3 \cdot (-0,6)^4] \cdot 1,5^4}{3,04^4} = 2,34.$$

Перевірка припущення про нормальний закон (закон Гауса) розподілення параметра-аргумента U в роботі проводиться з допомогою критерія Пірсона у спосіб [8]. Для цього обраховуються значення теоретичних частот n'_i :

$$n'_i = \frac{n \cdot h}{\sigma_i} \cdot \varphi(u_i), \quad (37)$$

n'_i для U обчислюються за формулою (37), а результати заносяться до табл. 7:

$$n'_i = \frac{n \cdot h}{\sigma_U} \cdot \varphi(u_i) = \frac{30 \cdot 1,5}{3,04} \cdot \varphi(u_i) = 14,8 \cdot \varphi(u_i).$$

Таблиця 7 – Теоретичні частоти n'_i параметра-аргумента U

i	$U_i, \text{В}$	$u = \frac{U_i - \bar{U}}{\sigma_U}$	$\varphi(u_i)$	$n'_i = 14,8 \cdot \varphi(u_i)$
1	32	-1,678	0,1023	1,51
2	33,5	-1,184	0,2059	3,05
3	35	-0,691	0,3209	4,75
4	36,5	-0,197	0,3939	5,83
5	38	0,296	0,3778	5,59
6	39,5	0,789	0,285	4,22
7	41	1,283	0,1669	2,47
8	42,5	1,776	0,0775	1,15
9	44	2,27	0,0277	0,41

Критерій λ_c^2 , що спостерігається, для параметра U зведено в табл. 8.

Таблиця 9 – Результати визначення числових характеристик S_T

S_{Ti}, M^2	n_i	$b_1 = 29$	$b_2 = 32$	$b_3 = 14$	$b_4 = 2$
$958 \cdot 10^{-6}$	2	2	2	2	2
$961 \cdot 10^{-6}$	5	6	11	12	0
$964 \cdot 10^{-6}$	2	9	19	0	0
$967 \cdot 10^{-6}$	4	12	0	0	0
$970 \cdot 10^{-6}$	7	0	0	0	0
$973 \cdot 10^{-6}$	3	11	0	0	0
$976 \cdot 10^{-6}$	2	7	11	0	0
$979 \cdot 10^{-6}$	3	4	6	9	0
$982 \cdot 10^{-6}$	2	2	2	2	2
	$n=30$	$a_1 = 24$	$a_2 = 19$	$a_3 = 11$	$a_4 = 2$

Розрахунок значень коефіцієнтів:

$$d_1 = a_1 - b_1 = 24 - 29 = -5;$$

$$d_2 = a_2 - b_2 = 19 - 32 = -13;$$

$$d_3 = a_3 - b_3 = 11 - 14 = -3;$$

$$s_1 = a_1 + b_1 = 24 + 29 = 53;$$

$$s_2 = a_2 + b_2 = 19 + 32 = 51;$$

$$s_3 = a_3 + b_3 = 11 + 14 = 25;$$

$$s_4 = a_4 + b_4 = 2 + 2 = 4.$$

Значення усіх умовних моментів M_1, M_2, M_3, M_4 обраховуються за формулами (29), (31), (35) та (36):

$$M_1 = \frac{d_1}{n} = \frac{-5}{30} = -0,17;$$

$$M_2 = \frac{s_1 + 2 \cdot s_2}{n} = \frac{53 + 2 \cdot 51}{30} = 5,17;$$

$$M_3 = \frac{d_1 + 6 \cdot d_2 + 6 \cdot d_3}{n} = \frac{-5 + 6 \cdot (-13) + 6 \cdot (-3)}{30} = -3,37;$$

Таблиця 10 – Теоретичні частоти n'_i параметра-аргумента S_T

i	S_{Ti}, M^2	$u = \frac{S_{Ti} - \bar{S}_T}{\sigma_{S_T}}$	$\varphi(u_i)$	$n'_i = 13,2 \cdot \varphi(u_i)$
1	$958 \cdot 10^{-6}$	-1,62	0,1092	1,44
2	$961 \cdot 10^{-6}$	-1,18	0,1989	2,63
3	$964 \cdot 10^{-6}$	-0,74	0,3034	4
4	$967 \cdot 10^{-6}$	-0,29	0,3814	5,03
5	$970 \cdot 10^{-6}$	0,15	0,3956	5,22
6	$973 \cdot 10^{-6}$	0,59	0,3391	4,48
7	$976 \cdot 10^{-6}$	1,03	0,242	3,19
8	$979 \cdot 10^{-6}$	1,47	0,1415	1,87
9	$982 \cdot 10^{-6}$	1,91	0,0694	0,92

Критерій λ_c^2 , що спостерігається, для параметра S_T зведено в табл. 11.

Таблиця 11 – Критерій Пірсона ($\lambda_c^2 = \sum \frac{(n_i - n'_i)^2}{n'_i}$), що спостерігається, для S_T

i	n_i	n'_i	$\frac{(n_i - n'_i)^2}{n'_i}$
1	2	1,44	1,44
2	5	2,63	2,1
3	2	4	1
4	4	5,03	0,2
5	7	5,22	0,61
6	3	4,48	0,49
7	2	3,19	0,44
8	3	1,87	0,68
9	2	0,92	1,27
			$\lambda_c^2 = 8,23$

$$a_{kR_k} = \frac{[M_4 - 4 \cdot M_1 \cdot M_3 + 6 \cdot M_1^2 \cdot M_2 - 3 \cdot M_1^4] \cdot h^4}{\sigma_{R_k}^4} =$$

$$= \frac{[146,4 - 4 \cdot 0,96 \cdot 22,8 + 6 \cdot 0,96^2 \cdot 7,92 - 3 \cdot 0,96^4] \cdot 0,7^4}{1,85^4} = 2,02$$

Перевірка припущення про нормальний закон (закон Гауса) розподілення параметра-аргумента R_k в роботі проводиться з допомогою критерія Пірсона у спосіб [8].

n'_i для R_k обчислюються за формулою (37), а результати заносяться до табл. 13:

$$n'_i = \frac{n \cdot h}{\sigma_{R_k}} \cdot \varphi(u_i) = \frac{100 \cdot 0,7}{1,85} \cdot \varphi(u_i) = 37,8 \cdot \varphi(u_i).$$

Таблиця 13 – Теоретичні частоти n'_i параметра-аргумента R_k

i	R_{ki} , Ом	$u = \frac{R_{ki} - \bar{R}_k}{\sigma_{R_k}}$	$\varphi(u_i)$	$n'_i = 37,8 \cdot \varphi(u_i)$
1	58,4	-1,89	0,0669	2,53
2	59,1	-1,5	0,1277	4,9
3	59,8	-1,14	0,2106	7,95
4	60,5	-0,757	0,2989	11,3
5	61,2	-0,4	0,3712	14
6	61,9	0	0,3889	15,1
7	62,6	0,38	0,3712	14
8	63,2	0,71	0,3122	11,87
9	63,9	1,09	0,228	8,6
10	64,6	1,46	0,1374	5,22
11	65,3	1,82	0,073	2,79

Критерій χ_c^2 , що спостерігається, для параметра R_k зведено в табл. 14.

При застосовуванні критерія Пірсона визначають кількість ступенів свободи $k = S - 1 - r$, де $r = 2$ (математичне очікування \bar{R}_k та середньоквадратичне

відхилення σ_{R_k}), а згідно першого стовпчика табл. 12 значення $S=11$. Тоді $k = S - 1 - r = 11 - 1 - 2 = 8$.

Таблиця 14 – Критерій Пірсона ($\lambda_c^2 = \sum \frac{(n_i - n'_i)^2}{n'_i}$), що спостерігається, для R_k

i	n_i	n'_i	$\frac{(n_i - n'_i)^2}{n'_i}$
1	4	2,53	0,85
2	6	4,9	0,25
3	10	7,95	0,53
4	12	11,3	0,04
5	13	14	0,07
6	14	15,1	0,08
7	10	14	1,14
8	10	11,87	0,3
9	10	8,6	0,23
10	7	5,22	0,61
11	4	2,79	0,53
			$\lambda_c^2 = 4,63$

При рівній значимості $\alpha=0,05$ і кількості ступеней свободи $k = 8$ критична точка розподілу $\lambda_{кр}^2 = (0,05; 8)$ параметру $R_k - \lambda_{кр}^2 = (0,05; 8) = 15,5$.

$\lambda_c^2 = 4,63 < \lambda_{кр}^2 = 15,5$ – припущення про нормальний закон розподілення параметра-аргумента R_k доведено.

Для параметра-аргумента $\delta_{кр}$ проводиться об'єднання частот, що зведені до табл. 5, крок $h=0,3$ мм. Після цього кількість груп для вибірки по $\delta_{кр}$ складе $S=9$, результат заноситься до табл. 15.

$$M_4 = \frac{s_1 + 14 \cdot s_2 + 36 \cdot s_3 + 24 \cdot s_4}{n} = \frac{44 + 14 \cdot 32 + 36 \cdot 13 + 24 \cdot 2}{30} = 33,6.$$

Математичне очікування параметра-аргумента $\delta_{кр}$ обраховується за формулою (28), $M_e = 3,4$ (з табл. 6):

$$\bar{\delta}_{кр} = M_1 \cdot h + M_e = -0,533 \cdot 0,3 + 3,4 = 3,24 \text{ мм.}$$

Дисперсія параметра-аргумента $\delta_{кр}$ обраховується за формулою (30):

$$D_{\delta_{кр}} = [M_2 - M_1^2] \cdot h^2 = [3,6 - (-0,533)^2] \cdot 0,3^2 = 0,3.$$

Середньоквадратичне відхилення параметра-аргумента $\delta_{кр}$ обраховується за формулою (32):

$$\sigma_{\delta_{кр}} = \sqrt{D_{\delta_{кр}}} = \sqrt{0,3} = 0,55.$$

$$a_{s\delta_{кр}} = \frac{[M_3 - 3 \cdot M_1 \cdot M_2 + 2 \cdot M_1^3] \cdot h^3}{\sigma_{\delta_{кр}}^3} =$$

$$= \frac{[(-3,5) - 3 \cdot (-0,533) \cdot 3,6 + 2 \cdot (-0,533)^3] \cdot 0,3^3}{0,55^3} = 0,46$$

$$a_{k\delta_{кр}} = \frac{[M_4 - 4 \cdot M_1 \cdot M_3 + 6 \cdot M_1^2 \cdot M_2 - 3 \cdot M_1^4] \cdot h^4}{\sigma_{\delta_{кр}}^4} =$$

$$= \frac{[33,6 - 4 \cdot (-0,533) \cdot (-3,5) + 6 \cdot (-0,533)^2 \cdot 3,6 - 3 \cdot (-0,533)^4] \cdot 0,3^4}{0,55^4} = 3,02$$

Перевірка припущення про нормальний закон (закон Гауса) розподілення параметра-аргумента $\delta_{кр}$ в роботі проводиться з допомогою критерія Пірсона у спосіб [8].

n'_i для $\delta_{кр}$ обчислюються за формулою (37), а результати заносяться до табл. 16:

$$n'_i = \frac{n \cdot h}{\sigma_{\delta_{кр}}} \cdot \varphi(u_i) = \frac{30 \cdot 0,3}{0,55} \cdot \varphi(u_i) = 16,36 \cdot \varphi(u_i).$$

Таблиця 16 – Теоретичні частоти n'_i параметра-аргумента $\delta_{кр}$

i	$\delta_{кр i}$, мм	$u = \frac{\delta_{кр i} - \bar{\delta}_{кр}}{\sigma_{\delta_{кр}}}$	$\varphi(u_i)$	$n'_i = 16,36 \cdot \varphi(u_i)$
1	2,2	-1,89	0,062	1
2	2,5	-1,345	0,1562	2,56
3	2,8	-0,8	0,287	4,7
4	3,1	-0,25	0,3857	6,3
5	3,4	0,29	0,382	6,2
6	3,7	0,84	0,28	4,6
7	4,0	1,38	0,14	2,3
8	4,3	1,93	0,06	0,98
9	4,6	2,47	0,017	0,3

Критерій λ_c^2 , що спостерігається, для параметра $\delta_{кр}$ зведено в табл. 17.

Таблиця 17 – Критерій Пірсона ($\lambda_c^2 = \sum \frac{(n_i - n'_i)^2}{n'_i}$), що спостерігається, для $\delta_{кр}$

i	n_i	n'_i	$\frac{(n_i - n'_i)^2}{n'_i}$
1	1	1	0
2	3	2,56	0,08
3	5	4,7	0,02
4	5	6,3	0,27
5	10	6,2	2,33
6	2	4,6	1,5
7	2	2,3	0,04
8	1	0,98	0,0004
9	1	0,3	1,63
			$\lambda_c^2 = 5,87$

При застосовуванні критерія Пірсона визначають кількість ступенів свободи $k = S - 1 - r$, де $r = 2$ (математичне очікування $\bar{\delta}_{кр}$ та середньоквадратичне відхилення $\sigma_{\delta_{кр}}$), а згідно першого стовпчика табл. 15 значення $S = 9$. Тоді $k = S - 1 - r = 9 - 1 - 2 = 6$.

При рівній значимості $\alpha = 0,05$ і кількості ступеней свободи $k = 6$ критична точка розподілу $\lambda_{кр}^2 = (0,05; 6)$ параметру $\delta_{кр}$ – $\lambda_{кр}^2 = (0,05; 6) = 12,6$.

$\lambda_c^2 = 5,87 < \lambda_{кр}^2 = 12,6$ – припущення про нормальний закон розподілення параметра-аргумента $\delta_{кр}$ доведено.

3.4 Аналіз стабільності характеристик тягового електромагнітного контактора типу МК-310Б

Для зручності аналізу впливу параметрів-аргументів U , S_T , R_k , $\delta_{кр}$ функції Q_m на тягову характеристику контактора результати розрахунків їх математичного очікування та середньоквадратичного відхилення зведені до табл. 18.

Таблиця 18 – Математичне очікування та середньоквадратичне відхилення параметрів-аргументів U , S_T , R_k , $\delta_{кр}$ функції Q_m

Параметр-аргумент	Математичне очікування параметра-аргумента \bar{x}	Середньоквадратичне відхилення параметра-аргумента σ_i	Відношення $\frac{\sigma_i}{\bar{x}} \cdot 100\%$
Напруга на котушці електромагніту U , В	37,1	3,04	8,19
Площа торця осердя електромагніту S_T , м ²	$969 \cdot 10^{-6}$	$6,8 \cdot 10^{-6}$	0,7
Активний опір котушки електромагніту R_k , Ом	61,9	1,85	2,99
Критичний повітряний зазор $\delta_{кр}$, мм	3,24	0,55	17

Значення математичного очікування та середньоквадратичного відхилення для параметрів-аргументів c_b , K , c_k , Δx_k функції Q'_Π взято з додатку Д роботи [13] та зведено до табл. 19.

Таблиця 19 – Математичне очікування та середньоквадратичне відхилення параметрів-аргументів c_b , K , c_k , Δx_k функції Q'_Π

Параметр-аргумент	Математичне очікування параметра-аргумента \bar{x}	Середньоквадратичне відхилення параметра-аргумента σ_i	Відношення $\frac{\sigma_i}{\bar{x}} \cdot 100\%$
Жорсткість пружини вмикання c_b , Н/мм	0,963	0,017	2
Різниця, що визначається геометричними параметрами повітряного зазору $K = (\delta_{вдп} - \delta_{кр})$, мм	8,49	0,82	9
Жорсткість контактної пружини c_k , Н/мм	3,15	0,044	1
Початкове стиснення контактної пружини Δx_k , мм	3,38	0,38	11

У відповідності до табл. 18 найбільші значення відношення $\frac{\sigma_i}{\bar{x}} \cdot 100\%$ серед параметрів-аргументів U , S_T , R_k , $\delta_{кр}$ функції Q_M спостерігаються для:

- критичного повітряного зазору $\delta_{кр}$, складає 17%;
- напруги на котушці електромагніту U , складає 8,19%.

У відповідності з методикою [8, 13] дисперсія тягової сили буде визначатись виразом:

$$D_{Q_M} = D[f(U, S_T, R_k, \delta_{кр})] = 91,43 + 0,157 + 12,91 + 307 + \\ + \frac{1}{2} \cdot (4,85 + 14,78 \cdot 10^{-12} + 0,12 + 73,78) + 0,004 + 1,2 + 7,9 + \\ + 0,0005 + 0,0145 + 1,23 = 475,83 \text{ Н}^2$$

а математичне очікування:

$$\sigma_{Q_m} = \sqrt{D_{Q_m}} = \sqrt{475,83} = 21,81 \text{ Н.}$$

У виразі для дисперсії присутні два найбільші за значеннями члени:

- четвертий член – 307, зумовлений нестабільністю величини критичного повітряного зазору $\delta_{кр}$ тягового контактора типу МК-310Б;
- перший член – 91,43, зумовлений нестабільністю напруги на котушці електромагніту U .

Таким чином, при виконанні ремонтних робіт на величину повітряного зазору і його відповідність номінальним альбомним значенням необхідно звертати підвищену увагу. Крім того, не меншої уваги потребує питання відповідності напруги на котушці електромагніту його паспортному значенню.

По даним табл. 19 найбільші значення відношення $\frac{\sigma_i}{\bar{x}} \cdot 100\%$ серед параметрів-аргументів c_b , K , c_k , Δx_k функції Q'_n спостерігаються для початкового стиснення контактної пружини Δx_k – 11%.

Дисперсія D_{Q_m} характеристики протидії [8, 13]:

$$\begin{aligned} D_{Q_m} &= D[f(c_b, K, c_k, \Delta x_k)] = \left(8,49 \cdot \frac{73}{63}\right)^2 \cdot 0,0003 + (0,963 \cdot 73)^2 \cdot 1,69 + \\ &+ \left(3,38 \cdot \frac{26}{63}\right)^2 \cdot 0,002 + \left(3,15 \cdot \frac{26}{63}\right)^2 \cdot 0,1456 = 0,029 + 2,1 + 0,0039 + 0,246 = \\ &= 2,38 \text{ Н}^2 \end{aligned}$$

а математичне очікування:

$$\sigma_{Q'_n} = \sqrt{D_{Q'_n}} = \sqrt{2,38} = 1,54 \text{ Н.}$$

Найбільша складова $D_{Q'_n}$ – (2,1) викликана нестабільністю параметра-аргумента $K = (\delta_1 - \delta_2)$, $\delta_1 = \delta_{відп}$, $\delta_2 = \delta_{кр}$.

Підбиваючи підсумок, можна стверджувати, що на стабільність характеристик контактора (тягової та протидії) найсуттєвіше впливають відхилення величини повітряного зазору від номінальних альбомних значень та коливання напруги на котушці електромагніту.

									Лист
									49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

РОЗДІЛ 4

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ НАПРУГИ КІЛ КЕРУВАННЯ ЛОКОМОТИВА НА ТЯГОВУ ХАРАКТЕРИСТИКУ КОНТАКТОРА

Статистика доводить, що не усі контактори рухомого складу вмикаються при мінімальному значенні напруги кіл керування U_{\min} . Не дивлячись на це у переліку робіт з регулювання контакторів після виконання ремонтних операцій відсутня вимога перевірки виконання ним умови безумовного увімкнення – тягова характеристика повинна розташовуватись вище характеристики протидії у бідь якій точці інтервалу $\delta_0 < \delta < \delta_{\text{відп}}$.

Тяговий електромагнітний контактор типу МК-310Б має U-подібну форму магнітної системи електромагніту із зовнішнім якорем. В такій конфігурації обидві полиці якоря мають однакову вагу, тому вони відносно осі повороту створюють приблизно однакові за значенням але різні за напрямом моменти, що дає право не враховувати при обчисленні сили протидії складову сили опору, що створюється вагою якоря.

Крім того, для повного і безумовного увімкнення тягового електромагнітного контактора за умови мінімальної напруги в колах керування потрібно, щоб сила тяги при $\delta_{\text{кр}}$ перевищувала силу протидії в 1,3...1,7 рази [13].

Таким чином, пропонується після ремонту контактора будувати його характеристики: $Q_m = f(\delta)$ – тягову та $Q_{\text{п}} = f(\delta)$ – протидії при U_{\min} , щоби забезпечити умови його повного безумовного увімкнення (можливо за умови деякого раціонального співвідношення між значеннями повітряного зазору та натисненням пружин).

Для вирішення такого роду задачі пропонується наступний алгоритм:

1. Обчислюється різниця $(\delta_{\text{відп}} - \delta_{\text{кр}})_{\min}$:

$$(\delta_{\text{відп}} - \delta_{\text{кр}})_{\min} = \frac{p_{\min} \cdot l}{L}, \quad (38)$$

де p_{\min} – мінімальний нормований розхил силових (головних) контактів;

									Лист
									50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

l – плече дії сили Q_M відносно осі повороту якоря (рис. 3);

L – відстань між віссю повороту якоря та точкою дотику силових контактів.

$$\delta_{\text{відп}} = \delta_0 + (\delta_0 \dots \delta_{\text{кр}}) + (\delta_{\text{відп}} - \delta_{\text{кр}})_{\text{мін}}. \quad (39)$$

2. Обчислюється Q_M для наступних значень повітряного зазору – $\delta_{\text{відп}}$, $\delta_{\text{кр}}$, δ_0 [13]:

$$Q_M = 0,5 \cdot \mu_0 \cdot S_{\delta_i} \cdot \left(\frac{F}{\delta_i} \right)^2, \quad (40)$$

де S_{δ_i} – площа перерізу повітряного зазору між якорем та осердям магнітної системи електромагніту контактора, м²:

$$S_{\delta_i} = S_T \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot \delta_i}{\sqrt{S_T}} \right), \quad (41)$$

$F = I \cdot W$ – магніторушійна сила;

$I = \frac{U_{\text{мін}}}{R_{\text{кмак}}}$ – струм у котушці електромагніту, А;

$R_{\text{кмак}}$ – максимальне значення опору котушки;

W – кількість витків у котушці електромагніту.

3. Аналізується взаємне розташування характеристик контактора та розробляються рекомендації щодо початкового стиснення пружин.

Приклад застосування алгоритму з наступними вихідними даними:

Контактор – МК-310Б;

Мінімальне значення напруги в бортовій низьковольтній мережі локомотива –

$U_{\text{мін}}=35$ В;

Максимальний омичний опір котушки електромагніту контактора – $R_{\text{кмак}}=65,8$ Ом;

$p_{\text{мін}}=30$ мм; $l=63$ мм; $L=250$ мм; $\delta_0=0,5$ мм; $(\delta_0 \dots \delta_{\text{кр}})=3,3$ мм; $S_T=0,00112$ м²;

$W=4840$; $l_B=73$ мм; $l_K=25$ мм;

									Лист
									51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Жорсткість пружини вмикання $c_B = 1$ Н/мм;

Жорсткість контактної пружини $c_K = 3,25$ Н/мм.

Розрахунки:

$$(\delta_{\text{відп}} - \delta_{\text{кр}})_{\text{min}} = \frac{p_{\text{min}} \cdot l}{L} = \frac{30 \cdot 63}{250} = 7,6 \text{ мм};$$

$$\delta_{\text{відп}} = 3,8 + 7,6 = 11,4 \text{ мм} = 0,0114 \text{ м};$$

$$I = \frac{U_{\text{min}}}{R_{\text{кmax}}} = \frac{35}{65,8} = 0,53 \text{ А}; F = I \cdot W = 0,53 \cdot 4840 = 2565,2 \text{ А} \cdot \text{вит};$$

$$S_{\delta_{\text{відп}}} = S_T \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot \delta_{\text{відп}}}{\sqrt{S_T}} \right) = 0,00112 \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot 0,0114}{\sqrt{0,00112}} \right) = 188 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2;$$

$$Q_{M\delta_{\text{відп}}} = 0,5 \cdot \mu_0 \cdot S_{\delta_{\text{відп}}} \cdot \left(\frac{F}{\delta_{\text{відп}}} \right)^2 = 0,5 \cdot 1,256 \cdot 10^{-7} \cdot 188 \cdot 10^{-5} \cdot \left(\frac{2565,2}{0,0114} \right)^2 = 6,15 \text{ Н};$$

Сила протидії пружини вмикання порівнюється до $Q_{M\delta_{\text{відп}}}$, тобто

$$Q_{V\delta_{\text{відп}}} = Q_{M\delta_{\text{відп}}} = 6,15 \text{ Н};$$

Як зазначалось вище, пружина вмикання і контактна пружина мають монотонні характеристики.

$$Q'_{V\delta_{\text{відп}}} = Q_{V\delta_{\text{відп}}} \cdot \frac{l}{l_B} = 6,15 \cdot \frac{63}{73} = 5,3 \text{ Н};$$

$$\text{Початкове стиснення пружини вмикання} \left(\frac{Q_{V\delta_{\text{відп}}}}{c_B} \right) = \left(\frac{6,15}{1} \right) = 6,15 \text{ мм};$$

При зменшенні повітряного зазору до критичного значення $\delta_{\text{кр}}$ пружина вмикання додатково стискається на 8,8 мм, тоді приведені значення сили у точці 4 (рис. 4):

$$Q'_{B4} = Q'_{П4} = \frac{(Q_{V\delta_{\text{відп}}} + c_B \cdot 8,8) \cdot l_B}{l} = \frac{(6,15 + 1 \cdot 8,8) \cdot 73}{63} = 17,3 \text{ Н};$$

$$\delta_{\text{кр}} = \delta_0 + (\delta_0 \dots \delta_{\text{кр}}) = 0,5 + 3,3 = 3,8 \text{ мм} = 0,0038 \text{ м};$$

$$S_{\delta_{\text{кр}}} = S_T \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot \delta_{\text{кр}}}{\sqrt{S_T}} \right) = 0,00112 \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot 0,0038}{\sqrt{0,00112}} \right) = 137 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2;$$

									Лист
									52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

$$Q_{M\delta_{кр}} = 0,5 \cdot \mu_0 \cdot S_{\delta_{кр}} \cdot \left(\frac{F}{\delta_{кр}} \right)^2 = 0,5 \cdot 1,256 \cdot 10^{-7} \cdot 137 \cdot 10^{-5} \cdot \left(\frac{2565,2}{0,0038} \right)^2 = 39,9 \text{ Н};$$

$$Q'_{п5} = Q'_{п\delta_{кр}} = Q'_{п4} + Q_{к1} \cdot \frac{l_{к}}{l} = 17,3 + 13 \cdot \frac{25}{63} = 22,5 \text{ Н};$$

$Q_{к1}$ – початкове натиснення силових контактів, приймається $Q_{к1} = 13 \text{ Н}$;

$$Q'_{к5} = Q'_{к1} = Q_{к1} \cdot \frac{l_{к}}{l} = 13 \cdot \frac{25}{63} = 5,16 \text{ Н};$$

$$Q_{п5} = Q_{п\delta_{кр}} = Q_{п4} + Q_{к1} = \frac{Q'_{п4} \cdot l}{l_{в}} + Q_{к1} = \frac{17,3 \cdot 63}{73} + 13 = 27,9 \text{ Н};$$

Кінцеве натиснення силових контактів контактора:

$$Q_{к6} = Q_{к2} = Q_{к1} + c_{к} \cdot (\delta_0 \dots \delta_{кр}) = 13 + 3,25 \cdot 3,8 = 25,35 \text{ Н};$$

$$Q'_{к6} = Q_{к6} \cdot \frac{l_{к}}{l} = 25,35 \cdot \frac{25}{63} = 10,1 \text{ Н}.$$

Нормативне значення кінцевого натиснення силових контактів контактора типу МК-310Б складає 18...27 Н [14].

Початкове стиснення контактної пружини:

$$\frac{Q_{к}}{c_{к}} = \frac{13}{3,25} = 4 \text{ мм}.$$

Кінцеве стиснення контактної пружини:

$$\frac{Q_{к6}}{c_{к}} = \frac{25,35}{3,25} = 7,84 \text{ мм}.$$

Для отриманих параметрів тягового електромагнітного контактора типу МК-310Б за умови мінімальної напруги в колах керування локомотива:

- забезпечується мінімальне нормоване значення розхилу силових контактів;
- забезпечено початкове і кінцеве натиснення силових контактів в межах норми.

$$\text{Умова } \frac{Q_{M\delta_{кр}}}{Q_{п5}} = \frac{39,9}{27,9} = 1,43 \text{ виконується (1,2...1,5)}.$$

РОЗДІЛ 5

ОСНОВНІ ФУНКЦІЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ОХОРОНОЮ ПРАЦІ НА ПІДПРИЄМСТВІ

В організації охорони праці на підприємстві беруть участь роботодавці, головні спеціалісти, керівники виробничих дільниць, окремих структурних підрозділів та служб, профспілки та інші органи, що певним чином впливають на організацію охорони праці [15]. Основним завданням системи охорони праці є створення здорових і безпечних умов праці для усіх без виключення учасників робочого процесу.

Держава має безпосереднє відношення до охорони праці. Державне управління охороною праці здійснює [16, 17]:

- Кабінет Міністрів;
- спеціально затверджений центральний орган виконавчої влади з нагляду за охороною праці;
- Міністерства та інші центральні органи виконавчої влади;
- місцеві державні адміністрації та органи місцевого самоврядування.

Органи державного управління здійснюють комплексне розв'язання завдань на основі Загальнодержавної національної програми поліпшення стану безпеки, гігієни праці та виробничого середовища, що сприятиме вирішенню питань правового, організаційного, матеріально-технічного, наукового та економічного забезпечення робіт у сфері охорони праці [15].

Управління охороною праці будь-якого рівня здійснює цілеспрямовану дію на систему «людина-виробництво», яка представляється усією сукупністю елементів і систем з якими людина взаємодіє в процесі праці і які можуть чинити на неї вплив.

Перелік обов'язків з охорони праці, що покладаються на керівників підприємств і їхніх замісників:

- створення та підтримання безпечних умов праці на робочих місцях;
- забезпечення умов по дотриманню вимог діючих стандартів, правил, норм з охорони праці та пожежної безпеки;

									Лист
									54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	7.141.190036.ПЗ				

- призначення відповідальних за організацію і стан охорони праці в кожному структурному підрозділі підприємства;
- створення відповідної служби та керівництво нею;
- забезпечення регулярних перевірок стану з охорони праці;
- забезпечення проведення паспортизації санітарно-технічного стану підприємства;
- затверджувати та вводити в дію відповідні інструкції;
- забезпечувати розслідування та облік нещасних випадків на виробництві.

Перелік обов'язків з охорони праці, що покладаються на головних спеціалістів (наприклад, головний енергетик):

- розробка та виконання комплексних планів заходів з охорони праці;
- впровадження новітніх технологій (автоматика, роботизація, комп'ютерні технології та інше) та досягнень науки в сфері охорони праці;
- заборона виконання робіт при виникненні загрози для життя та здоров'я працівників, а також заборона на використання несправної техніки;
- контроль проведення і реєстрацію усіх інструктажів;
- розробка інструкцій в підпорядкованій галузі;
- взяття безпосередньої участі в розслідуваннях нещасних випадків.

Перелік обов'язків з охорони праці, що покладаються на керівників структурних підрозділів (наприклад, начальник збирального цеху) [15]:

- розробка та виконання заходів з поліпшення умов праці, запобігання аваріям, пожежам та виробничим травмам;
- виконання розпорядження держ. органів нагляду, керівника підприємства та головних спеціалістів;
- безпосередня участь в паспортизації санітарно-технічного стану робочих місць, відстеження за своєчасним випробовуванням та технічним оглядом обладнання;
- проведення та реєстрація інструктажів на робочих місцях, оформлення допусків до роботи, забезпечення робочих місць інформативними документами, інструкціями, стандартами та інше;

					7.141.190036.ПЗ	Лист
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- безпосередня участь в розслідуванні нещасних випадків.

В методологічному відношенні управління охороною праці реалізується у два взаємозв'язаних етапи, що виконуються послідовно:

- аналіз поточних умов праці;
- розробка по результатам аналізу засобів/способів захисту робітників від можливих чи потенційних небезпек.

Організаційно-методичну роботу з управління охороною праці, відпрацювання та підготовку управлінських рішень і контроль за їх реалізацією здійснює **служба охорони праці**, яка безпосередньо підпорядковується керівнику підприємства. Кожен співробітник має знати і виконувати свої посадові обов'язки у питанні охорони праці.

Функції системи управління охороною праці [15]:

- організація, планування та координація робіт в галузі охорони праці (передбачає формування органів управління, визначення обов'язків і порядок взаємодії осіб, що задіяні в системі управління, а також реалізацію управлінських рішень; планування визначає завдання структурним службам підприємства в поточних, оперативних і перспективних планах);
- контроль за станом питань охорони праці (передбачає перевірку стану умов праці з метою виявлення можливих відхилень від нормативних документів та норм, а також вимог чинного законодавства);
- контроль за належним функціонуванням системи управління охороною праці;
- аналіз, оцінка, облік об'єктивних показників стану системи охорони праці (вказаний перелік дій спрямований на розробку і прийняття відповідних рішень на підставі даних про нещасні випадки та професійні захворювання, паспортів про санітарно-технічний стан умов праці та розпоряджень держ. органів нагляду);
- стимулювання діяльності в галузі охорони праці (до таких відносяться будь-які види морального та матеріального заохочення).

					7.141.190036.ПЗ	Лист
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

Аналіз технічної літератури та нормативних документів, наукових робіт, статистичної інформації по виходу з ладу тягових контакторів вказує на те, що забезпечення стабільності характеристик контактора (тягової та протидії) є ключовим фактором в досягненні високої надійності їх функціонування.

Реальні значення фізичних та електричних параметрів контакторів, що знаходяться в експлуатації завжди відрізняються від номінальних. Ця відмінність (відхилення від номінального значення) має місце при виготовленні контактора на заводі або після його ремонту (технологічна стабільність), так і в процесі експлуатації (експлуатаційна стабільність). Вказані нестабільності параметрів електромагнітного контактора приводять до нестабільності сили електромагнітного притягування Q_m , що виникають в його приводі, а також сили протидії $Q_{\text{п}}$ (створюється пружинами). Співвідношення між цими силами визначає працездатність контактора по критерію факту його нормального замикання, коли якір повністю притягнутий до сердечника, а контактор вважається повністю увімкненим.

Одним з факторів, що впливає на характеристики електромагнітного контактору є величина напруги на котушці електромагніту, а точніше мінімальне її значення за якого забезпечується повне увімкнення контактора.

Проведена оцінка числових характеристик випадкових величин U , $S_{\text{т}}$, $R_{\text{к}}$, $\delta_{\text{кр}}$ – математичного очікування, дисперсії та середньоквадратичного відхилення функції Q_m . На основі критерія Пірсона підтверджено припущення про нормальний закон розподілення параметрів-аргументів U , $S_{\text{т}}$, $R_{\text{к}}$, $\delta_{\text{кр}}$. Вище зазначене дозволило провести аналіз стабільності характеристик тягового контактора типу МК-310Б. Так найбільше відношення $\frac{\sigma_i}{\bar{x}} \cdot 100\%$ серед параметрів-аргументів U , $S_{\text{т}}$, $R_{\text{к}}$, $\delta_{\text{кр}}$ функції Q_m спостерігаються для:

- критичного повітряного зазору $\delta_{\text{кр}}$, складає 17%;
- напруги на котушці електромагніту U , складає 8,19%.

									Лист
									58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Тобто, на відхилення в експлуатації тягової характеристики від її початкового положення найбільше впливає значення критичного повітряного зазору та напруга на котушці електромагніту. Таким чином, особливої уваги потребує питання відповідності напруги на котушці електромагніту його паспортному значенню.

З метою забезпечення безумовної працездатності електромагнітного контактора за умови мінімальної напруги в колах керування електрорухомого складу пропонується в перелік робіт з регулювання контактора ввести додатковий пункт, що полягає в отриманні його характеристик з відповідним аналізом їх взаємного положення. Алгоритм вирішення такої задачі представлено в розділі 4 роботи.

					7.141.190036.ПЗ	Лист
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Апарати електричні тягові. Загальні технічні вимоги. ДСТУ 2773-94, К.: Держстандарт України, 1996. 75 с.
2. Дубинець Л. В. Тягові електричні апарати контактні. / Л. В. Дубинець, В. Т. Віслогузов, А. І. Кійко, В. М. Красильников, О. Л. Маренич, О. І. Момот – Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп., Д.: Нова ідеологія, 2002. – 104 с.
3. Бржезицький В. О. Електричні апарати: підручник / В. О. Бржезицький, В. Ц. Зелінський, П. Д. Лежнюк, О. Є. Рубаненко – Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, 2016. – 602 с.
4. Надійність техніки. Терміни і визначення. ДСТУ 2860-94. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://dbn.co.ua/load/normativity/dstu/dstu_2860_94_nadijnist_tekhniki_termini_ta_viznachennja/5-1-0-1209
5. Контактори електромагнітні серії МК. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://kvazar.com.ua/uk/production-ua/kontaktory>
6. Захарченко Д. Д. Тягові електричні апарати. – М.: Транспорт, 1991. 247 с.
7. Маренич О. О. Вплив відхилень параметрів привода електромагнітних контакторів електрорухомого складу від їх номінальних значень на надійність роботи контакторів. Наука та прогрес транспорту, Вип. 26, С. 60–62.
8. Маренич О. О. Метод оцінки технологічної стабільності електротягової сили та сили протидії контакторів рухомого складу / О. О. Маренич, М. О. Костін // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2011. – Вип. 37. – С. 93–99
9. Маренич О. О. Робота електромагнітних контакторів при мінімальному значенні напруги кіл керування рухомим складом залізниць / О. О. Маренич // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2010. – Вип. 31. – С. 32–35.
10. Карташов М.В. Імовірність, процеси, статистика: Посібник. – К.: Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2008.– 494 с.

										Лист
										60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

СПИСОК ГРАФІЧНИХ РОБІТ

- 1) Конструкція та характеристики контактора МК-310Б;
- 2) Аналіз статистичних даних по відхиленню параметрів електромагнітного контактора типу МК-310Б;
- 3) Аналіз статистичних даних по відхиленню параметрів електромагнітного контактора типу МК-310Б;
- 4) Оцінка стабільності характеристик контактора;

					7.141.190036.ПЗ	Лист
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

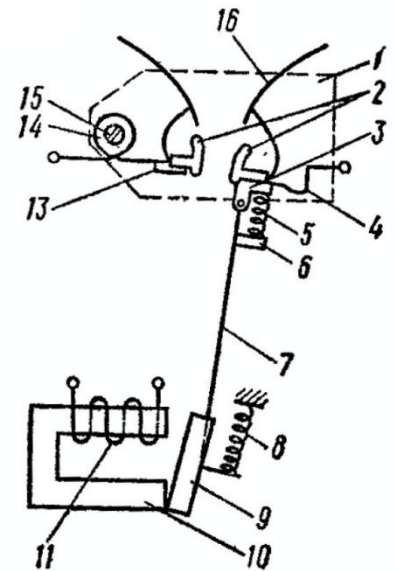
ДОДАТОК А
Графічні роботи

					7.141.190036.ПЗ	Лист
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

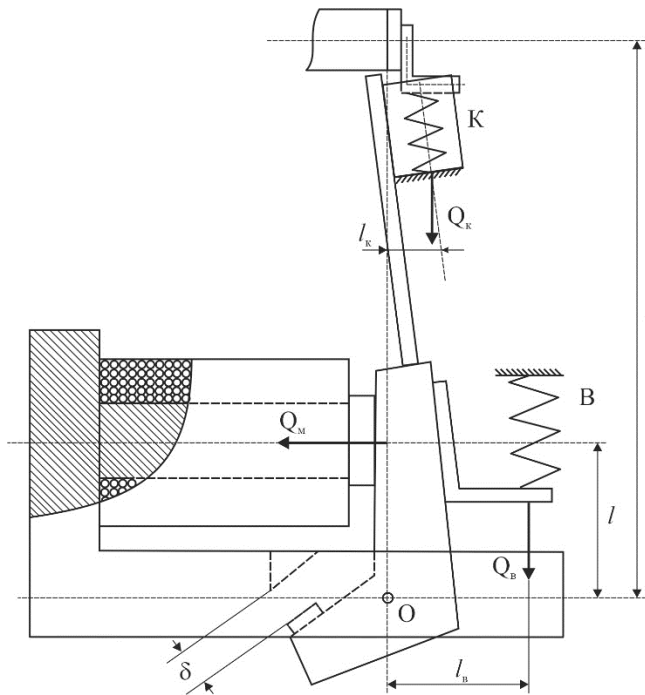
Паспортні дані електромагнітного контактора
типу МК-310Б

Схема роботи електромагнітного контактора

Номінальна напруга в силовому колі, В	3000
Номінальний силовий струм контактора, А	25
Номінальна напруга в колі керування, В	50
Номінальний струм котушки вимикання, А	0,65
Активний опір котушки вмикання при +20°C, Ом	58...65,8
Величина розриву контактів, мм	30...34
Величина провалу контактів, мм	7...9
Сила стискання силових контактів, Н	18...27
Контактор повинен вмикатись при напрузі на затискачах котушки увімкнення, В	30
Жорсткість пружини вимикання, Н/мм	1
Жорсткість пружини притирання (контактної), Н/мм	3,24
Маса, кг	28,4

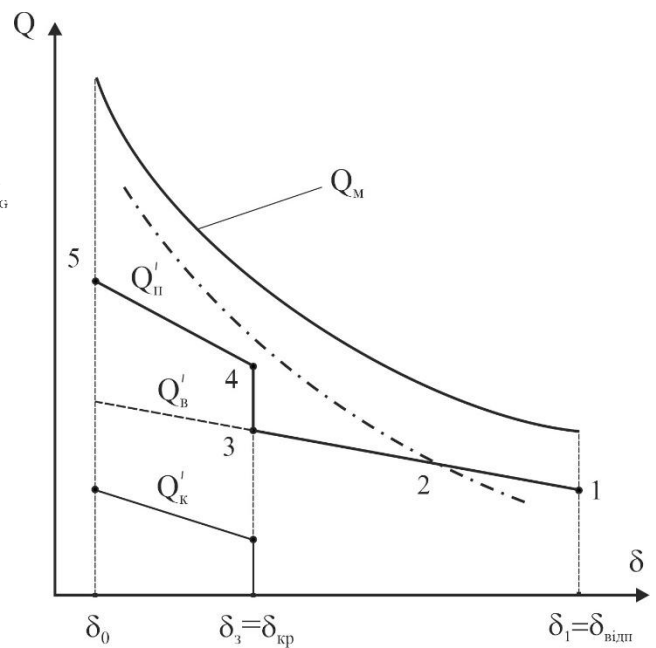


Кінематична схема електромагнітного привода
контактора МК-310Б



Характеристики тягового електромагнітного
контактора типу МК-310Б:

$Q_M = f(\delta)$ – тягова; $Q'_n = f(\delta)$ – протидії



$$Q_M = 0,5 \cdot \mu_0 \cdot S_T \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot \delta}{\sqrt{S_T}}\right) \cdot \left(\frac{U}{R_K} \cdot \frac{F}{\delta}\right)^2$$

$$Q'_n = A + \frac{c_B \cdot K \cdot l_B}{l} + \frac{c_K \cdot \Delta x_K \cdot l_K}{l}$$

Конструкція та характеристики контактора МК-310Б

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Зав. кафед.		Муха А.М.		
Н. контр.		Карзова О.О.		
Осн. керів.		Маренич О.Л.		
Розробив		Гордієнко М.А.		

Додаток А
7.141.190036.01

Стад.	Аркуш	Аркушів
	64	67
Український державний університет науки і технологій, група ЕЕ2321		

Тягова сила Q_M електромагнітного контактора є наступною функцією параметрів-аргументів

$$Q_M = f(U, S_T, R_k, \delta_{кр})$$

Статистичні дані по відхиленню параметрів-аргументів функції Q_M

Статистичні дані для вибірки параметра-аргумента U

Номер інтервалу i	Крок h , В	Частковий інтервал $U_i \dots U_{i+1}$, В	Сума частот варіант інтервалу n_i
1	1,5	30,5...32	2
2		32...33,5	4
3		33,5...35	5
4		35...36,5	4
5		36,5...38	7
6		38...39,5	4
7		39,5...41	2
8		41...42,5	1
9		42,5...44	1

Статистичні дані для вибірки параметра-аргумента R_k

Номер інтервалу i	Крок h , Ом	Частковий інтервал $R_{ki} \dots R_{ki+1}$, Ом	Сума частот варіант інтервалу n_i
1	0,7	57,7...58,4	4
2		58,4...59,1	6
3		59,1...59,8	10
4		59,8...50,5	12
5		60,5...61,2	13
6		61,2...61,9	14
7		61,9...62,6	10
8		62,6...63,2	10
9		63,2...63,9	10
10		63,9...64,6	7
11		64,6...65,3	4

Статистичні дані для вибірки параметра-аргумента S_T

Номер інтервалу i	Крок h , м ²	Частковий інтервал $S_{Ti} \dots S_{Ti+1}$, В	Сума частот варіант інтервалу n_i
1	$3 \cdot 10^{-6}$	$955 \cdot 10^{-6} \dots 958 \cdot 10^{-6}$	2
2		$958 \cdot 10^{-6} \dots 961 \cdot 10^{-6}$	5
3		$961 \cdot 10^{-6} \dots 964 \cdot 10^{-6}$	2
4		$964 \cdot 10^{-6} \dots 967 \cdot 10^{-6}$	4
5		$967 \cdot 10^{-6} \dots 970 \cdot 10^{-6}$	7
6		$970 \cdot 10^{-6} \dots 973 \cdot 10^{-6}$	3
7		$973 \cdot 10^{-6} \dots 976 \cdot 10^{-6}$	2
8		$976 \cdot 10^{-6} \dots 979 \cdot 10^{-6}$	3
9		$979 \cdot 10^{-6} \dots 982 \cdot 10^{-6}$	2

Статистичні дані для вибірки параметра-аргумента $\delta_{кр}$

Номер інтервалу i	Крок h , мм	Частковий інтервал $\delta_{кри} \dots \delta_{кри+1}$, мм	Сума частот варіант інтервалу n_i
1	0,3	1,9...2,2	1
2		2,3...2,5	3
3		2,5...2,8	5
4		2,8...3,1	5
5		3,1...3,4	10
6		3,4...3,7	2
7		3,7...4,0	2
8		4,0...4,3	1
9		4,3...4,6	1

Математичне очікування випадкової величини $\bar{x}_i = M_1 \cdot h + M_e$

Дисперсія $D_i = [M_2 - M_1^2] \cdot h^2$

Середньоквадратичне відхилення $\sigma_i = \sqrt{D_i}$

Умовні моменти $M_1 = \frac{d_1}{n}$, $M_2 = \frac{s_1 + 2 \cdot s_2}{n}$, $M_3 = \frac{d_1 + 6 \cdot d_2 + 6 \cdot d_3}{n}$, $M_4 = \frac{s_1 + 14 \cdot s_2 + 36 \cdot s_3 + 24 \cdot s_4}{n}$

Коефіцієнти $d_1 = a_1 - b_1$; $d_2 = a_2 - b_2$; $d_3 = a_3 - b_3$

$s_1 = a_1 + b_1$; $s_2 = a_2 + b_2$; $s_3 = a_3 + b_3$; $s_4 = a_4 + b_4$

Аналіз статистичних даних по відхиленню параметрів електромагнітного контактора типу МК-310Б				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Зав. кафед.	Муша А.М.			
Н. контр.	Карзова О.О.			
Осн. керів.	Маренич О.Л.			
Розробив	Гордієнко М.А.			
Додаток А 7.141.190036.02			Стад.	Аркуш
				65
			Аркушів 67	
Український державний університет науки і технологій, група ЕЕ2321				

Критерій Пірсона ($\lambda_c^2 = \sum \frac{(n_i - n'_i)^2}{n'_i}$),

що спостерігається, для U

$U_i, \text{В}$	$u = \frac{U_i - \bar{U}}{\sigma_U}$	$n'_i = 14,8 \cdot \varphi(u_i)$	$\frac{(n_i - n'_i)^2}{n'_i}$
32	-1,678	1,51	0,159
33,5	-1,184	3,05	0,296
35	-0,691	4,75	0,013
36,5	-0,197	5,83	0,57
38	0,296	5,59	0,36
39,5	0,789	4,22	0,01
41	1,283	2,47	0,089
42,5	1,776	1,15	0,02
44	2,27	0,41	0,85
$\lambda_c^2 = 2,367$			

Критерій Пірсона ($\lambda_c^2 = \sum \frac{(n_i - n'_i)^2}{n'_i}$), що

спостерігається, для S_T

$S_{Ti}, \text{м}^2$	$u = \frac{S_{Ti} - \bar{S}_T}{\sigma_{S_T}}$	$n'_i = 13,2 \cdot \varphi(u_i)$	$\frac{(n_i - n'_i)^2}{n'_i}$
$958 \cdot 10^{-6}$	-1,62	1,44	1,44
$961 \cdot 10^{-6}$	-1,18	2,63	2,1
$964 \cdot 10^{-6}$	-0,74	4	1
$967 \cdot 10^{-6}$	-0,29	5,03	0,2
$970 \cdot 10^{-6}$	0,15	5,22	0,61
$973 \cdot 10^{-6}$	0,59	4,48	0,49
$976 \cdot 10^{-6}$	1,03	3,19	0,44
$979 \cdot 10^{-6}$	1,47	1,87	0,68
$982 \cdot 10^{-6}$	1,91	0,92	1,27
$\lambda_c^2 = 8,23$			

Критерій Пірсона ($\lambda_c^2 = \sum \frac{(n_i - n'_i)^2}{n'_i}$), що

спостерігається, для R_K

$R_{Ki}, \text{Ом}$	$u = \frac{R_{Ki} - \bar{R}_K}{\sigma_{R_K}}$	$n'_i = 37,8 \cdot \varphi(u_i)$	$\frac{(n_i - n'_i)^2}{n'_i}$
58,4	-1,89	2,53	0,85
59,1	-1,5	4,9	0,25
59,8	-1,14	7,95	0,53
60,5	-0,757	11,3	0,04
61,2	-0,4	14	0,07
61,9	0	15,1	0,08
62,6	0,38	14	1,14
63,2	0,71	11,87	0,3
63,9	1,09	8,6	0,23
64,6	1,46	5,22	0,61
65,3	1,82	2,79	0,53
$\lambda_c^2 = 4,63$			

Критерій Пірсона ($\lambda_c^2 = \sum \frac{(n_i - n'_i)^2}{n'_i}$), що

спостерігається, для $\delta_{кр}$

$\delta_{кри}, \text{мм}$	$u = \frac{\delta_{кри} - \bar{\delta}_{кр}}{\sigma_{\delta_{кр}}}$	$n'_i = 16,36 \cdot \varphi(u_i)$	$\frac{(n_i - n'_i)^2}{n'_i}$
2,2	-1,89	1	0
2,5	-1,345	2,56	0,08
2,8	-0,8	4,7	0,02
3,1	-0,25	6,3	0,27
3,4	0,29	6,2	2,33
3,7	0,84	4,6	1,5
4,0	1,38	2,3	0,04
4,3	1,93	0,98	0,0004
4,6	2,47	0,3	1,63
$\lambda_c^2 = 5,87$			

Математичне очікування та середньоквадратичне відхилення параметрів-аргументів $U, S_T, R_K, \delta_{кр}$ функції Q_M

Параметр-аргумент	Математичне очікування параметра-аргумента \bar{x}	Середньоквадратичне відхилення параметра-аргумента σ_i	Відношення $\frac{\sigma_i}{\bar{x}} \cdot 100\%$
Напруга на котушці електромагніту $U, \text{В}$	37,1	3,04	8,19
Площа горця осердя електромагніту $S_T, \text{м}^2$	$969 \cdot 10^{-6}$	$6,8 \cdot 10^{-6}$	0,7
Активний опір котушки електромагніту $R_K, \text{Ом}$	61,9	1,85	2,99
Критичний повітряний зазор $\delta_{кр}, \text{мм}$	3,24	0,55	17

Аналіз статистичних даних по відхиленню параметрів електромагнітного контактора типу МК-310Б

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Зав. кафедр.		Муха А.М.		
Н. контр.		Карзова О.О.		
Осн. керів.		Маренич О.Л.		
Розробив		Гордієнко М.А.		

Додаток А
7.141.190036.03

Стад.	Аркуш	Аркушів
	66	67

Український державний університет науки і технологій, група ЕЕ2321

Найбільші значення відношення $\frac{\sigma_i}{\bar{x}} \cdot 100\%$ серед параметрів-аргументів $U, S_{\tau}, R_{\kappa}, \delta_{\text{кр}}$ функції Q_m спостерігаються для:

- критичного повітряного зазору $\delta_{\text{кр}}$, складає 17%;
- напруги на котушці електромагніту U , складає 8,19%.

Дисперсія тягової сили

$$D_{Q_m} = D[f(U, S_{\tau}, R_{\kappa}, \delta_{\text{кр}})] = 91,43 + 0,157 + 12,91 + 307 + \frac{1}{2} \cdot (4,85 + 14,78 \cdot 10^{-12} + 0,12 + 73,78) + 0,004 + 1,2 + 7,9 + 0,0005 + 0,0145 + 1,23 = 475,83 \text{ Н}^2$$

У виразі для дисперсії присутні два найбільші за значеннями члени:

- четвертий член – 307, зумовлений нестабільністю величини критичного повітряного зазору $\delta_{\text{кр}}$ тягового контактора типу МК-310Б;
- перший член – 91,43, зумовлений нестабільністю напруги на котушці електромагніту U .

Можна стверджувати, що на стабільність характеристик контактора (тягової та протидії) найсуттєвіше впливають відхилення величини повітряного зазору від номінальних альбомних значень та коливання напруги на котушці електромагніту.

Пропонується після ремонту контактора будувати його характеристики: $Q_m = f(\delta)$ – тягову та $Q'_n = f(\delta)$ – протидії при U_{min} , щоби забезпечити умови його повного безумовного увімкнення (можливо за умови деякого раціонального співвідношення між значеннями повітряного зазору та натисненням пружин).

Для вирішення такого роду задачі пропонується наступний **алгоритм**:

1. Обчислюється різниця $(\delta_{\text{відп}} - \delta_{\text{кр}})_{\text{min}}$:

$$(\delta_{\text{відп}} - \delta_{\text{кр}})_{\text{min}} = \frac{p_{\text{min}} \cdot l}{L},$$

де p_{min} – мінімальний нормований розхил силових (головних) контактів;

l – плече дії сили Q_m відносно осі повороту якоря;

L – відстань між віссю повороту якоря та точкою дотику силових контактів.

$$\delta_{\text{відп}} = \delta_0 + (\delta_0 \dots \delta_{\text{кр}}) + (\delta_{\text{відп}} - \delta_{\text{кр}})_{\text{min}}.$$

2. Обчислюється Q_m для наступних значень повітряного зазору – $\delta_{\text{відп}}, \delta_{\text{кр}}, \delta_0$:

$$Q_m = 0,5 \cdot \mu_0 \cdot S_{\delta_i} \cdot \left(\frac{F}{\delta_i}\right)^2,$$

де S_{δ_i} – площа перерізу повітряного зазору між якорем та осердям магнітної системи електромагніту контактора, м^2

3. Аналізується взаємне розташування характеристик контактора та розробляються рекомендації щодо початкового стиснення пружин.

					Оцінка стабільності характеристик контактора			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Зав. кафедр.		Муха А.М.			Додаток А 7.141.190036.04	Стад.	Аркуш	Аркушів
Н. контр.		Карзова О.О.					67	67
Осн. керів.		Маренич О.Л.				Український державний університет науки і технологій, група ЕЕ2321		
Розробив		Гордієнко М.А.						