

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 influence of the size of the air gap 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: /Maksym LYSTOPADOV/

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 Листопадов Максим Ігорович

1. Тема роботи: «Дослідження впливу величини повітряного зазору 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: Контакттор 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. Характеристики електромагнітних контактторів та параметри, що на них впливають. Напрямки підвищення надійності електромагнітних контактторів.

4.2 Основна частина: Статистичні дані по відхиленню величини повітряного зазору та їх математична обробка. Встановлення впливу величини повітряного зазору на характеристики електромагнітного контакттору типу МК-310Б. Розробка рекомендацій по підвищенню надійності електромагнітних контактторів.

4.3 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях: Питання безпеки життєдіяльності, що пов'язані з ремонтом електромагнітних контактторів.

4.4 Економічна частина: –

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

1. Загальна інформація про електромагнітні контакттори та їх характеристики;
 2. Аналіз аналітичних залежностей для характеристик контактторів;
 3. Статистичні дані по відхиленню величини повітряного зазору МК-310Б, закон розподілу та його підтвердження;
 4. Характер впливу величини повітряного зазору на характеристики електромагнітного контакттору типу МК-310Б. 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. Характеристики електромагнітних контакторів та параметри, що на них впливають. Напрямки підвищення надійності електромагнітних контакторів.	18.11.2024 – 24.11.2024	15%
3	Статистичні дані по відхиленню величини повітряного зазору та їх математична обробка.	25.11.2024 – 08.12.2024	30%
4	Встановлення впливу величини повітряного зазору на характеристики електромагнітного контактору типу МК-310Б. Розробка рекомендацій по підвищенню надійності електромагнітних контакторів.	09.12.2024 – 22.12.2024	30%
5	Питання безпеки життєдіяльності, що пов'язані з ремонтом електромагнітних контакторів.	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)

Максим ЛИСТОПАДОВ

_____ (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	7.141.190049.ПЗ	Пояснювальна записка	60		
4			Запозичена			
5			<u>Графічна частина</u>			
6			Заново розроблена			
7	A4	7.141.190049.01	Фактори, що впливають	1		
8			на надійність роботи			
9			контактора МК-310Б			
10	A4	7.141.190049.02	Характеристики контактору	1		
11			МК-310Б та їх узгодженість			
12	A4	7.141.190049.03	Математичне очікування,	1		
13			дисперсія,			
14			середньоквадратичне			
15			відхилення параметрів-			
16			аргументів функцій Q_M і Q'_P			
17	A4	7.141.190049.04	Оцінка стабільності	1		
18			характеристик контактора			
19			типу МК-310Б			
20						
21			Запозичена			
22						
23			<u>Електронна частина</u>			
24						

7.141.190049.ПЗ

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

Відомість
кваліфікаційної роботи

Стад.	Аркуш	Аркушів
	5	60
МОН України. УДУНТ Кафедра «ЕТЕМ» Група ЕЕ2321		

РЕФЕРАТ

Дипломна магістерська робота на тему «Дослідження впливу величини повітряного зазору на характеристики електричного апарата» складається з 4 розділів та містить: 60 сторінок основного тексту, 22 таблиці, 7 рисунків, 18 літературних джерел, 1 додаток.

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

В розділі 1 проаналізовано фактори, що впливають на надійність роботи контактора типу МК-310Б. Встановлено, що тягова сила Q_m є функцією 4-х параметрів – U , S_T , R_k , $\delta_{кр}$, серед яких величина критичного повітряного зазору. Сила протидії $Q'_п$, що створюється пружиною вимикання та контактною пружиною є функцією 4-х параметрів – $C_{п.в.}$, K , $C_{п.к.}$, ΔX_k . Визначені умови узгодження тягової характеристики контактора з характеристикою протидії.

В розділі 2 наведена статистична інформація по відхиленню параметрів-аргументів функцій Q_m та $Q'_п$.

Розділ 3 присвячений оцінці числових характеристик випадкової величини $\delta_{кр}$ – математичного очікування, дисперсії та середньоквадратичного відхилення функції Q_m . На основі критерія Пірсона підтверджено припущення про нормальний закон розподілення параметра-аргумента $\delta_{кр}$. За аналогічною методикою проведено оцінку числових характеристик $C_{п.в.}$, K , $C_{п.к.}$, ΔX_k , що входять до функції $Q'_п$. Доведено припущення про нормальний закон розподілення параметрів-аргументів $C_{п.в.}$, K , $C_{п.к.}$, ΔX_k . При оцінці стабільності характеристик контактора встановлено, що на відхилення в експлуатації тягової характеристики від її початкового положення найбільше впливає значення критичного повітряного зазору, а на відхилення характеристики протидії – значення K .

Розділ 4 присвячений питанням безпеки життєдіяльності, що пов'язані з ремонтом та експлуатацією контакторів.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ТЯГОВА ХАРАКТЕРИСТИКА, КОНТАКТОР, ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОТИДІЇ, ПРУЖИНА, ЕЛЕКТРОМАГНІТ

						Лист
					7.141.190049.ПЗ	6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 ФАКТОРИ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА НАДІЙНІСТЬ РОБОТИ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО КОНТАКТОРА ТИПУ МК-310Б.....	10
1.1 Електромагнітний контактор типу МК-310Б.....	10
1.2 Аналіз надійності контактору МК-310Б з урахуванням специфіки умов експлуатації.....	12
1.3 Характеристики контактору МК-310Б та їх узгодженість	14
1.4 Напрямки підвищення надійності електромагнітних контакторів рухомого складу залізниць.....	18
РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ СТАТИСТИКИ ЩОДО ВІДХИЛЕННЯ ПАРАМЕТРІВ КОНТАКТОРА МК-310Б.....	19
2.1. Математична статистика та теорія ймовірностей в технічних задачах.....	19
2.2. Статистичні дані по відхиленню параметра-аргумента $\delta_{кр}$ функції Q_m	25
2.3. Статистичні дані по відхиленню параметрів для характеристики протидії контактора	26
РОЗДІЛ 3 МАТЕМАТИЧНЕ ОЧІКУВАННЯ, ДИСПЕРСІЯ, СЕРЕДНЬОКВАДРАТИЧНЕ ВІДХИЛЕННЯ ПАРАМЕТРІВ-АРГУМЕНТІВ ФУНКЦІЙ Q_m І $Q'_п$.....	31
3.1 Числові характеристики випадкової величини $\delta_{кр}$	32
3.2 Числові характеристики випадкових величин $S_{п.в.}$, K , $S_{п.к.}$, ΔX_k	36
3.3 Оцінка стабільності характеристик контактора типу МК-310Б.....	49
РОЗДІЛ 4 ПИТАННЯ БЕЗПЕКИ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ЩО ПОВ'ЯЗАНІ З ЕКСПЛУАТАЦІЄЮ ТА РЕМОНТОМ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ КОНТАКТОРІВ.....	52
4.1 Види небезпек, що пов'язані з електрикою	52
4.2 Захисні властивості та захищеність електричної апаратури	53
4.3 Техніка безпеки при ремонті електричних апаратів.....	55
ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ	57
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	59
СПИСОК ГРАФІЧНИХ РОБІТ	61
ДОДАТОК А	62

					Пояснювальна записка									
					Дослідження впливу величини повітряного зазору на характеристики електричного апарата									
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		Літ.	Маса	Масштаб						
Розробив		Листопадов М.І.						1:1						
Перевірив		Маренич О.Л.												
Т. контр.						Арк. 7		Аркушів 60						
Реценз.					7.141.190049.ПЗ									
Н. контр.		Карзова О.О.								Український державний університет науки і технологій, група ЕЕ2321				
Затвердив		Муха А.М.												

ВСТУП

Сталий економічний розвиток країни, рівень політичної та соціальної інтеграції в Європейський простір залежать від наявності ефективних транспортних систем, які здатні забезпечити стабільне економічне і соціальне зростання [1, 2]. Залізниці України, як складова транспортної системи країни, мають значний потенціал однак аби його реалізувати необхідно сконцентрувати зусилля на підвищення якості послуг, надійності рухомого складу та безпеки перевезень. Однією з проблем, що потребує вирішення є невідповідність стану існуючого парку рухомого складу сучасним вимогам. Логічним кроком по її вирішенню було б повне оновлення рухомого складу але такий підхід потребує значних і одномоментних капіталовкладень. Тому більш реальною бачиться стратегія поступового оновлення рухомого складу в поєднанні з модернізацією існуючого обладнання та підходів до його ремонту і утримання з метою підвищення його експлуатаційної надійності, безпеки і т. д.

Надійність рухомого складу визначається надійністю його окремих вузлів і механізмів. Відповідно забезпечення надійної роботи силового комутаційного обладнання рухомого складу є актуальною задачею і дотепер.

В допоміжних електричних колах та колах керування рухомого складу залізниць застосовується значна кількість різнотипних комутаційних апаратів (реле, контактори, перемикачі і т. д.). На електровозах ВЛ10, ВЛ11, ВЛ8 для вмикання і вимикання допоміжних електричних машин застосовуються контактори типу МК-310Б, в електричних колах опалення кабін машиністів – контактор типу МК-15, для автоматичного шунтування пускових резисторів в колі живлення вентиляторів (на етапі пуску) – контактори типу МКП-23 [3].

В електропоїздах постійного струму EP2, EP22 для комутації електричних кіл допоміжних машин (компресор, вентилятор), опалення та передачі напруги на причіпний вагон використовують високовольтні електромагнітні контактори типу КМВ-104А, КМВ-105А, а для комутації електричних кіл низької напруги значної потужності та індуктивності – контактор типу КМЗ-Е [3].

					7.141.190049.ПЗ	Лист
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У разі відмови комутаційного обладнання створюються передумови до невиконання (часткового чи повного) рухомим складом своїх функцій. Таким чином, дослідження можливих причин відмови контакторів є важливою задачею, що направлена на збереження надійності рухомого складу залізниць.

Серед ряду причин, що можуть приводити до передчасної відмови комутаційного електрообладнання є неповна перевірка характеристик і параметрів електромагнітних контакторів після їх ремонту на відповідність нормативним показникам, оскільки це не регламентується в правилах ремонту [4, 5].

Враховуючи вищевикладене в рамках роботи стоїть задача оцінити вплив величини критичного зазору, а точніше його відхилення від нормативного значення, на характеристики електромагнітного контактора типу МК-310Б.

					7.141.190049.ПЗ	Лист
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1
ФАКТОРИ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА НАДІЙНІСТЬ РОБОТИ
ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО КОНТАКТОРА ТИПУ МК-310Б

1.1 Електромагнітний контактор типу МК-310Б

Для комутації електричних кіл рухомого складу (електровози, тепловози, електропоїзди, пасажирські вагони та ін.) застосовують тягові електромагнітні контактори (ТЕК), які відповідають вимогам ДСТУ 2773-94 [6].

Електромагнітний контактор типу МК-310Б призначений для вмикання вимикання допоміжних електромашин електровоза. Технічні дані МК-310Б-34 наведено в табл. 1 [7].

Таблиця 1 – Технічні дані електромагнітного контактора МК-310Б-34

Номинальна напруга в силовому колі, В	3000
Номинальний струм контактора, А	25
Номинальна напруга кола керування, В	50
Номинальний струм блокувальних контактів, А	5
Номинальний струм котушки вимикання, А	0,65
Величина розриву контактів, мм	30...34
Величина провалу контактів, мм	7...9
Початкове натискання контактів, кгс/см ²	0,78...1,27
Кінцеве натискання контактів, кгс/см ²	1,76...2,65
Контактор повинен вмикатись при нарузі на затискачах котушки увімкнення, В	30
Жорсткість пружини вимикання, Н/мм	1
Жорсткість пружини притирання (контактної), Н/мм	3,24
Маса, кг	28,4

Усі вузли контактора МК-310Б (рис. 1) зібрані на ярмі (9), яке виконує роль рами і на ізоляційних планках (5) і (13), які гальванічно розділяють високовольтну і низьковольтну частини контактора. Між сталених полос (9) через шарнір закріплений якір (11) з ізолюваною тягою (10), яка на верхній частині має рухоми

систему до якої входить рухомий контакт (2), пружина притирання (3) та гнучкий шунт. Пружина вимикання (6) однією стороною впирається в хвіст ізоляційного важеля, а іншою – в переборку, яка встановлена між ізоляційних стінок (5). Між цих стінок розташовано місток (7), а також нерухомий вивід блок-контактів (8). На ізольованій стойці (13) закріплено дугогасний риг (15) з нерухомим контактом (1) і дугогасною котушкою (14).

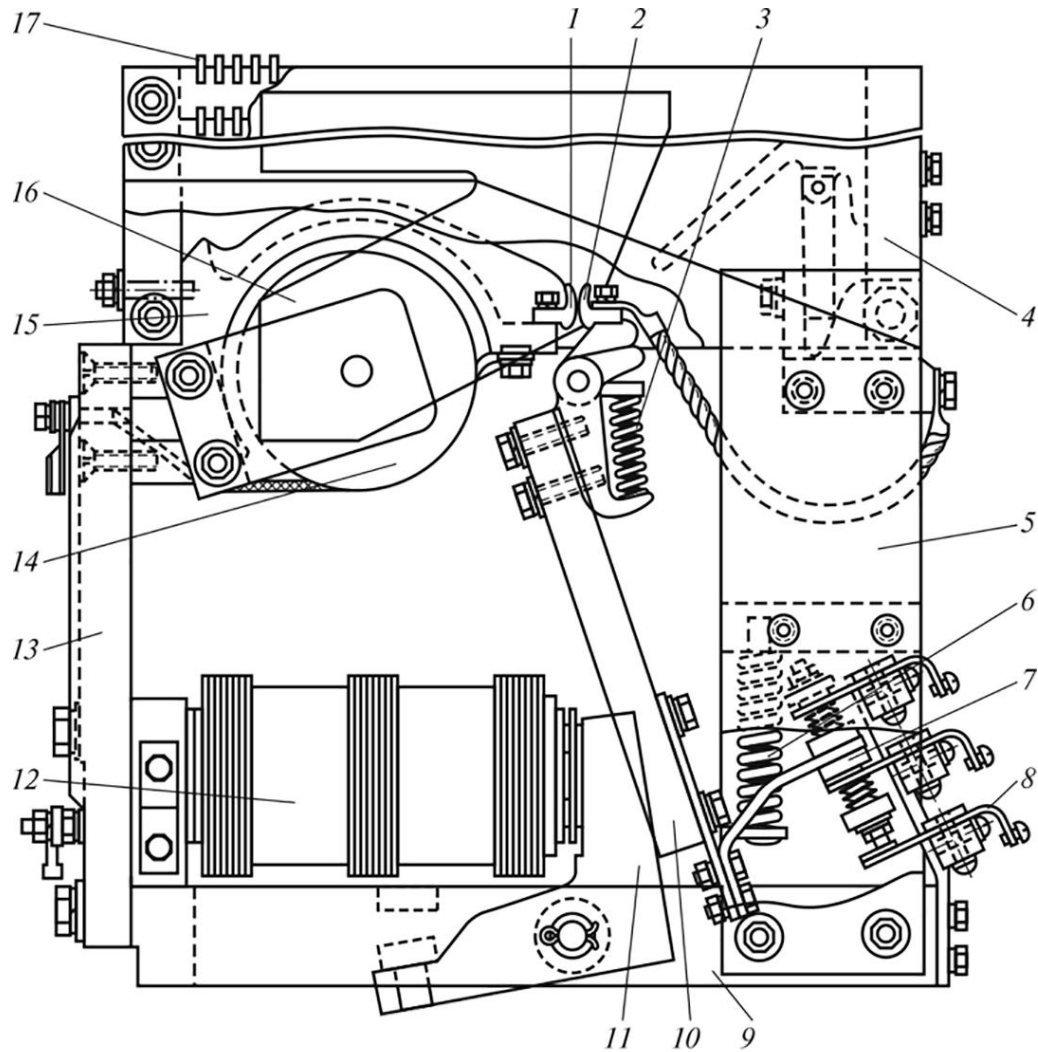


Рисунок 1 – Електромагнітний контактор типу МК-310Б-34

Дугогасна камера (4) щільного типу і складається з двох азбестоцементних стінок та двох азбестоцементних переборок, які скріплено болтами. У верхній частині цієї камери знаходяться решітки (17), виконують роль деіонізатора, а по бокам – сталеві полюси (16) для підведення магнітного потоку в зону гасіння електричної дуги. Всередині камери знаходиться другий дугогасний риг. Магнітний

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

потік котушки виносить дугу по дугогасним рогам в верхню зону камери де решітка (17) сприяє швидкому її гасінню [8].

Контактор **вмикається** за умови подачі напруги на котушку (12). В цьому випадку якір (11) разом з ізолюваною тягою (10) притягається до сердечника котушки стискаючи при цьому пружину вимикання (6) і замикаючи рухомий контакт з нерухомим. В процесі вмикання за допомогою пружини (3) відбувається притирання контактів. **Вимкнення** контактора відбувається через розмикання електричного кола живлення котушки вмикання (12), якір (11) повертається у вихідне положення під дією зусилля пружини вимикання (6) та власної ваги.

1.2 Аналіз надійності контактору МК-310Б з урахуванням специфіки умов експлуатації

Електромагнітний контактор типу МК-310Б має електромагніт клапанного типу із замкненим магнітопроводом та якорем, що обертається навколо власної осі на кут менше 30° (рис. 2). За такого кута повороту якоря можна вважати його рух поступальним прямолінійним [9].

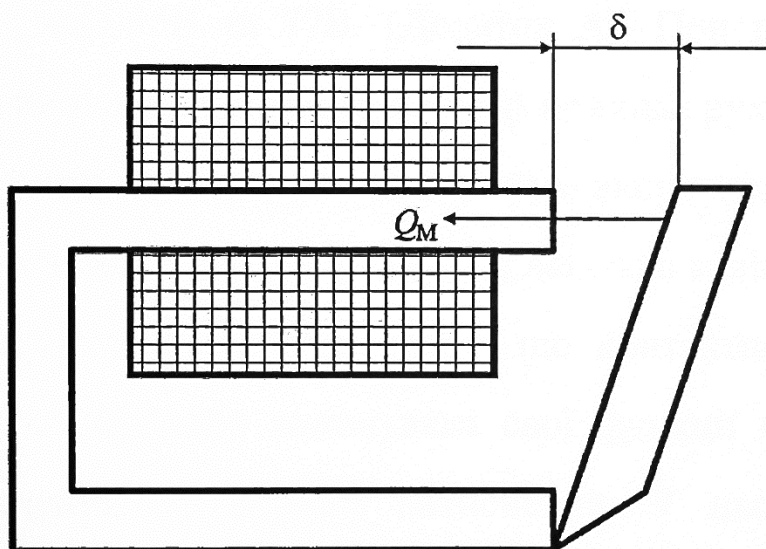


Рисунок 2 – Схема електромагнітного приводу клапанного типу контактора типу МК-310Б

Така магнітна система (рис. 2) в розімкненому стані потребує відносно великої магніторушійної сили для формування потоку у системі з значним опором повітряного проміжку δ .

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Відхилення параметрів елементів приводу електромагнітного контактора від їх номінальних альбомних значень впливають на вид і взаємне розташування характеристик, що здатне суттєво погіршити показники надійності [3]. Так, пружина блокування контактора МК-310Б має довжину $14,6_{-0,5}^{+1}$ мм, пружина притирання – $50,5 \pm 0,5$ мм; відхилення від співвісності зменшує площу перерізу повітряного зазору; при нагріванні опір котушок збільшується та ін. [3].

Так на практиці зустрічається ситуація, коли після дотикання силових контактів рух якоря припиняється але між якорем та осердям залишається повітряний зазор – неповне вмикання. В такому випадку пружина притирання (контактна пружина) не повністю виконує свою функцію по притиранню контактів та забезпеченню потрібно натиснення. Оскільки контактор знаходиться на борту транспортного засобу, то в результаті вібрації, бокової та повздожньої качки рухомого складу якір з рухомим контактом може короткочасно відриватись від нерухомого. Звісно, зменшення зусилля натиснення призводить до зростання перехідного контактного опору і як наслідок до зменшення надійності вузла, через негативні теплові процеси. Через збільшення значення перехідного опору контактів r_k зростає енергія втрат $A_{втр}$ у контактному з'єднанні. Величину енергії втрат за деякий час t при струмі I можна оцінити за виразом:

$$A_{втр} = \int_0^t I^2 \cdot r_k dt. \quad (1)$$

Якщо ж припустити, що після виконання ремонту усі його параметри були доведені до норми, то за час між ремонтами на надійну роботу ТЕК можуть вплинути не тільки явища, пов'язані з інтенсивністю його спрацювань, а й такі, що визначаються тривалою дією вібрацій, кліматичними умовами, старінням (наприклад, старінням сталі магнітопроводу).

В значній мірі компенсувати дію розглянутих факторів можна за рахунок відповідного співвідношення між тяговою характеристикою та характеристикою протидії контактора.

					7.141.190049.ПЗ	Лист
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.3 Характеристики контактора МК-310Б та їх узгодженість

Залежність сили електромагніту контактора Q_m від повітряного зазору δ між якорем та ярмом за умови незмінності магніторушійної сили називають статичною характеристикою електромагніту контактора [8, 10]. Якщо вважати струм в котушці електромагніту незмінним, знехтувати електричними перехідними процесами та магнітним опором магнітопроводу, враховувати тільки опір повітряного зазору, то [9, 11]:

$$Q_m = 0,5 \cdot \mu_0 \cdot S_\delta \cdot \left(\frac{F}{\delta}\right)^2, \quad (3)$$

де $\mu_0 = 1,256 \cdot 10^{-6}$ Гн/м – магнітна проникність повітряного зазору;

S_δ – площа поперечного перерізу повітряного зазору;

F – магніторушійна сила котушки електромагніту;

δ – величина повітряного зазору.

Магніторушійна сила електромагніту:

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

де I – струм в котушці електромагніту;

U – напруга на котушці електромагніту;

R_k – активний опір котушки електромагніту;

Для визначення площі S_δ застосовують приблизну залежність, оскільки її значення залежить не тільки від конструкції контактора, а й від положення його якоря:

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

де S_T – площа торця осердя;

Підставляючи вирази (4) та (5) в формулу (3), отримаємо:

									Лист
									14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

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

Утворення силу протидії зручно проілюструвати рис. 3.

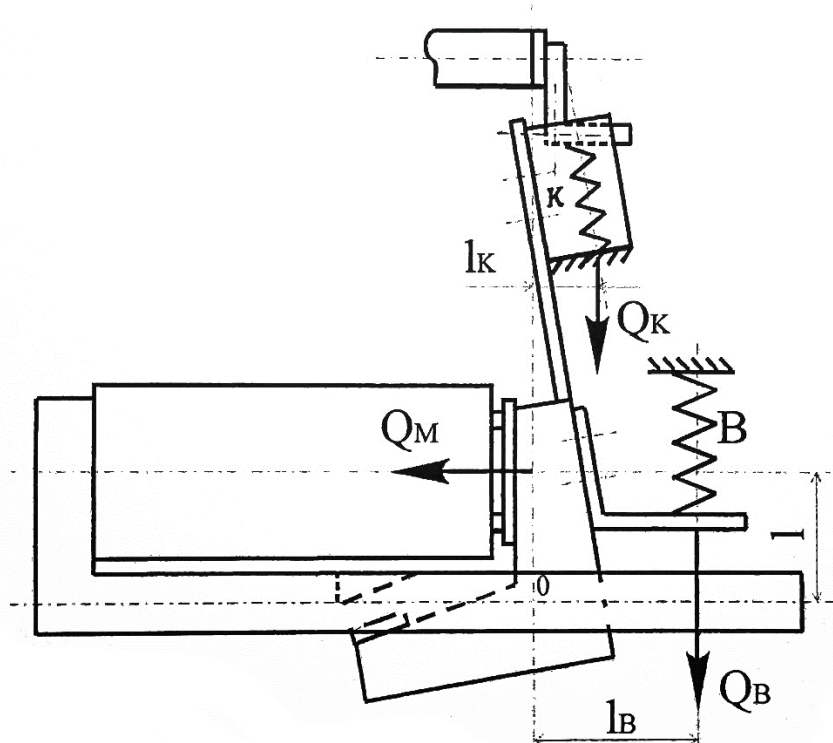


Рисунок 3 – Кінематична схема ТЕК клапанного типу

Сила протидії Q'_Π створюється пружинами (К – контактна або пружини притирання; В – пружина вимикання рис. 3) і складається із приведених до плеча l сили Q_M відносно осі повороту «О», ваги G рухомої частини контактора, сили Q_B пружини вимикання (визначається характеристикою пружини) та сили натиснення силових контактів Q_K (визначається стисненням контактної пружини після замикання контактів). Результуюча сила протидії Q'_Π , приведена до осі дії сили Q_M (точка «О» на рис. 3), визначається сумою моментів її складових, віднесених до плеча l . Згідно схеми рис. 3 та якщо знехтувати діє ваги якоря отримаємо:

$$Q'_\Pi = \frac{(Q_B \cdot l_B + Q_K \cdot l_K)}{l} = Q'_B + Q'_K, \quad (7)$$

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

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

l_b, l_k – відповідно плечі дії указаних сил відносно осі дії тяги Q_M .

Враховуючи вищенаведене на рис. 4 показані тягова характеристика $Q_M = f(\delta)$ та характеристика протидії $Q'_n = f(\delta)$.

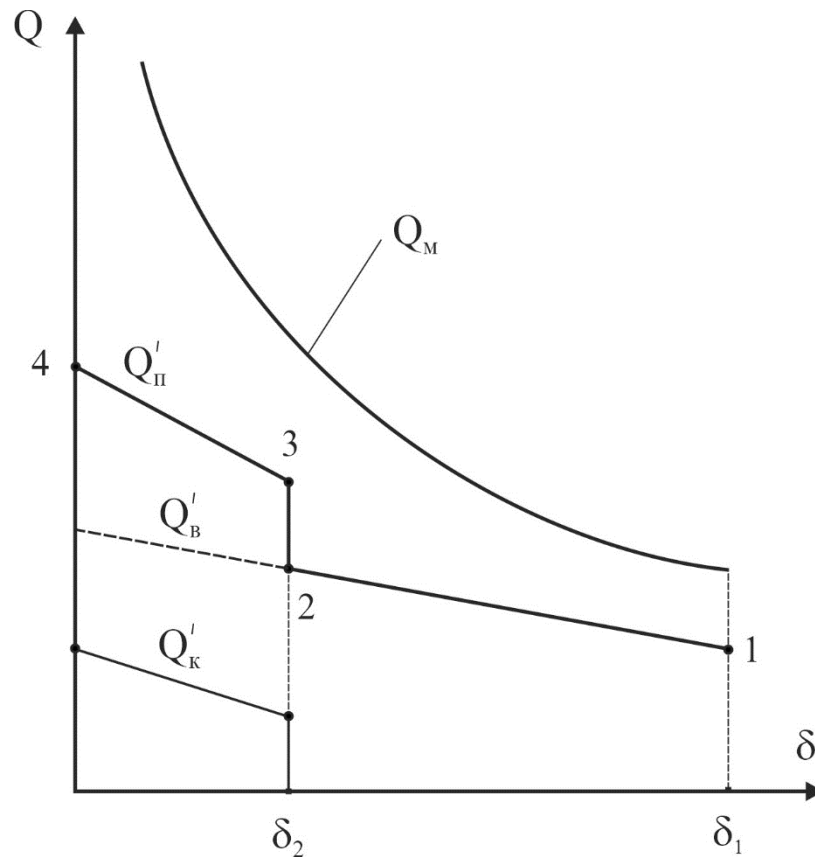


Рисунок 4 – Тягова та характеристика протидії електромагнітного контактора
($\delta_1 = \delta_{\text{відп}}$; $\delta_2 = \delta_{\text{кр}}$)

де $\delta_{\text{кр}}$ – значення критичного зазору між осердям та якорем у момент дотикання контактів.

Сила протидії Q'_n зображена ломаною 1-2-3-4 (рис. 4), для визначення співвідношення між силою протидії та тяговим зусиллям потрібно визначити значення Q'_n в точці 3.

В процесі руху якоря до моменту замикання силових контактів привод контактора долає лише силу, що створюється пружиною вимикання. Коли зазор зменшується до $\delta_2 = \delta_{\text{кр}}$ відбувається дотикання контактів один до одного і результуюча сила протидії миттєво зростає на величину значення початкової сили натиснення контактів Q'_k , яка визначається попереднім стисненням контактної пружини.

Рис. 4 дозволяє розглянути умови спрацювання контактора. Так, якщо характеристика $Q_M = f(\delta)$ (рис. 4), то привод почне спрацьовувати при $\delta < \delta_1$. При $\delta_2 = \delta_{кр}$ потрібно забезпечити певний коефіцієнт запасу.

Нестабільність параметрів контактора обумовлює нестабільність сили електромагнітного притягування, яка в ньому виникає Q_M і сили протидії Q_{II} , співвідношення між якими визначає працездатність контактора. В задачах оцінки стабільності будь-якого параметра, величини чи функції останні мають випадковий характер, тому подібні задачі вирішують вірогідно-статистичними методами [12], основою яких є відшукування дисперсії чи середньоквадратичного відхилення досліджуваного параметра, величини чи функції.

Умови узгодження тягової характеристики контактора з характеристикою протидії:

- Тягова сила повинна бути більшою за значенням ніж сила протидії.

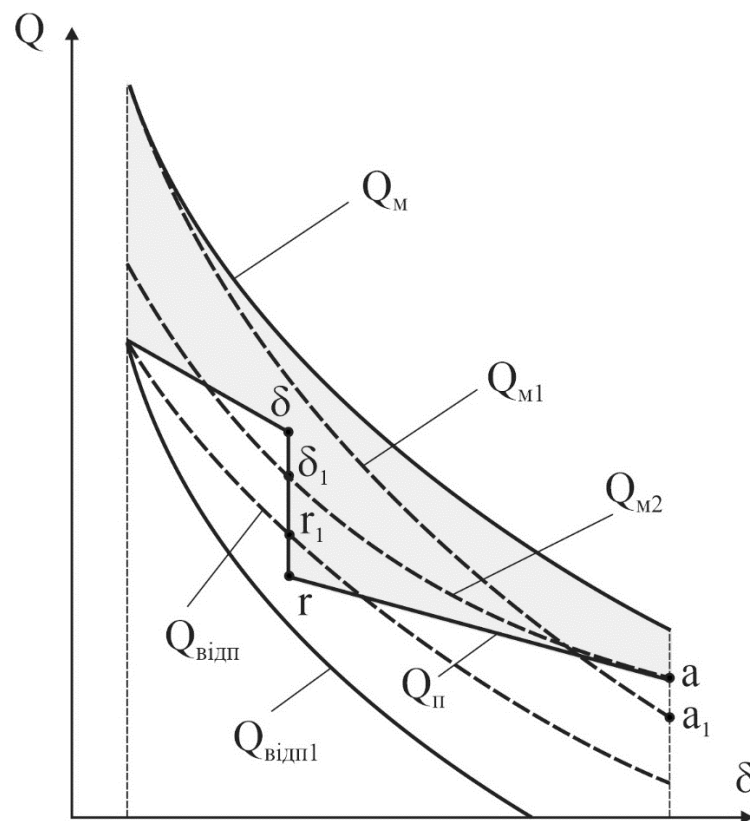


Рисунок 5 – Узгодження характеристик контактора (тягової та протидії)

Пояснення: на характеристиці Q_{M1} (рис. 5) контактор не увімкниться, так як за відпущеного якоря точка « a_1 » розташована нижче точки « a »; на

характеристиці Q_{m2} в момент дотикання контактів відбудеться затримка руху (точка « δ_1 » лежить нижче « δ ») і контакти можуть приваритись одне до одного.

- Мінімально можливі значення тягових сил (рис. 5) в положеннях рушання контактора (точка «а») і дотикання (точка « δ »), бажано мати рівними силам протидії у цих же точках.
- Максимальне значення тягової сили необхідно обмежувати аби різниця між тяговою силою і силою протидії не була значною і забезпечувала необхідну швидкість руху якоря.
- В процесі вимикання контактора при знижені тягової сили необхідно, щоб характеристика відпускання якоря $Q_{відп}$ (рис. 5) проходила нижче точки « r » характеристики, яка тепер (в момент відключення) виражає тягову силу (при включені ця сила була силою протидії).

Пояснення: якщо характеристика $Q_{відп}$ (рис. 5) буде перетинати пружинну характеристику у точці « r_1 », то розмикання контактів не відбудеться, оскільки внаслідок слабкого їх стискання вони можуть зваритись.

1.4 Напрямки підвищення надійності електромагнітних контакторів рухомого складу залізниць

З вищевикладеного матеріалу слідує, що реальні значення параметрів та характеристик контактора відрізняються від номінальних (розрахункових чи проектних), ці відмінності носять технологічний або експлуатаційний характер. Але так чи інакше, вони призводять до нестабільності сили електромагнітного притягування та сили протидії. Компенсувати дію вказаних факторів можна за рахунок відповідного співвідношення між тяговою характеристикою та характеристикою протидії контактора (при його налаштуванні). Ще одна можливість підвищення надійності ТЕК полягає у тому, що при захисті електричних кіл від надструмів (струмів короткого замикання) необхідно враховувати струм термічної стійкості контактора (в сучасних умовах не виконується).

					7.141.190049.ПЗ	Лист
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2

АНАЛІЗ СТАТИСТИКИ ЩОДО ВІДХИЛЕННЯ ПАРАМЕТРІВ КОНТАКТОРА МК-310Б

2.1. Математична статистика та теорія ймовірностей в технічних задачах

Відомо, що математична статистика є розділом математики, що базується на теорії ймовірностей і призначений для формулювання і доведення статистичних висновків про властивості ймовірнісного простору за результатами спостережень над відповідним стохастичним експериментом [13]. Причому висновок про ймовірнісний простір можна віднести до однієї з груп:

- висновок про кількісне значення деякої величини/параметра;
- якісний висновок про значення параметру чи іншу властивість ймовірнісного простору.

В зв'язку з цим задачі математичної статистики розбивають (умовно) на дві основні групи:

- задачі статистичного оцінювання, що дозволяють отримувати кількісні оцінки невідомих параметрів;
- задачі перевірки статистичних гіпотез, в яких встановлюються якісні властивості ймовірнісного простору.

Теорія ймовірностей виходить з того, що існує теоретично повністю визначений ймовірнісний простір на основі чого виводяться ті чи інші властивості випадкових величин. Однак застосування певної ймовірнісної моделі на практиці стикається з тією обставиною, що теоретичний/гіпотетичний розподіл випадкових величин невідомий. Тому необхідну інформацію щодо теоретичної ймовірності отримують з того ж таки стохастичного експерименту.

Випадкові величини і функції розподілу.

Випадковою величиною називають таку величину, яка в результаті експерименту прийме лише одне з можливих значень (наперед невідоме) і буде залежати від випадкових причин, які попередньо не можуть бути врахованими [14].

Випадкові величини можуть бути дискретними та неперервними.

									Лист
									19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	7.141.190049.ПЗ				

Дискретною випадковою величиною називають таку випадкову величину, яка приймає ізольовані числові значення із усіх можливих. Для будь-якої випадкової величини недостатньо відомостей про їх можливі значення. Потрібно знати ще ймовірність появи цих значень. Перелік всіх випадкових значень дискретної випадкової величини та їх відповідних ймовірностей називається закон розподілу дискретних випадкових величин [14].

Закон розподілу дискретних випадкових величин можна задати у наступні способи:

- табличний спосіб;
- графічний спосіб;
- аналітичний спосіб (найпоширеніші види дискретних розподілів: рівномірний, біноміальний, показниковий, геометричний).

Неперервною випадковою величиною називають таку величину, яка набуває всі свої можливі значення з деякого проміжку [13, 14].

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

Законом розподілу, або функцією розподілу, випадкової величини називають певне співвідношення, що встановлює зв'язок між можливими значеннями випадкової величини і відповідними їм значеннями ймовірностей.

Функція (закон) розподілу класифікуються наступним чином:

- інтегральна функція розподілу (така функція $F = f(x)$, яка визначає для кожного значення x ймовірність того, що випадкова величина X набуває значення, менше дійсного числа x);
- диференціальна функція розподілу (часто називають щільністю ймовірностей неперервної випадкової величини X , що є першою похідною від інтегральної функції);
- нормальний закон розподілу (закон Гауса);

									Лист
									20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	7.141.190049.ПЗ				

Цей закон найчастіше трапляється в практиці, особливо для технічних систем. Важливою його особливістю є те, що він є граничним законом, до якого прямують інші закони розподілу.

Нормальним законом розподілу деякої випадкової величини X , називають закон, диференціальна функція якого описується виразом [14]:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}}. \quad (8)$$

Фактично нормальний закон розподілу визначається двома параметрами: a і σ . Достатньо їх задати, щоб реалізувати нормальний закон розподілу.

Графік диференціальної функції нормального закону розподілу (рис. 6) називають нормальною кривою або кривою Гауса.

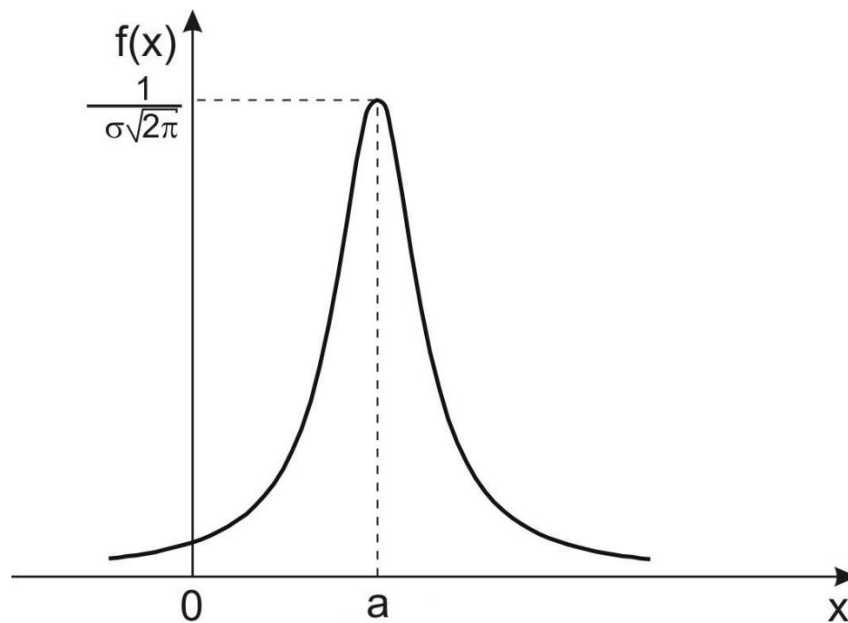


Рисунок 6 – Графік нормальної кривої

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 [14].

Широка розповсюдженість нормального закону пояснюється тим, що коли на випадкову величину впливає сума багатьох факторів, кожний з

яких впливає як завгодно мало, то випадкова величина має розподіл близький до нормального.

- розподіл Стьюдента;
- розподіл «хі-квадрат» χ^2 ;
- показниковий закон розподілу.

Випадкова величина і її розподіл характеризуються числовими характеристиками, до основних слід віднести:

- математичне сподівання;
- дисперсія;
- середнє квадратичне відхилення;
- мода;
- медіана.

Математичне сподівання $M(X)$ неперервної випадкової величини X , можливі значення якої попадають у відрізок $[a, b]$ [14]:

$$M(X) = \int_a^b x \cdot f(x) dx. \quad (9)$$

Дисперсія $D(X)$ неперервної випадкової величини, тобто якщо можливі значення належать відрізьку $[a, b]$ [14]:

$$D(X) = \int_a^b (X - M(X))^2 \cdot f(x) dx. \quad (10)$$

Вирази (10) у випадку дискретної випадкової величини прийме наступний вигляд [13, 14]:

$$D(X) = \int_a^b x^2 \cdot f(x) dx - (M(X))^2. \quad (11)$$

Середнє квадратичне відхилення (для дискретної і неперервної випадкової величини) [14]:

$$\sigma(X) = \sqrt{D(X)}. \quad (12)$$

При аналізі технічних систем досліджується певна сукупність об'єктів. В математичній статистиці виділяють:

- генеральні сукупність, що представляє уся сукупність об'єктів, які досліджуються;
- вибірка або вибіркова сукупність – це об'єкти, довільно або випадково вибрані з генеральної сукупності з метою їх дослідження;
- обсяг сукупності, що є кількістю об'єктів даної сукупності.

Існує декілька способів відбору статистичного матеріалу, найбільш поширеними є: простий випадковий відбір; типовий відбір; механічний відбір та серійний відбір. В практиці наведені способи можуть поєднуватись і комбінуватись у довільний спосіб.

Числові характеристики статистичного матеріалу.

В доповнення до табличних і графічних методів представлення даних обчислюють їх числові характеристики, найважливішими з яких є вибіркове середнє, дисперсія, середньоквадратичне відхилення. Числові характеристики, обчислені за вибіркою називаються статистиками.

Вибіркове середнє статистичного матеріалу представляє суму усіх значень вибірки, поділену на обсяг цієї вибірки [14]:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^m n_i \cdot x_i, \quad (13)$$

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, може набувати різних числових значень для різних вибірок однакового об'єму.

До структурних середніх відносять також моду і медіану.

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

Медіаною M_e називається варіанта, яка ділить варіаційний ряд на дві частині, що рівні за числом варіант.

									Лист
									23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				7.141.190049.ПЗ	

Вибіркова дисперсія – це середнє значення квадратів відхилення варіант від вибіркового середнього з урахуванням відповідних частотей [14]:

$$D_B = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^m n_i \cdot (x_i - \bar{x})^2. \quad (14)$$

Виправлена вибіркова дисперсія – це сума квадратів відхилень елементів від вибіркового середнього, що поділена на $(n - 1)$ [14]:

$$S^2 = \frac{n}{n-1} \cdot D_B = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^m n_i \cdot (x_i - \bar{x})^2. \quad (15)$$

Вибірковим середньоквадратичним відхиленням називають квадратний корінь із вибіркової дисперсії [14]:

$$\sigma_B = \sqrt{D_B}. \quad (16)$$

Статистичною оцінкою Θ' невідомого параметра Θ теоретичного розподілу називають функцію $f(X_1, X_2, \dots, X_n)$, де X_1, X_2, \dots, X_n – випадкові величини, що спостерігаються.

Точковою оцінкою називають статистичну оцінку, яка визначається одним числом $\Theta' = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$, де x_1, x_2, \dots, x_n – результати n спостережень над кількісною ознакою випадкової величини X . Таким чином, вибіркове середнє \bar{x} , вибіркова дисперсія D_B та вибіркове середньоквадратичне відхилення σ_B є точковими оцінками відповідних числових характеристик генеральної сукупності.

Точкові оцінки параметрів розподілу є випадковими величинами, їх вважають первинними результатами обробки вибірки, оскільки на цьому етапі невідомо з якою точністю кожна з них оцінює відповідну числову характеристику генеральної сукупності.

Якщо об'єм вибірки значний, то точкові оцінки задовольняють практичній потребі точності.

2.2. Статистичні дані по відхиленню параметра-аргумента $\delta_{кр}$ функції Q_M

Тягова сила Q_M електромагнітного контактора є наступною функцією [10, 11]:

$$Q_M = f(U, S_T, R_k, \delta_{кр}). \quad (17)$$

Статистичні дані параметра-аргумента $\delta_{кр}$ функції Q_M для контактора МК-310Б наведені в табл. 2 (ширина інтервалу $h=0,3$ мм).

Таблиця 2 – Статистичні дані для вибірки параметра-аргумента $\delta_{кр}$

Номер інтервалу i	Частковий інтервал $\delta_{крi} \dots \delta_{крi+1}$, мм	Сума частот варіант інтервалу, n_i
1	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

Кількість контакторів при спостереженні $n=30$

Близько третини контакторів не вмикаються повністю (результат аналізу статистики) – між якорем та осердям електромагніту залишався повітряний зазор $\delta_{кр}$ від 1,9 до 4,6 мм (табл. 2). Тобто, контактна пружина не виконує своїх функцій по забезпеченню потрібного натискання контактів та руйнуванню окисних плівок на їх робочих поверхнях. Ця обставина створює передумови до зростання перехідного контактного опору, а значить, до зниження працездатності контактної пари.

2.3. Статистичні дані по відхиленню параметрів для характеристики протидії контактора

В п. 1.3 розгорнуто роз'яснено, що електромагнітний привод контактора створює тягову силу Q_m , а сила протидії $Q'_п$ утворена двома пружинами – контактною (К) та вимикання (В). Пружинний елемент, а точніше, два пружинних елементи є обов'язковою складовою електромагнітного контактора типу МК-310Б.

Основною характеристикою будь-якої пружини є залежність $Q = f(\Delta X)$, де Q – зовнішня сила, що діє на пружину; ΔX – лінійна деформація пружини.

Вважають, що у контактора типу МК-310Б пружина має постійну характеристику, а значить для неї можна записати [3]:

$$Q_п = C_п \cdot \Delta X, \quad (18)$$

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

Чітко прослідковується зв'язок, який впливає з виразів для визначення сил, що діють в приводі контактора, між відхиленням параметрів елементів цього приводу та видом і взаємним розташуванням його характеристик.

Важливою є точка 3 рис. 4 з точки зору забезпечення необхідної величини коефіцієнту запасу, коли в механічній системі встановлюється критичний повітряний зазор між осердям та якорем електромагніту. Для характеристики 1-2-3 в точці 3 (рис. 4) величина $Q'_п$ буде визначатись наступним виразом (відповідно до формули (7)):

$$Q'_п = Q'_п(\delta_1) + \Delta Q'_в + \Delta Q'_к, \quad (19)$$

де $Q'_п(\delta_1) = Q_m(\delta_1) = A = const$ – сила тяги за умови, що $\delta = \delta_1 = \delta_{відп}$;

$\Delta Q'_в$ – приріст сили, що створюється пружиною вимикання, приведений до плеча l (рис. 4);

$\Delta Q'_к$ – приріст сили, що створюється контактною пружиною, приведений до плеча l (рис. 4).

Приріст сили, що створюється пружиною вимикання (виникає при зменшенні повітряного зазору від δ_1 до $\delta_2 = \delta_{кр}$), приведений до плеча l :

$$\Delta Q' = \frac{C_{п.в.} \cdot (\delta_1 - \delta_2) \cdot l_B}{l} = \frac{C_{п.в.} \cdot K \cdot l_B}{l}, \quad (20)$$

де $(\delta_1 - \delta_2) = K$ – різниця, що визначається геометричними параметрами повітряного зазору;

$C_{п.в.}$ – жорсткість пружини вимикання.

Приріст сили, що створюється контактною пружиною, приведений до плеча l :

$$\Delta Q' = \frac{C_{п.к.} \cdot \Delta X_K \cdot l_K}{l}, \quad (21)$$

де ΔX_K – початкове стиснення контактної пружини, до моменту дотикання головних контактів;

$C_{п.к.}$ – жорсткість контактної пружини.

З урахуванням виразів (20) та (21) формула (19) прийме наступний вигляд:

$$Q'_п = A + \frac{C_{п.в.} \cdot K \cdot l_B + C_{п.к.} \cdot \Delta X_K \cdot l_K}{l} \quad (22)$$

Фактично маємо функцію:

$$Q'_п = f(C_{п.в.}, K, C_{п.к.}, \Delta X_K), \quad (23)$$

тобто величина $Q'_п$ є функцією системи випадкових величин.

Статистичні дані аргументів-параметрів функції $Q'_п$ для контактора типу МК-310Б наведено в табл. 3, 4, 5, 6.

Параметри-аргументи $C_{п.в.}$, K , $C_{п.к.}$, ΔX_K збирались в рамках єдиного експерименту, тому як і для функції $Q'_м$:

- кількість контакторів, що спостерігались складала $n=30$ шт.
- крок рівновіддалених варіант h .
- сума частот варіант інтервалу n_i .

Таблиця 3 – Статистичні дані для вибірки параметра-аргумента $C_{п.в.}$, $h=0,008$ Н/мм

Номер інтервалу i	Частковий інтервал $C_{п.в.i} \dots C_{п.в.i+1}$, Н/мм	Сума частот варіант інтервалу, n_i
1	0,92...0,928	1
2	0,928...0,936	3
3	0,936...0,944	3
4	0,944...0,952	4
5	0,952...0,96	6
6	0,96...0,968	8
7	0,968...0,976	2
8	0,976...0,984	1
9	0,984...0,992	1
10	0,992...1	1

Таблиця 4 – Статистичні дані для вибірки параметра-аргумента K , $h=0,7$ мм

Номер інтервалу i	Частковий інтервал $K_i \dots K_{i+1}$, мм	Сума частот варіант інтервалу, n_i
1	4,9...5,6	1
2	5,6...6,3	1
3	6,3...7,0	3
4	7,0...7,7	5
5	7,7...8,4	7
6	8,4...9,1	6
7	9,1...9,8	4
8	9,8...10,5	2
9	10,5...11,2	1

Таблиця 5 – Статистичні дані для вибірки параметра-аргумента $C_{п.к.}$, $h=0,02$ Н/мм

Номер інтервалу i	Частковий інтервал $C_{п.к.i} \dots C_{п.к.i+1}$, Н/мм	Сума частот варіант інтервалу, n_i
1	3,04...3,06	1
2	3,06...3,08	1
3	3,08...3,1	3
4	3,1...3,12	3
5	3,12...3,14	8
6	3,14...3,16	7
7	3,16...3,18	2
8	3,18...3,2	2
9	3,2...3,22	2
10	3,22...3,24	1

Таблиця 6 – Статистичні дані для вибірки параметра-аргумента $\Delta X_{к}$, $h=0,2$ мм

Номер інтервалу i	Частковий інтервал $\Delta X_{кi} \dots \Delta X_{кi+1}$, мм	Сума частот варіант інтервалу, n_i
1	2,3...2,5	1
2	2,5...2,7	1
3	2,7...2,9	3
4	2,9...3,1	5
5	3,1...3,3	5
6	3,3...3,5	8
7	3,5...3,7	4
8	3,7...3,9	1
9	3,9...4,1	2

В п. 2.1 показано, що найбільш розповсюдженим на практиці законом розподілу є нормальний або закон Гауса, тому в роботі приймається припущення, що усі параметри-аргументи функцій Q_m і Q_n мають нормальний закон розподілу. Також відомо, що нормальний закон характеризується математичним очікуванням. Але тільки одна числова (кількісна) характеристика – положення центру групування – частково характеризує ступінь розкидання випадкової величини відносно центру.

Тому в якості додаткової числової характеристики, що буде характеризувати відхилення випадкової величини від її математичного очікування може бути прийнята дисперсія. Чим менша величина дисперсії, тим меншим є величина розсіювання випадкової величини відносно її математичного очікування. З іншого боку оцінювання випадкової величини дисперсією не так наочно, оскільки дисперсія має розмірність квадрату випадкової величини.

З метою отримання більш наочної і зручної форми представлення інформації застосуємо характеристику розсіювання значень випадкової величини, що матиме таку ж розмірність, що й сама випадкова величина. Такою характеристикою є середньоквадратичне відхилення випадкової величини (формула (16)).

					7.141.190049.ПЗ	Лист
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3
МАТЕМАТИЧНЕ ОЧІКУВАННЯ, ДИСПЕРСІЯ,
СЕРЕДНЬОКВАДРАТИЧНЕ ВІДХИЛЕННЯ ПАРАМЕТРІВ-АРГУМЕНТІВ
ФУНКЦІЙ Q_M І $Q'_П$

Для обрахування числових значень математичного очікування, дисперсії, середньоквадратичного відхилення усіх параметрів-аргументів функцій Q_M і $Q'_П$ застосовується методика висвітлена у [15].

Вибіркове середнє значення (математичне очікування) визначається за виразом:

$$\bar{x} = M_1 \cdot h + M_e, \quad (24)$$

де M_1 – умовний момент першого порядку (при використанні методу сум);

M_e – варіанта, яка ділить варіаційний ряд на дві частини, що рівні за числом варіант (як правило, відповідає $n_i = n_{i_{\max}}$).

Значення умовного моменту першого порядку визначається за виразом:

$$M_1 = \frac{d_1}{n}, \quad (25)$$

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

Значення дисперсії за методом сум визначається виразом:

$$D = [M_2 - M_1^2] \cdot h^2, \quad (26)$$

де M_2 – умовний момент другого порядку.

Значення умовного моменту другого порядку визначається за виразом:

$$M_2 = \frac{s_1 + 2 \cdot s_2}{n}, \quad (27)$$

де $s_1 = a_1 + b_1$;

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

					7.141.190049.ПЗ	Лист
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Асиметрія та ексцес емпіричного розподілу відповідно визначається за наступним виразами:

$$a_{si} = \frac{m_3}{\sigma_i^3} = \frac{[M_3 - 3 \cdot M_1 \cdot M_2 + 2 \cdot M_1^3] \cdot h^3}{\sigma_i^3}, \quad (28)$$

$$a_{ki} = \frac{m_4}{\sigma_i^4} = \frac{[M_4 - 4 \cdot M_1 \cdot M_3 + 6 \cdot M_1^2 \cdot M_2 - 3 \cdot M_1^4] \cdot h^4}{\sigma_i^4}, \quad (29)$$

де σ_i – вибіркове середнє квадратичне відхилення для конкретної i -тої величини;

M_3, M_4 – умовний момент третього та відповідно четвертого порядку.

Значення умовного моменту третього та відповідно четвертого порядку визначається за виразами:

$$M_3 = \frac{d_1 + 6 \cdot d_2 + 6 \cdot d_3}{n}, \quad (30)$$

$$M_4 = \frac{s_1 + 14 \cdot s_2 + 36 \cdot s_3 + 24 \cdot s_4}{n}, \quad (31)$$

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).

Таким чином, однією з задач є визначення (обрахування) коефіцієнтів $a_1, b_1, a_2, b_2, a_3, b_3, a_4, b_4$.

3.1 Числові характеристики випадкової величини $\delta_{кр}$

В табл. 7 зведені результати визначення числових характеристик для величини критичного повітряного зазору $\delta_{кр}$ з метою підтвердження припущення про розподіл $\delta_{кр}$ за нормальним законом.

Для табл. 7 n_i – це кількість контакторів, що надійно повністю вмикались за даного значення $\delta_{кри}$.

Крок рівновіддалених варіант $h=0,3$ мм (ширина інтервалу).

					7.141.190049.ПЗ	Лист
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 7 – Результати визначення числових характеристик $\delta_{кр}$

1	2	3	4	5	6
$\delta_{кpi}$	n_i	$b_1 = 29$	$b_2 = 20$	$b_3 = 7$	$b_4 = 1$
2,2	1	1	1	1	1
2,5	3	4	5	6	0
2,8	5	10	14	0	0
3,1	5	14	0	0	0
3,4	10	0	0	0	0
3,7	2	6	0	0	0
4,0	2	4	7	0	0
4,3	1	2	3	4	0
4,6	1	1	1	1	1
	$n=30$	$a_1 = 13$	$a_2 = 11$	$a_3 = 5$	$a_4 = 1$

Розрахунок значень коефіцієнтів d_1, d_2, d_3 :

$$d_1 = a_1 - b_1 = 13 - 29 = -16;$$

$$d_2 = a_2 - b_2 = 11 - 20 = -9;$$

$$d_3 = a_3 - b_3 = 5 - 7 = -2.$$

Розрахунок значень коефіцієнтів s_1, s_2, s_3, s_4 :

$$s_1 = a_1 + b_1 = 13 + 29 = 42;$$

$$s_2 = a_2 + b_2 = 11 + 20 = 31;$$

$$s_3 = a_3 + b_3 = 5 + 7 = 12;$$

$$s_4 = a_4 + b_4 = 1 + 1 = 2.$$

Розрахунок умовних моментів M_1, M_2, M_3, M_4 за формулами відповідно (25), (27), (30) та (31):

$$M_1 = \frac{d_1}{n} = \frac{-16}{30} = -0,533;$$

$$M_2 = \frac{s_1 + 2 \cdot s_2}{n} = \frac{42 + 2 \cdot 31}{30} = 3,467;$$

$$M_3 = \frac{d_1 + 6 \cdot d_2 + 6 \cdot d_3}{n} = \frac{-16 + 6 \cdot (-9) + 6 \cdot (-2)}{30} = -2,733;$$

$$M_4 = \frac{s_1 + 14 \cdot s_2 + 36 \cdot s_3 + 24 \cdot s_4}{n} = \frac{42 + 14 \cdot 31 + 36 \cdot 12 + 24 \cdot 2}{30} = 31,867.$$

Вибіркове середнє значення (математичне очікування) параметра-аргумента $\delta_{\text{кр}}$ визначається за виразом (24), $M_e = 3,4$ (з табл. 7):

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

Значення дисперсії для параметра-аргумента $\delta_{\text{кр}}$ визначається за виразом (26):

$$D_{\delta_{\text{кр}}} = [M_2 - M_1^2] \cdot h^2 = [3,467 - (-0,533)^2] \cdot 0,3^2 = 0,286.$$

Значення вибіркового середньоквадратичного відхилення визначається за формулою (16):

$$\sigma_{\text{в}\delta_{\text{кр}}} = \sqrt{D_{\text{в}\delta_{\text{кр}}}} = \sqrt{0,286} = 0,535.$$

Значення асиметрії та ексцесу визначаються відповідно за формулами (28) і (29):

$$a_{s\delta_{\text{кр}}} = \frac{[(-2,733) - 3 \cdot (-0,533) \cdot 3,467 + 2 \cdot (-0,533)^3] \cdot 0,3^3}{0,535^3} = 0,438$$

$$a_{k\delta_{\text{кр}}} = \frac{[31,867 - 4 \cdot (-0,533) \cdot (-2,733) + 6 \cdot (-0,533)^2 \cdot 3,467 - 3 \cdot (-0,533)^4] \cdot 0,3^4}{0,535^4} = 3,136$$

Підтвердження припущення про нормальний закон розподілення параметра-аргумента $\delta_{\text{кр}}$ проводиться за допомогою критерія Пірсона. З цією метою обчислюються теоретичні частоти n'_i :

$$n'_i = \frac{n \cdot h}{\sigma_{\text{в}}} \cdot \varphi(u_i), \quad (32)$$

n'_i для $\delta_{\text{кр}}$ обчислюються за формулою (32), а результати заносяться до табл. 8:

$$n'_i = \frac{n \cdot h}{\sigma_{\text{в}\delta_{\text{кр}}}} \cdot \varphi(u_i) = \frac{30 \cdot 0,3}{0,535} \cdot \varphi(u_i) = 16,82 \cdot \varphi(u_i).$$

Таблиця 8 – Теоретичні частоти n'_i параметра-аргумента $\delta_{кр}$

i	$\delta_{кр i}$, мм	$u = \frac{\delta_{кр i} - \bar{\delta}_{кр}}{\sigma_{\delta_{кр}}}$	$\varphi(u_i)$	$n'_i = 16,82 \cdot \varphi(u_i)$
1	2,2	-1,944	0,062	1,043
2	2,5	-1,383	0,1561	2,63
3	2,8	-0,822	0,2874	4,83
4	3,1	-0,262	0,3857	6,5
5	3,4	0,299	0,3814	6,42
6	3,7	0,86	0,278	4,676
7	4,0	1,42	0,145	2,44
8	4,3	1,98	0,053	0,89
9	4,6	2,54	0,012	0,2

Критерій λ_c^2 , що спостерігається, для параметра $\delta_{кр}$ зведено в табл. 9.

Таблиця 9 – Критерій ($\lambda_c^2 = \sum \frac{(n_i - n'_i)^2}{n'_i}$) Пірсона, що спостерігається, для $\delta_{кр}$

i	n_i	n'_i	$(n_i - n'_i)^2$	$\frac{(n_i - n'_i)^2}{n'_i}$
1	1	1,043	0,00185	0,00177
2	3	2,63	0,1369	0,052
3	5	4,83	0,0289	0,006
4	5	6,5	2,25	0,346
5	10	6,42	12,82	1,996
6	2	4,676	7,16	1,53
7	2	2,44	0,1936	0,079
8	1	0,89	0,0121	0,0136
9	1	0,2	0,64	3,2
				$\lambda_c^2 = 7,22$

Коли застосовується критерій 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. 7 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 $\delta_{кр}$ – $\lambda_{кр}^2 = (0,05; 6) = 12,6$.

$\lambda_c^2 = 7,22 < \lambda_{кр}^2 = 12,6$ – припущення про нормальний закон розподілення параметра-аргумента $\delta_{кр}$ доведено.

3.2 Числові характеристики випадкових величин $C_{п.в.}$, K , $C_{п.к.}$, ΔX_k

Для підтвердження припущення про розподіл параметрів-аргументів $C_{п.в.}$, K , $C_{п.к.}$, ΔX_k за нормальним законом використовується аналогічний підхід застосований в п. 3.1 відносно величини критичного зазору.

В табл. 10 зведені результати визначення числових характеристик для випадкової величини жорсткості пружини вмикання $C_{п.в.}$.

Таблиця 10 – Результати визначення числових характеристик $C_{п.в.}$

1	2	3	4	5	6
$C_{п.в.}$	n_i	$b_1 = 38$	$b_2 = 36$	$b_3 = 23$	$b_4 = 7$
0,928	1	1	1	1	1
0,936	3	3	4	6	6
0,944	3	7	10	16	0
0,952	4	11	21	0	0
0,96	6	16	0	0	0
0,968	8	0	0	0	0
0,976	2	6	0	0	0
0,984	1	4	6	0	0
0,992	1	2	3	4	0
1	1	1	1	1	1
	$n=30$	$a_1 = 13$	$a_2 = 10$	$a_3 = 5$	$a_4 = 1$

Крок рівновіддалених варіант $h=0,008$ Н/мм (ширина інтервалу).

Розрахунок значень коефіцієнтів d_1, d_2, d_3 :

$$d_1 = a_1 - b_1 = 13 - 38 = -25;$$

$$d_2 = a_2 - b_2 = 10 - 36 = -26;$$

$$d_3 = a_3 - b_3 = 5 - 23 = -18.$$

Розрахунок значень коефіцієнтів s_1, s_2, s_3, s_4 :

$$s_1 = a_1 + b_1 = 13 + 38 = 51;$$

$$s_2 = a_2 + b_2 = 10 + 36 = 46;$$

$$s_3 = a_3 + b_3 = 5 + 23 = 28;$$

$$s_4 = a_4 + b_4 = 1 + 7 = 8.$$

Розрахунок умовних моментів M_1, M_2, M_3, M_4 за формулами відповідно (25), (27), (30) та (31):

$$M_1 = \frac{d_1}{n} = \frac{-25}{30} = -0,833;$$

$$M_2 = \frac{s_1 + 2 \cdot s_2}{n} = \frac{51 + 2 \cdot 46}{30} = 4,77;$$

$$M_3 = \frac{d_1 + 6 \cdot d_2 + 6 \cdot d_3}{n} = \frac{-25 + 6 \cdot (-26) + 6 \cdot (-18)}{30} = -9,63;$$

$$M_4 = \frac{s_1 + 14 \cdot s_2 + 36 \cdot s_3 + 24 \cdot s_4}{n} = \frac{51 + 14 \cdot 46 + 36 \cdot 28 + 24 \cdot 8}{30} = 63,17.$$

Вибіркове середнє значення (математичне очікування) параметра-аргумента $C_{п.в.}$ визначається за виразом (24), $M_e = 0,968$ (з табл. 10):

$$\bar{C}_{п.в.} = M_1 \cdot h + M_e = -0,833 \cdot 0,008 + 0,968 = 0,961 \text{ Н/мм.}$$

Значення дисперсії для параметра-аргумента $C_{п.в.}$ визначається за виразом (26):

$$D_{C_{п.в.}} = [M_2 - M_1^2] \cdot h^2 = [4,77 - (-0,833)^2] \cdot 0,008^2 = 0,00026.$$

Значення вибіркового середньоквадратичного відхилення визначається за формулою (16):

$$\sigma_{BC_{п.в.}} = \sqrt{D_{BC_{п.в.}}} = \sqrt{0,00026} = 0,016 \text{ Н/мм.}$$

										Лист
										37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

Значення асиметрії та ексцесу визначаються відповідно за формулами (28) і (29):

$$a_{sC_{п.в.}} = \frac{[M_3 - 3 \cdot M_1 \cdot M_2 + 2 \cdot M_1^3] \cdot h^3}{\sigma_{BC_{п.в.}}^3} =$$

$$= \frac{[(-9,63) - 3 \cdot (-0,833) \cdot 4,77 + 2 \cdot (-0,833)^3] \cdot 0,008^3}{0,016^3} = 0,142$$

$$a_{kC_{п.в.}} = \frac{[M_4 - 4 \cdot M_1 \cdot M_3 + 6 \cdot M_1^2 \cdot M_2 - 3 \cdot M_1^4] \cdot h^4}{\sigma_{BC_{п.в.}}^4} =$$

$$= \frac{[63,17 - 4 \cdot (-0,833) \cdot (-9,63) + 6 \cdot (-0,833)^2 \cdot 4,77 - 3 \cdot (-0,833)^4] \cdot 0,008^4}{0,016^4} =$$

$$= 3,02$$

Теоретичні частоти n'_i для $C_{п.в.}$ обчислюються за формулою (32), а результати заносяться до табл. 11:

$$n'_i = \frac{n \cdot h}{\sigma_{BC_{п.в.}}} \cdot \varphi(u_i) = \frac{30 \cdot 0,008}{0,016} \cdot \varphi(u_i) = 15 \cdot \varphi(u_i).$$

Таблиця 11 – Теоретичні частоти n'_i параметра-аргумента $C_{п.в.}$

i	$C_{п.в.i}, \text{ Н/мм}$	$u = \frac{C_{п.в.i} - \bar{C}_{п.в.}}{\sigma_{BC_{п.в.}}}$	$\varphi(u_i)$	$n'_i = 15 \cdot \varphi(u_i)$
1	0,928	-2,061	0,0478	0,717
2	0,936	-1,56	0,1127	1,6905
3	0,944	-1,06	0,2131	3,1965
4	0,952	-0,563	0,323	4,845
5	0,96	-0,0625	0,3925	5,8875
6	0,968	0,4375	0,3825	5,7375
7	0,976	0,9375	0,2989	4,4835
8	0,984	1,44	0,1849	2,7735
9	0,992	1,94	0,0925	1,3875
10	1	2,438	0,0371	0,5565

Критерій λ_c^2 , що спостерігається, для параметра $C_{п.в.}$ зведено в табл. 12.

Кількість ступенів свободи:

$$k = S - 1 - r = 9 - 1 - 2 = 6.$$

Таблиця 12 – Критерій ($\lambda_c^2 = \sum \frac{(n_i - n'_i)^2}{n'_i}$) Пірсона, що спостерігається, для $C_{п.в.}$

i	n_i	n'_i	$(n_i - n'_i)^2$	$\frac{(n_i - n'_i)^2}{n'_i}$
1	1	0,717	0,08	0,112
2	3	1,6905	1,7	1,014
3	3	3,1965	0,039	0,012
4	4	4,845	0,714	0,147
5	6	5,8875	0,013	0,002
6	8	5,7375	5,119	0,892
7	2	4,4835	6,168	1,38
8	1	2,7735	3,145	1,134
9	1	1,3875	0,15	0,108
10	1	0,5565	0,197	0,35
				$\lambda_c^2 = 5,151$

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

$\lambda_c^2 = 5,151 < \lambda_{кр}^2 = 12,6$ – припущення про нормальний закон розподілення параметра-аргумента $C_{п.в.}$ доведено.

В табл. 13 зведені результати визначення числових характеристик для випадкової величини жорсткості контактної пружини $C_{п.к.}$.

Таблиця 13 – Результати визначення числових характеристик $C_{п.к.}$

1	2	3	4	5	6
$C_{п.к.}$	n_i	$b_1 = 36$	$b_2 = 32$	$b_3 = 18$	$b_4 = 6$
3,06	1	1	1	1	1
3,08	1	2	3	4	5
3,1	3	6	9	13	0
3,12	3	10	19	0	0
3,14	8	17	0	0	0
3,16	7	0	0	0	0
3,18	2	9	0	0	0
3,2	2	5	11	0	0
3,22	2	3	4	5	0
3,24	1	1	1	1	1
	$n=30$	$a_1 = 18$	$a_2 = 16$	$a_3 = 6$	$a_4 = 1$

Крок рівновіддалених варіант $h=0,02$ Н/мм (ширина інтервалу).

Розрахунок значень коефіцієнтів d_1, d_2, d_3 :

$$d_1 = a_1 - b_1 = 18 - 36 = -18;$$

$$d_2 = a_2 - b_2 = 16 - 32 = -16;$$

$$d_3 = a_3 - b_3 = 6 - 18 = -12.$$

Розрахунок значень коефіцієнтів s_1, s_2, s_3, s_4 :

$$s_1 = a_1 + b_1 = 18 + 36 = 54;$$

$$s_2 = a_2 + b_2 = 16 + 32 = 48;$$

$$s_3 = a_3 + b_3 = 6 + 18 = 24;$$

$$s_4 = a_4 + b_4 = 1 + 6 = 7.$$

Розрахунок умовних моментів M_1, M_2, M_3, M_4 за формулами відповідно (25), (27), (30) та (31):

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

$$M_2 = \frac{s_1 + 2 \cdot s_2}{n} = \frac{54 + 2 \cdot 48}{30} = 5;$$

$$M_3 = \frac{d_1 + 6 \cdot d_2 + 6 \cdot d_3}{n} = \frac{-18 + 6 \cdot (-16) + 6 \cdot (-12)}{30} = -6,2;$$

$$M_4 = \frac{s_1 + 14 \cdot s_2 + 36 \cdot s_3 + 24 \cdot s_4}{n} = \frac{54 + 14 \cdot 48 + 36 \cdot 24 + 24 \cdot 7}{30} = 58,6.$$

Вибіркове середнє значення (математичне очікування) параметра-аргумента $C_{п.к.}$ визначається за виразом (24), $M_e = 3,16$ (з табл. 13):

$$\bar{C}_{п.к.} = M_1 \cdot h + M_e = -0,6 \cdot 0,02 + 3,16 = 3,148 \text{ Н/мм.}$$

Значення дисперсії для параметра-аргумента $C_{п.к.}$ визначається за виразом (26):

$$D_{C_{п.к.}} = [M_2 - M_1^2] \cdot h^2 = [5 - (-0,6)^2] \cdot 0,02^2 = 0,001856.$$

Значення вибіркового середньоквадратичного відхилення визначається за формулою (16):

$$\sigma_{BC_{п.к.}} = \sqrt{D_{BC_{п.к.}}} = \sqrt{0,001856} = 0,043.$$

Значення асиметрії та ексцесу визначаються відповідно за формулами (28) і (29):

$$a_{sC_{п.к.}} = \frac{[M_3 - 3 \cdot M_1 \cdot M_2 + 2 \cdot M_1^3] \cdot h^3}{\sigma_{BC_{п.к.}}^3} =$$

$$= \frac{[(-6,2) - 3 \cdot (-0,6) \cdot 5 + 2 \cdot (-0,6)^3] \cdot 0,02^3}{0,043^3} = 0,2384$$

$$a_{kC_{п.к.}} = \frac{[M_4 - 4 \cdot M_1 \cdot M_3 + 6 \cdot M_1^2 \cdot M_2 - 3 \cdot M_1^4] \cdot h^4}{\sigma_{BC_{п.к.}}^4} =$$

$$= \frac{[58,6 - 4 \cdot (-0,6) \cdot (-6,2) + 6 \cdot (-0,6)^2 \cdot 5 - 3 \cdot (-0,6)^4] \cdot 0,02^4}{0,043^4} =$$

$$= 2,534$$

Теоретичні частоти n'_i для $C_{п.к.}$ обчислюються за формулою (32), а результати заносяться до табл. 14:

$$n'_i = \frac{n \cdot h}{\sigma_{BC_{п.к.}}} \cdot \varphi(u_i) = \frac{30 \cdot 0,02}{0,043} \cdot \varphi(u_i) = 13,95 \cdot \varphi(u_i).$$

					7.141.190049.ПЗ	Лист
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 14 – Теоретичні частоти n'_i параметра-аргумента $C_{п.к.}$

i	$C_{п.к.i}$, Н/мм	$u = \frac{C_{п.к.i} - \bar{C}_{п.к.}}{\sigma_{вC_{п.к.}}}$	$\varphi(u_i)$	$n'_i = 13,95 \cdot \varphi(u_i)$
1	3,06	-2,05	0,0498	0,69
2	3,08	-1,58	0,1127	1,57
3	3,1	-1,116	0,2083	2,91
4	3,12	-0,65	0,3166	4,42
5	3,14	-0,186	0,3885	5,42
6	3,16	0,28	0,3885	5,42
7	3,18	0,744	0,3166	4,42
8	3,2	1,21	0,2083	2,91
9	3,22	1,67	0,1127	1,57
10	3,24	2,14	0,0498	0,69

Критерій λ_c^2 , що спостерігається, для параметра $C_{п.к.}$ зведено в табл. 15.

Таблиця 15 – Критерій Пірсона, що спостерігається, для $C_{п.к.}$

i	n_i	n'_i	$(n_i - n'_i)^2$	$\frac{(n_i - n'_i)^2}{n'_i}$
1	1	0,69	0,0961	0,14
2	1	1,57	0,3249	0,21
3	3	2,91	0,0081	0,003
4	3	4,42	2,02	0,456
5	8	5,42	6,66	1,228
6	7	5,42	2,496	0,461
7	2	4,42	5,86	1,32
8	2	2,91	0,83	0,28
9	2	1,57	0,185	0,12
10	1	0,69	0,096	0,14
				$\lambda_c^2 = 4,358$

Кількість ступенів свободи $k = S - 1 - r = 9 - 1 - 2 = 6$.

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

$\lambda_c^2 = 4,358 < \lambda_{кр}^2 = 12,6$ – припущення про нормальний закон розподілення параметра-аргумента $C_{п.к.}$ доведено.

В табл. 16 зведені результати визначення числових характеристик для випадкової величини $K = (\delta_1 - \delta_2)$ (різниця, що визначається геометричними параметрами повітряного зазору).

Таблиця 16 – Результати визначення числових характеристик K

1	2	3	4	5	6
K	n_i	$b_1 = 19$	$b_2 = 14$	$b_3 = 5$	$b_4 = 1$
5,6	1	1	1	1	1
6,3	1	2	3	4	0
7,0	3	6	10	0	0
7,7	5	10	0	0	0
8,4	7	0	0	0	0
9,1	6	14	0	0	0
9,8	4	7	10	0	0
10,5	2	3	4	5	0
11,2	1	1	1	1	1
	$n=30$	$a_1 = 25$	$a_2 = 15$	$a_3 = 6$	$a_4 = 1$

Крок рівновіддалених варіант $h=0,7$ мм (ширина інтервалу).

Розрахунок значень коефіцієнтів d_1, d_2, d_3 :

$$d_1 = a_1 - b_1 = 25 - 19 = 6;$$

$$d_2 = a_2 - b_2 = 15 - 14 = 1;$$

$$d_3 = a_3 - b_3 = 6 - 5 = 1.$$

Розрахунок значень коефіцієнтів s_1, s_2, s_3, s_4 :

$$s_1 = a_1 + b_1 = 25 + 19 = 44;$$

Таблиця 17 – Теоретичні частоти n'_i параметра-аргумента K

i	$K_i, \text{мм}$	$u = \frac{K_i - \bar{K}}{\sigma_{BK}}$	$\varphi(u_i)$	$n'_i = 16,41 \cdot \varphi(u_i)$
1	5,6	-2,297	0,13712	2,25
2	6,3	-1,75	0,13945	2,29
3	7,0	-1,2	0,3144	5,159
4	7,7	-0,66	0,1872	3,072
5	8,4	1,88	0,433	7,11
6	9,1	0,4375	0,183	3
7	9,8	0,98	0,23	3,77
8	10,5	1,53	0,12	1,97
9	11,2	2,078	0,021	0,345

Критерій λ_c^2 , що спостерігається, для параметра K зведено в табл. 18.

Таблиця 18 – Критерій Пірсона, що спостерігається, для K

i	n_i	n'_i	$(n_i - n'_i)^2$	$\frac{(n_i - n'_i)^2}{n'_i}$
1	1	2,25	1,56	0,69
2	1	2,29	1,664	0,73
3	3	5,159	4,66	0,9
4	5	3,072	3,72	1,2
5	7	7,11	0,0121	0,0017
6	6	3	9	3
7	4	3,77	0,053	0,014
8	2	1,97	0,0009	0,0005
9	1	0,345	0,43	1,24
				$\lambda_c^2 = 7,8$

Кількість ступенів свободи $k = S - 1 - r = 9 - 1 - 2 = 6$.

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

$\lambda_c^2 = 7,8 < \lambda_{кр}^2 = 12,6$ – припущення про нормальний закон розподілення параметра-аргумента K доведено.

В табл. 19 зведені результати визначення числових характеристик для випадкової величини ΔX_k (початкове стиснення контактної пружини, до моменту дотикання головних контактів).

Таблиця 19 – Результати визначення числових характеристик ΔX_k

1	2	3	4	5	6
ΔX_k	n_i	$b_1 = 16$	$b_2 = 13$	$b_3 = 5$	$b_4 = 1$
2,5	1	1	1	1	1
2,7	1	2	3	4	0
2,9	3	5	9	0	0
3,1	5	8	0	0	0
3,3	5	0	0	0	0
3,5	8	16	0	0	0
3,7	4	8	15	0	0
3,9	1	3	5	7	0
4,1	2	2	2	2	2
	$n=30$	$a_1 = 29$	$a_2 = 22$	$a_3 = 9$	$a_4 =$

Крок рівновіддалених варіант $h=0,2$ мм (ширина інтервалу).

Розрахунок значень коефіцієнтів d_1, d_2, d_3 :

$$d_1 = a_1 - b_1 = 29 - 16 = 13;$$

$$d_2 = a_2 - b_2 = 22 - 13 = 9;$$

$$d_3 = a_3 - b_3 = 9 - 5 = 4.$$

Розрахунок значень коефіцієнтів s_1, s_2, s_3, s_4 :

$$s_1 = a_1 + b_1 = 29 + 16 = 45;$$

$$s_2 = a_2 + b_2 = 22 + 13 = 35;$$

$$s_3 = a_3 + b_3 = 9 + 5 = 14;$$

$$s_4 = a_4 + b_4 = 2 + 1 = 3.$$

Розрахунок умовних моментів M_1, M_2, M_3, M_4 за формулами відповідно (25), (27), (30) та (31):

$$M_1 = \frac{d_1}{n} = \frac{13}{30} = 0,43; \quad M_2 = \frac{s_1 + 2 \cdot s_2}{n} = \frac{45 + 2 \cdot 35}{30} = 3,83;$$

$$M_3 = \frac{d_1 + 6 \cdot d_2 + 6 \cdot d_3}{n} = \frac{13 + 6 \cdot 9 + 6 \cdot 4}{30} = 3;$$

$$M_4 = \frac{s_1 + 14 \cdot s_2 + 36 \cdot s_3 + 24 \cdot s_4}{n} = \frac{45 + 14 \cdot 35 + 36 \cdot 14 + 24 \cdot 3}{30} = 37.$$

Вибіркове середнє значення (математичне очікування) параметра-аргумента ΔX_k визначається за виразом (24), $M_e = 3,3$ (з табл. 19):

$$\Delta \bar{X}_k = M_1 \cdot h + M_e = 0,43 \cdot 0,2 + 3,3 = 3,386 \text{ мм.}$$

Значення дисперсії для параметра-аргумента ΔX_k визначається за виразом (26):

$$D_{\Delta X_k} = [M_2 - M_1^2] \cdot h^2 = [3,83 - 0,43^2] \cdot 0,2^2 = 0,146.$$

Значення вибіркового середньоквадратичного відхилення визначається за формулою (16):

$$\sigma_{\Delta X_k} = \sqrt{D_{\Delta X_k}} = \sqrt{0,146} = 0,38.$$

Значення асиметрії та ексцесу визначаються відповідно за формулами (28) і (29):

$$a_{s\Delta X_k} = \frac{[3 - 3 \cdot 0,43 \cdot 3,83 + 2 \cdot 0,43^3] \cdot 0,2^3}{0,38^3} = -0,259$$

$$a_{kk} = \frac{[37 - 4 \cdot 0,43 \cdot 3 + 6 \cdot 0,43^2 \cdot 3,83 - 3 \cdot 0,43^4] \cdot 0,2^4}{0,38^4} = 2,76$$

Теоретичні частоти n'_i для ΔX_k обчислюються за формулою (32), а результати заносяться до табл. 20:

$$n'_i = \frac{n \cdot h}{\sigma_{BK}} \cdot \varphi(u_i) = \frac{30 \cdot 0,2}{0,38} \cdot \varphi(u_i) = 15,8 \cdot \varphi(u_i).$$

					7.141.190049.ПЗ	Лист
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 20 – Теоретичні частоти n'_i параметра-аргумента ΔX_k

i	ΔX_{ki} , мм	$u = \frac{\Delta X_{ki} - \Delta \bar{X}_k}{\sigma_{\Delta X_k}}$	$\varphi(u_i)$	$n'_i = 15,8 \cdot \varphi(u_i)$
1	2,5	-2,33	0,1709	2,7
2	2,7	-1,81	0,3166	5
3	2,9	-1,23	0,3555	5,62
4	3,1	-0,75	0,3836	6,06
5	3,3	-0,226	0,3977	6,3
6	3,5	0,3	0,3961	6,26
7	3,7	0,83	0,379	5,99
8	3,9	1,35	0,3485	5,51
9	4,1	1,88	0,32	5,1

Критерій λ_c^2 , що спостерігається, для параметра ΔX_k зведено в табл. 21.

Таблиця 21 – Критерій Пірсона, що спостерігається, для ΔX_k

i	n_i	n'_i	$(n_i - n'_i)^2$	$\frac{(n_i - n'_i)^2}{n'_i}$
1	1	2,7	2,89	1,07
2	1	5	16	3,2
3	3	5,62	6,86	1,22
4	5	6,06	1,12	0,185
5	5	6,3	1,69	0,27
6	8	6,26	3,028	0,48
7	4	5,99	3,96	0,66
8	1	5,51	20,3	3,6
9	2	5,1	9,61	1,88
				$\lambda_c^2 = 12,57$

Кількість ступенів свободи $k = S - 1 - r = 9 - 1 - 2 = 6$.

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

$\lambda_c^2 = 12,57 < \lambda_{кр}^2 = 12,6$ – припущення про нормальний закон розподілення параметра-аргумента ΔX_k доведено.

3.3 Оцінка стабільності характеристик контактора типу МК-310Б

Результати розрахунків математичного очікування та середньоквадратичного відхилення параметрів-аргументів $\delta_{кр}$, $C_{п.в.}$, K , $C_{п.к.}$, ΔX_k зведено та табл. 22.

Таблиця 22 – Математичне очікування та середньоквадратичне відхилення параметрів-аргументів $C_{п.в.}$, K , $C_{п.к.}$, ΔX_k для контактора типу МК-310Б

Параметр-аргумент	Вибіркове середнє значення параметра-аргумента \bar{x}	Вибіркове середньоквадратичне відхилення параметра-аргумента σ_i	Відношення $\frac{\sigma_i}{\bar{x}}$
$\delta_{кр}$, мм	3,24	0,535	0,165
$C_{п.в.}$, Н/мм	0,961	0,016	0,017
$C_{п.к.}$, Н/мм	3,148	0,043	0,014
K , мм	8,54	1,28	0,15
ΔX_k , мм	3,386	0,38	0,11

Згідно з табл. 22 найбільшим є значення відношення $\frac{\sigma_i}{\bar{x}}$ для:

- критичного повітряного зазору $\delta_{кр}$ функції Q_m – 16,5%;
- різниці, що визначається геометричними параметрами повітряного зазору $K = (\delta_1 - \delta_2)$ функції Q'_n – 15%.

Тобто, на відхилення в експлуатації тягової характеристики від її початкового положення найбільше впливає значення критичного повітряного зазору, а на відхилення характеристики протидії – значення $K = (\delta_1 - \delta_2)$.

У відповідності з методикою [15] дисперсія тягової сили:

$$D_{Q_m} = D\left[f(U, S_T, R_k, \delta_{кр})\right] = 92,85 + 0,165 + 13,31 + 307,09 + \\ + \frac{1}{2} \cdot (4,8 + 14,78 \cdot 10^{-12} + 0,11 + 73,78) + 0,004 + 1,2 + 7,89 + \\ + 0,0004 + 0,0145 + 1,22 = 472,879 \text{ Н}^2$$

згідно тієї ж методики вибіркове середнє значення (математичне очікування):

$$\sigma_{Q_m} = \sqrt{D_{Q_m}} = \sqrt{472,879} = 21,75 \text{ Н.}$$

Найбільша складова $D_{Q_m} - (307,09)$ викликана нестабільністю величини критичного повітряного зазору $\delta_{кр}$ контактора у процесі його експлуатації. Цей факт говорить, що при виконанні ремонтних робіт контакторів типу МК-310Б на цей параметр потрібно звертати увагу в першу чергу.

Результуюча сила протидії $Q'_п$ приведена до осі дії сили Q_m (точка О на рис. 3) обраховується як сума моментів її складових, віднесених до плеча l . Якщо розглядати стабільність $Q'_п$ то перш за все потрібно звернути увагу сили, що створюються пружинами вимикання $Q'_в$ та контактної $Q'_к$, бо їх жорсткість та геометричні параметри можуть змінюватись в процесі експлуатації.

Згідно з методикою [15] для ломаної 1-2-3 (рис. 4):

$$Q'_п = A + \frac{Q'_в \cdot l'_в}{l} + \frac{Q'_к \cdot l'_к}{l} = A + C_{п.в.} \cdot K \cdot \frac{l'_в}{l} + C_{п.к.} \cdot \Delta X'_к \cdot \frac{l'_к}{l} = A + Q'_в + Q'_к, \quad (33)$$

$$\left(C_{п.к.} \cdot \Delta X'_к \cdot \frac{l'_к}{l} = 0 \text{ за умови } \delta_{кр} < \delta \leq \delta_{відп} \right)$$

Таким чином, дисперсія D_{Q_m} характеристики протидії для контактора типу МК-310Б [15]:

$$D_{Q_m} = D\left[f(C_{п.в.}, K, C_{п.к.}, \Delta X'_к)\right] = \left(8,54 \cdot \frac{73}{63}\right)^2 \cdot 0,00026 + (0,961 \cdot 73)^2 \cdot 1,65 + \\ + \left(3,386 \cdot \frac{26}{63}\right)^2 \cdot 0,001856 + \left(3,148 \cdot \frac{26}{63}\right)^2 \cdot 0,146 = 0,028 + 2,1 + 0,0038 + 0,245 = \\ = 2,36 \text{ Н}^2$$

вибіркове середнє значення (математичне очікування):

										Лист
										50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

$$\sigma_{Q_n} = \sqrt{D_{Q_n}} = \sqrt{2,36} = 1,536 \text{ Н.}$$

Найбільша складова $D_{Q_n} - (2,1)$ викликана нестабільністю параметра-аргумента $K = (\delta_1 - \delta_2)$, $\delta_1 = \delta_{\text{відп}}$, $\delta_2 = \delta_{\text{кр}}$. Спостереження за контактором типу МК-310Б вказують на стабільність $\delta_{\text{відп}} = \text{const}$, тобто даний параметр не змінюється з часом після регулювання. Виходячи з цього можна говорити про те, що стабільність характеристики протидії, як і стабільність тягової характеристики залежать в основному від забезпечення стабільності величини критичного повітряного зазору.

					7.141.190049.ПЗ	Лист
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

РОЗДІЛ 4

ПИТАННЯ БЕЗПЕКИ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ЩО ПОВ'ЯЗАНІ З ЕКСПЛУАТАЦІЄЮ ТА РЕМОНТОМ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ КОНТАКТОРІВ.

4.1 Види небезпек, що пов'язані з електрикою

Використання електричної енергії пов'язане з небезпеками, які вона несе, тому потрібно створювати умови, за яких її застосування було б максимально безпечним. Ряд нормативних документів визначають поняття електробезпеки, в новітніх редакціях ПУЕ дане поняття має наступне формулювання [16]: «електробезпека – це відсутність загрози життю, здоров'ю та майну людей, тваринам, рослинам і довкіллю, яка перевищує допустимий ризик». Звідси слідує, що згубна дія електричної енергії передбачає як прямі, так і не прямі види небезпек [17].

До прямих небезпек відносять безпосередній вплив на людину або тварину, майно чи довкілля електричного струму, дуги, електромагнітного поля чи статичної електрики. До непрямих же небезпек відносять опосередкований вплив на ті ж суб'єкти тих же чинників, що і за прямих небезпек через пожежі, вибухи, хімічну чи радіаційну дію тощо. Як правило, прямі і непрямі електробезпеки виникають в результаті аварій. Практика експлуатації та ремонту електрообладнання показує, що найчастішими аварійними ситуаціями є:

- попадання всередину електрообладнання сторонніх предметів чи вологи (інших агресивних струмопровідних хімічних сполучень);
- пошкодження ізоляції (по різним причинам, наприклад, механічне руйнування через дію сторонніми предметами);
- руйнування електрообладнання чи його частин, вузлів надструмами (струми короткого замикання чи струми перевантаження);
- обриви провідників, кабелів та інше;

Відомо, що електричний струм проходячи через тіло, призводить до негативних теплових, біологічних, хімічних та інших наслідків [17, 18]. За біологічною дією

					7.141.190049.ПЗ	Лист
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

найбільш небезпечним є змінний струм, а за хімічною – постійний струм; теплова дія постійного і змінного струмів є практично однаковою [8].

Статистика уражень електричним струмом свідчить, що найбільш небезпечними і частими причинами уражень є прямі і непрямі дотики [8]. Прямим дотиком називають електричний контакт людини з активними частинами електрообладнання (та частина яка в процесі експлуатації має бути під напругою), а непрямим дотиком називають електричний контакт людини з відкритими струмопровідними частинами електроустановки, які опиняються під напругою в результаті аварійної ситуації.

Існує два способи захисту від прямих та непрямих дотиків [17, 18]:

- використання засобів, що покликані зменшити вірогідність проходження електричного струму через тіло людини (бар'єри, ізоляційні оболонки, гумові рукавички, боти, килимки, пристрої, що розділяють електрично кола, обладнання класу II стосовно захищеності від ураження);
- обмеження величини електричного струму, який може проходити через тіло людини, та часу проходження (захисні автомати (вимикання надструмів), засоби зрівняння потенціалів, апарати автоматичного вимикання при виникненні струмів витоку).

4.2 Захисні властивості та захищеність електричної апаратури

Контактор типу МК-310Б відноситься до класу електромеханічних апаратів з контактними комутаційними елементами. Апарати такого класу характеризуються незначним падінням напруги на замкнених контактах при проходженні через них робочого струму, а також забезпеченням роз'єднання та гарантовану (жорстку) операцію розмикання. Названі функції є надважливими з точки зору електробезпеки.

Функція роз'єднання полягає у перериванні живлення усїє або окремої частини електроустановки шляхом від'єднання її від будь-якого джерела живлення (створюється фізичний розрив у колі живлення). До комутаційного апарату, який забезпечує вищеназвану функцію висувається вимога, яка полягає у тому, що

					7.141.190049.ПЗ	Лист
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

апарат повинен витримувати певну імпульсну напругу (її величина залежить від номінальної напруги, або категорії перенапруги) та струми витоку.

В стандарті ІЕС 60947-1 наводяться значення номінальної імпульсної напруги, що має витримувати апарат в залежності від номінальної напруги мережі та категорії перенапруги. Випробування комутаційних апаратів на здатність витримувати імпульсну перенапругу полягає в перевірці відсутності електричних пробоїв після прикладання до певних частин контактора випробувальної імпульсної напруги. Схема випробувань представлена на рис. 7.

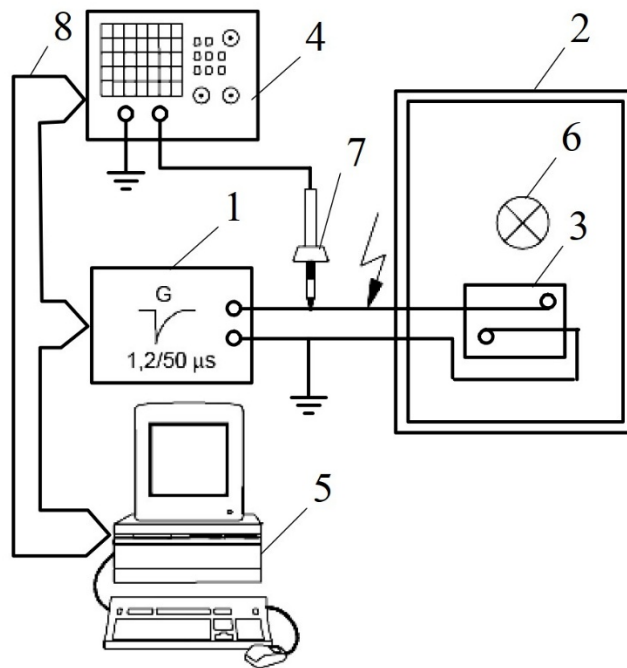


Рисунок 7 – Схема випробування контактора на здатність витримувати імпульсну перенапругу: 1 – генератор імпульсів; 2 – кліматична камера; 3 – контактор, що випробовують; 4 – осцилограф з пам'яттю; 5 – персональний комп'ютер; 6 – ультрафіолетове підсвічування; 7 – високовольтний щуп; 8 – шина даних

Комутаційна апаратура, що забезпечує функцію роз'єднання, має забезпечувати еквівалент основної ізоляції, тобто гарантувати такі ж ізоляційні властивості, як і основна ізоляція. Тобто, має забезпечуватись (за умови розімкнених контактів апарату) основних захист від ураження електричним струмом.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Стандарт з електробезпеки ІЕС 61140 регламентує перевірку здатності ізоляції контактора обмежувати струм дотику до рівня, що допустимий для людини.

Також для комутаційних апаратів з функцією роз'єднування стандарт ІЕС 60947-1 регламентує вимоги стосовно положення головних силових контактів. Так індикація положення силових контактів (замкнені чи розімкнені) повинна забезпечуватись в один із способів:

- положенням актуатора;
- окремим механічним індикатором (прапорець);
- видимістю рухомих контактів.

4.3 Техніка безпеки при ремонті електричних апаратів

Роботи по випробуванню та налагодження електричного, електромагнітного та механічного устаткування тягового контактора типу МК-310Б проводять відповідно до вимог правил експлуатації електроустановок споживачів, правил техніки безпеки при експлуатації електроустановок споживачів та технологічними процесами.

Перед початком ремонту електроустаткування контактора повинні бути знеструмлені всі силові електричні ланцюги, відключені вимикачі тягових електродвигунів, даховий роз'єднувач поставлений в положення «заземлено», випущене повітря і перекриті крани пневматичної системи електроапаратів рухомого складу. Крім того, при необхідності ремонту окремих апаратів, повинні бути вийняті запобіжники даної ділянки, передбачені конструкцією.

Зовнішні електричні мережі живлення переносних діагностичних приладів напругою понад 42 В змінного або 110 В постійного струму повинні бути обладнані захисним заземленням, зануленням чи пристроєм захисного відключення.

Стенд для діагностики і ремонту електричного устаткування повинен мати захисне заземлення, занулення чи пристрій захисного відключення. Крім того, стенд має знаходитись на огороженому майданчику з контрольованим доступом.

Збірка схем повинна здійснюватися при повному знятті напруги.

					7.141.190049.ПЗ	Лист
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

Після ремонту електрорухомого складу (контакторів) підйом струмоприймача і випробування електровоза або електричної секції під робочою напругою має проводити особа, яка має на це право та у присутності майстра, що проводив ремонт. До початку випробування необхідно переконатися в тому, що:

- всі працівники знаходяться в безпечних місцях, і підйом струмоприймача не загрожує їм небезпекою;
- закриті люки тягових машин, двері шаф управління, щити стінок високовольтної камери (ВВК), реостатних приміщень, кришки під вагонних апаратних ящиків;
- в ВВК і під кузовом немає людей, інструментів, матеріалів і сторонніх предметів;
- закриті двері в ВВК, складні сходи і хвіртки технологічних майданчиків для виходу на дах;
- з машин і апаратів після їх ремонту зняті всі тимчасові приєднання;
- машини, апарати, прилади та силові ланцюги готові до пуску і роботі.

					7.141.190049.ПЗ	Лист
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

Надійність рухомого складу визначається надійністю його окремих вузлів і механізмів. У разі відмови силового комутаційного обладнання створюються передумови до невиконання (часткового чи повного) рухомих складом своїх функцій. Тож забезпечення надійної роботи силового комутаційного обладнання рухомого складу є актуальною задачею і дотепер.

Серед ряду причин, що можуть приводити до передчасної відмови комутаційного електрообладнання є неповна перевірка характеристик і параметрів електромагнітних контакторів після їх ремонту на відповідність нормативним показникам, оскільки це не регламентується в правилах ремонту. Одним з чинників, що впливає на характеристики та параметри електромагнітного контактору є величина критичного зазору, а точніше його відхилення від нормативного значення, на характеристики електромагнітного контактора типу МК-310Б.

Статистичні дані по відхиленню параметрів-аргументів функцій Q_m (тягове зусилля) та Q'_n (сила протидії) вказують на те, що реальні значення параметрів та характеристик контактора типу МК-310Б відрізняються від номінальних (розрахункових чи проектних), ці відмінності носять технологічний або експлуатаційний характер. І ці відмінності, так чи інакше, призводять до нестабільності сили електромагнітного притягування та сили протидії.

Проведена оцінка числових характеристик випадкової величини критичного повітряного зазору $\delta_{кр}$ – математичного очікування, дисперсії та середньоквадратичного відхилення функції Q_m . На основі критерія Пірсона підтверджено припущення про нормальний закон розподілення параметра-аргумента $\delta_{кр}$. За аналогічною методикою проведено оцінку числових характеристик випадкових величин $C_{п.в.}$, K , $C_{п.к.}$, ΔX_k , що входять до функції Q'_n . Також доведено припущення про нормальний закон розподілення параметрів-аргументів $C_{п.в.}$, K , $C_{п.к.}$, ΔX_k .

					7.141.190049.ПЗ	Лист
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При оцінці стабільності характеристик контактора типу МК-310Б встановлено, що найбільшим є значення відношення $\frac{\sigma_i}{\bar{x}}$ для:

- критичного повітряного зазору $\delta_{кр}$ функції Q_m – 16,5%;
- різниці, що визначається геометричними параметрами повітряного зазору $K = (\delta_1 - \delta_2)$ функції Q_n – 15%.

Тобто, на відхилення в експлуатації тягової характеристики від її початкового положення найбільше впливає значення критичного повітряного зазору, а на відхилення характеристики протидії – значення $K = (\delta_1 - \delta_2)$.

Спостереження за контактором типу МК-310Б вказують на стабільність $\delta_{відп} = const$, тобто даний параметр не змінюється з часом після регулювання. Виходячи з цього можна говорити про те, що стабільність характеристики протидії, як і стабільність тягової характеристики залежать в основному від забезпечення стабільності величини критичного повітряного зазору.

					7.141.190049.ПЗ	Лист
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Фришев С. Г., Мельник І. І., Бондар С. М. Загальний курс транспорту: Навч. Посібник. – К.: Вища освіта, 2006.- 162 с.
2. Про схвалення Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року. Розпорядження Кабінету Міністрів України; Стратегія від 30.05.2018 № 430-р [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-%D1%80#n13>
3. 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.
4. Правила технічного обслуговування і поточного ремонту електровозів змінного струму ВЛ60к, ВЛ60п, ВЛ80к, ВЛ80с, ВЛ80т, ВЛ82м. ЦТ-0038. К.: ДАЗТУ «Укрзалізниця», 2002. 172 с.
5. Бабанін О. Б., Жалкін С. Г. Організація технічних обслуговувань локомотивів: Конспект лекцій. – Харків: УкрДУЗТ, 2017. – Ч. 1. – 50 с.
6. Апарати електричні тягові. Загальні технічні вимоги. ДСТУ 2773-94, К.: Держстандарт України, 1996. 75 с.
7. Контактори електромагнітні серії МК. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://kvazar.com.ua/uk/production-ua/kontaktory>
8. Клименко Б. В. Електричні апарати. Електромеханічна апаратура комутації, керування та захисту. Загальний курс: навчальний посібник. – Харків: Вид-во «Точка», 2012. 340 с.
9. Захарченко Д. Д. Тягові електричні апарати. – М.: Транспорт, 1991. 247 с.
10. 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.
11. Бржезицький В. О. Електричні апарати: підручник / В. О. Бржезицький, В. Ц. Зелінський, П. Д. Лежнюк, О. Є. Рубаненко – Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, 2016. – 602 с.

										Лист
										59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

12. Вентцель Е. С. Теорія ймовірності. М.: Наука, 1969. 576 с.
13. Карташов М.В. Імовірність, процеси, статистика: Посібник. – К.: Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2008.– 494 с.
14. Корніль Т. Л. Теорія ймовірностей у прикладах і задачах: навч.-метод. посібник / Т. Л. Корніль, Л. С. Тимченко, Г. О. Голотайстрова. – Харків : НТУ «ХП», 2017. – 124 с.
15. Маренич О. О. Метод оцінки технологічної стабільності електротягової і 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.
16. НПАОП 40.1-1.21-98 Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. – Х.: Видавництво «Форт», 2008. – 192 с.
17. Жидецький В. Ц. Основи охорони праці / В. Ц. Жидецький, В. С. Джигирей, О. В. Мельников. – Львів: Афіша, 2000. – 350 с.
18. Основи охорони праці: Підручник. 2-ге видання / К.Н. Ткачук, М.О. Халімовський, В.В. Зацарний та ін. — К.: Основа, 2006. — 448 с.

СПИСОК ГРАФІЧНИХ РОБІТ

- 1) Фактори, що впливають на надійність роботи контактора МК-310Б;
- 2) Характеристики контактору МК-310Б та їх узгодженість;
- 3) Математичне очікування, дисперсія, середньоквадратичне відхилення параметрів-аргументів функцій Q_M і Q'_P ;
- 4) Оцінка стабільності характеристик контактора типу МК-310Б

					7.141.190049.ПЗ	Лист
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

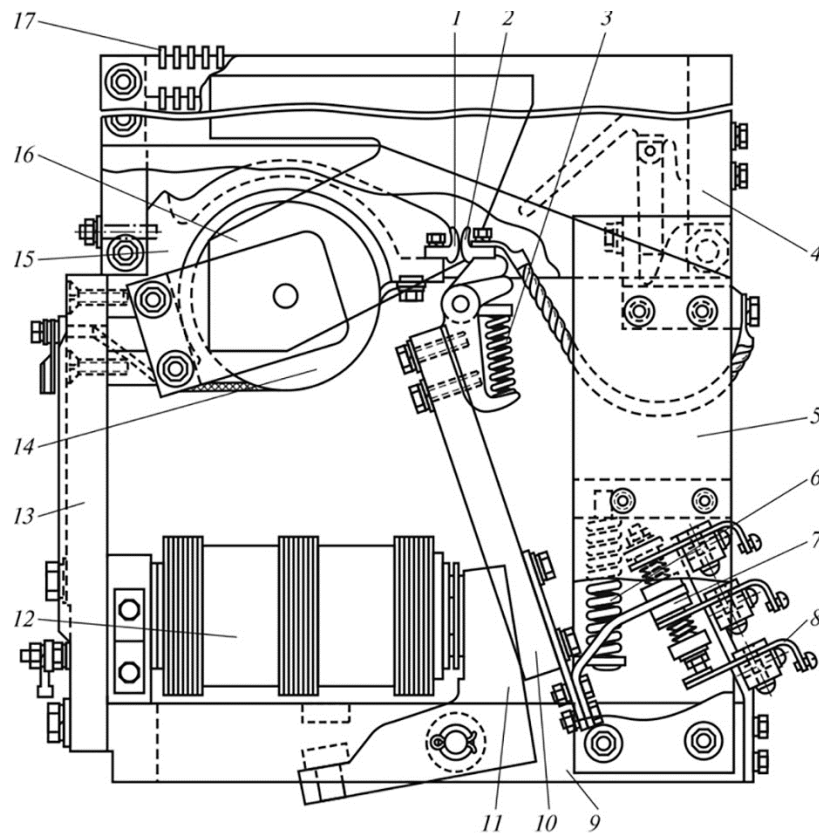
ДОДАТОК А
Графічні роботи

					7.141.190049.ПЗ	Лист
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Технічні дані електромагнітного контактора МК-310Б-34

Номинальна напруга в силовому колі, В	3000
Номинальний струм контактора, А	25
Номинальна напруга кола керування, В	50
Номинальний струм блокувальних контактів, А	5
Номинальний струм котушки вимикання, А	0,65
Величина розриву контактів, мм	30...34
Величина провалу контактів, мм	7...9
Початкове натискання контактів, кгс/см ²	0,78...1,27
Кінцеве натискання контактів, кгс/см ²	1,76...2,65
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

Електромагнітний контактор типу МК-310Б-34



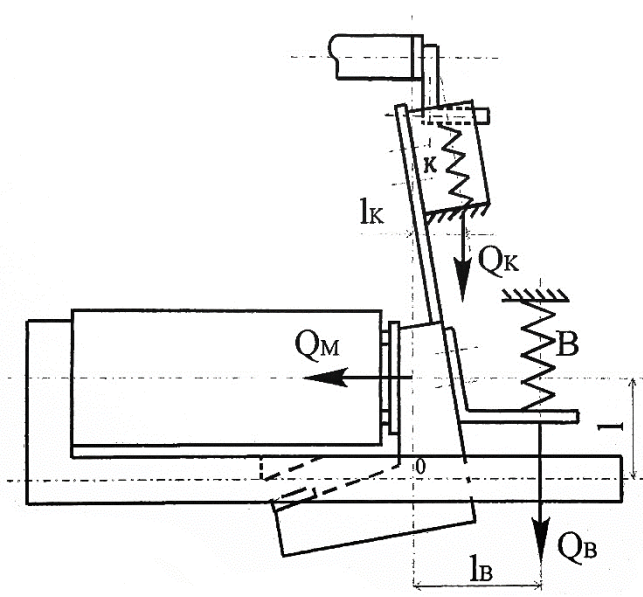
$$\text{Тягова сила } Q_M = 0,5 \cdot \mu_0 \cdot S_\delta \cdot \left(\frac{F}{\delta}\right)^2 = 0,5 \cdot \mu_0 \cdot S_T \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot \delta}{\sqrt{S_T}}\right) \cdot \left(\frac{U}{R_K} \cdot \frac{F}{\delta}\right)^2$$

$$\text{Сила протидії (приведене значення) } Q'_n = \frac{(Q_B \cdot l_B + Q_K \cdot l_K)}{l} = Q'_B + Q'_K$$

Фактори, що впливають на надійність роботи контактора МК-310Б

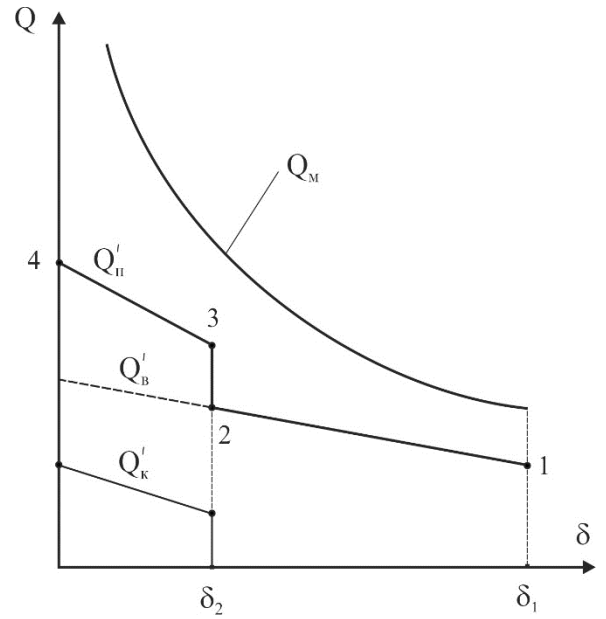
						Додаток А 7.141.100049.01		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Зав. кафед.		Муха А.М.			Стад.	Аркуш	Аркушів	
Н. контр.		Карзова О.О.			63	66		
Осн. керів.		Маренич О.Л.			Український державний університет науки і технологій, група ЕЕ2321			
Розробив		Листопадов М.І.						

Кінематична схема тягового електромагнітного контактора

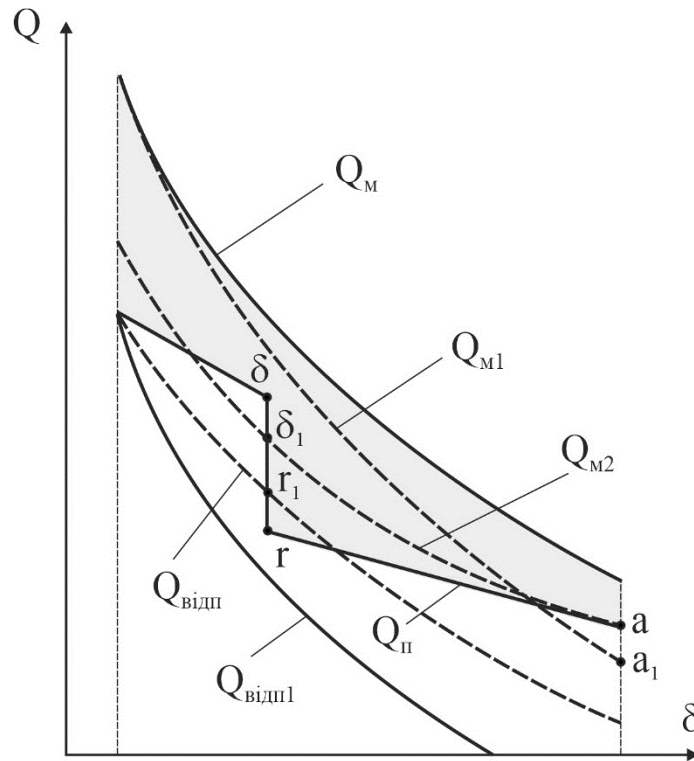


Тягова та характеристика протидії електромагнітного контактора

$$(\delta_1 = \delta_{\text{відп}}; \delta_2 = \delta_{\text{кр}})$$



Узгодження характеристик контактора (тягової та протидії)



Характеристики контактору МК-310Б та їх узгодженість

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

Додаток А
7.141.190049.02

Стад.	Аркуш	Аркушів
	64	66
Український державний університет науки і технологій, група ЕЕ2321		

Числові характеристики випадкової величини $\delta_{кр}$

Вибіркове середнє значення (математичне очікування) параметра-аргумента $\delta_{кр}$:

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

Значення дисперсії для параметра-аргумента $\delta_{кр}$:

$$D_{\delta_{кр}} = [M_2 - M_1^2] \cdot h^2 = [3,467 - (-0,533)^2] \cdot 0,3^2 = 0,286.$$

Значення вибіркового середньоквадратичного відхилення: $\sigma_{\delta_{кр}} = \sqrt{D_{\delta_{кр}}} = \sqrt{0,286} = 0,535.$

Критерій ($\lambda_c^2 = \sum \frac{(n_i - n'_i)^2}{n'}$) Пірсона, що спостерігається, для $\delta_{кр}$: $\lambda_c^2 = 7,22.$

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

$\lambda_c^2 = 7,22 < \lambda_{кр}^2 = 12,6$ – припущення про нормальний закон розподілення параметра-аргумента $\delta_{кр}$ доведено.

Числові характеристики випадкових величин $C_{п.в.}$, K , $C_{п.к.}$, ΔX_k

Параметр-аргумент	Математичне очікування	Дисперсія	Середньоквадратичне відхилення	Критерій λ_c^2 Закон розподілення
$C_{п.в.}$	$\bar{C}_{п.в.} = 0,961$	$D_{C_{п.в.}} = 0,00026$	$\sigma_{C_{п.в.}} = 0,016$	$\lambda_c^2 = 5,151 < \lambda_{кр}^2 = 12,6$ нормальний
$C_{п.к.}$	$\bar{C}_{п.к.} = 3,148$	$D_{C_{п.к.}} = 0,001856$	$\sigma_{C_{п.к.}} = 0,043$	$\lambda_c^2 = 4,358 < \lambda_{кр}^2 = 12,6$, нормальний
$K = (\delta_1 - \delta_2)$	$\bar{K} = 8,54$	$D_{BK} = 1,65$	$\sigma_{BK} = 1,28$	$\lambda_c^2 = 7,8 < \lambda_{кр}^2 = 12,6$ нормальний
ΔX_k	$\Delta \bar{X}_k = 3,386$	$D_{\Delta X_k} = 0,146$	$\sigma_{\Delta X_k} = 0,38$	$\lambda_c^2 = 12,57 < \lambda_{кр}^2 = 12,6$ нормальний

					Математичне очікування, дисперсія, середньоквадратичне відхилення параметрів-аргументів функцій Q_m і Q'_m			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Зав. кафедр.	Муха А.М.				Додаток А 7.141.190049.03	Стад.	Аркуш	Аркушів
Н. контр.	Карзова О.О.						65	66
Осн. керів.	Маренич О.Л.					Український державний університет науки і технологій, група ЕЕ2321		
Розробив	Листопадов М.І.							

Математичне очікування та середньоквадратичне відхилення параметрів-аргументів $C_{п.в.}$, K , $C_{п.к.}$, ΔX_k для контактора типу МК-310Б

Параметр-аргумент	Вибіркове середнє значення параметра-аргумента \bar{x}	Вибіркове середньоквадратичне відхилення параметра-аргумента σ_i	Відношення $\frac{\sigma_i}{\bar{x}}$
$\delta_{кр}$, мм	3,24	0,535	0,165
$C_{п.в.}$, Н/мм	0,961	0,016	0,017
$C_{п.к.}$, Н/мм	3,148	0,043	0,014
K , мм	8,54	1,28	0,15
ΔX_k , мм	3,386	0,38	0,11

Найбільшим є значення відношення $\frac{\sigma_i}{\bar{x}}$ для:

- критичного повітряного зазору $\delta_{кр}$ функції Q_m – 16,5%;
- різниця, що визначається геометричними параметрами повітряного зазору $K = (\delta_1 - \delta_2)$ функції $Q'_п$ – 15%.

Тобто, на відхилення в експлуатації тягової характеристики від її початкового положення найбільше впливає значення критичного повітряного зазору, а на відхилення характеристики протидії – значення $K = (\delta_1 - \delta_2)$.

Спостереження за контактором типу МК-310Б вказують на стабільність $\delta_{відп} = const$, тобто даний параметр не змінюється з часом після регулювання. Тобто, стабільність характеристики протидії, як і стабільність тягової характеристики залежать в основному від забезпечення стабільності величини критичного повітряного зазору.

					Оцінка стабільності характеристик контактора типу МК-310Б			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Зав. кафедр.	Муха А.М.				Додаток А 7.141.190049.04	Стад.	Аркуш	Аркушів
Н. контр.	Карзова О.О.						66	66
Осн. керів.	Маренич О.Л.					Український державний університет науки і технологій, група ЕЕ2321		
Розробив	Листопадов М.І.							