

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна

На правах рукопису

Буряк Сергій Юрійович

УДК 656.25:156.25

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ОБСЛУГОВУВАННЯ
ЦЕНТРАЛІЗОВАНИХ СТІЛОК З ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ ЗМІННОГО
СТРУМУ В УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ**

05.22.20 – Експлуатація та ремонт засобів транспорту

Дисертація

на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Науковий керівник:
Гаврилюк Володимир Ілліч,
доктор фізико-математичних наук,
професор

Дніпропетровськ – 2015

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ. ПОСТАНОВКА МЕТИ ТА ЗАВДАНЬ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	14
1.1. Статистичні показники відмов об'єктів залізничної автоматики.....	14
1.2. Стрілочний електропривод змінного струму.....	22
1.2.1. Вимоги до стрілочних переводів та стрілочних електроприводів.....	22
1.2.2. Причини виникнення та види несправностей стрілочних електроприводів	23
1.3. Існуючі методи та засоби діагностування стрілочних переводів.....	27
1.3.1. Системи технічного контролю стану об'єктів, які використовуються на залізниці	27
1.3.2. Автоматизований контроль параметрів стрілочних переводів.....	29
1.3.3. Вдосконалення експлуатації електродвигунів засобами інтелектуальних систем.....	31
1.3.4. Альтернативні способи проведення технічного діагностування електроприводів та електродвигунів змінного струму, які використовуються в промисловості.....	32
1.4. Висновки, постановка мети та задач дослідження.....	36
РОЗДІЛ 2. ЕКСПЕРИМЕНАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЦЕНТРАЛІЗОВАНИХ СТІЛОК В УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ.....	39
2.1. Обґрунтування проведення експериментальних досліджень для визначення діагностичних ознак пошкоджень стрілочних переводів.....	39
2.2. Визначення найбільш поширених відмов пошкоджень стрілочних переводів.....	39
2.3. Методика та принципи проведення технічного вимірювання робочих параметрів стрілочних переводів в схемах стрілочних установок живлення.....	48

2.4.	Результати випробувань	55
2.5.	Систематизація визначення діагностичних ознак відмов стрілочних переводів.....	67
2.6.	Висновки.....	69
РОЗДІЛ 3. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СТРІЛОЧНОГО ПЕРЕВОДУ		72
3.1.	Моделювання електропривода на основі трьохфазного асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором	72
3.2.	Математичне моделювання стрілочних переводів з електроприводом змінного струму.....	76
3.2.1.	Лінеаризована модель асинхронного двигуна	76
3.2.2.	Моделювання зазору в механічній передачі	79
3.3.	Кінематична схема стрілочного переводу.....	81
3.3.1.	Структурна схема стрілочного електропривода.....	81
3.3.2.	Представлення стрілочного переводу у вигляді механічної системи.....	83
3.3.3.	Рівняння руху стрілочного переводу.....	84
3.3.4.	Одномасова схема.....	85
3.4.	Імітаційна модель стрілочного переводу.....	87
3.4.1.	Модель для дослідження роботи стрілочного переводу	87
3.4.2.	Параметри моделі стрілочного переводу	89
3.5.	Розрахунок параметрів моделі.....	92
3.5.1.	Визначення сумарного моменту інерції вала двигуна та навантаження	92
3.5.2.	Визначення параметрів моделі стрілочного переводу	94
3.6.	Результати моделювання. Дослідження характеристик математичної моделі стрілочних переводів.....	97
3.7.	Висновки.....	106
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА ЗАСОБІВ ТА МЕТОДІВ ДІАГНОСТУВАННЯ СТРІЛОЧНИХ ПЕРЕВОДІВ		108

4.1.	Принципи побудови системи технічного діагностування стану стрілочних переводів.....	108
4.1.1.	Передумови створення систем технічного діагностування стрілочних переводів.....	108
4.1.2.	Принципи та основи впровадження системи автоматизованого технічного діагностування стрілочних переводів.....	109
4.2.	Основні положення функціонування системи автоматизованого діагностування стрілочних переводів.....	111
4.2.1.	Розробка алгоритму пошуку несправностей стрілочних переводів з електроприводом змінного струму.....	111
4.2.2.	Структура та принцип функціонування системи пошуку пошкоджень.....	113
4.2.3.	Принцип та послідовність визначення пошкоджень складових елементів стрілочних переводів.....	115
4.3.	Технічна реалізація системи автоматизованого діагностування стану стрілочних переводів.....	119
4.4.	Застосування технології штучних нейронних мереж для діагностування стрілочних переводів з електроприводом змінного струму.....	122
4.5.	Випробування системи технічного діагностування стрілочних переводів в реальних умовах експлуатації.....	130
4.6.	Висновки	134
РОЗДІЛ 5.	ЕКОНОМІЧНИЙ ЕФЕКТ ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ ДИСТАНЦІЙНОЇ ДІАГНОСТИКИ СТРІЛОЧНИХ ПЕРЕВОДІВ.....	137
5.1.	Оцінка економічної доцільності впровадження системи.....	137
5.2.	Розрахунок експлуатаційних витрат на систему автоматизованої перевірки стрілочних електродвигунів, визначення вартості і строку окупності нової системи.....	140
5.3.	Перспективи впровадження автоматизованої системи діагностування стану стрілочних переводів на станціях з електричною	

централізацією.....	143
5.4. Висновки.....	145
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	146
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	148
ДОДАТКИ.....	162

ВСТУП

Актуальність теми

Залізнична колія являє собою з точки зору охорони праці небезпечний для життя і здоров'я людини ділянку території, час перебування на якій пов'язано з небезпечною наїзду рухомого складу. Тому, чим менше час перебування співробітників залізничного транспорту в зоні руху поїздів, тим менше ймовірність виникнення нещасного випадку. У зв'язку з цим впровадження системи автоматизованого діагностування має на меті створення умов для роботи працівників, за яких зменшиться час їх перебування в межах руху потягів, що є важливим з точки зору безпеки проведення робіт у зоні підвищеної небезпеки, яку представляє собою залізнична колія.

За діючою методикою планово-попереджувальних заходів з усунення та випередження появи несправностей передбачено проведення періодичного обстеження, яке виконується за заздалегідь складеним графіком. До процесу технічного обслуговування входить контроль основних параметрів апаратури та її регулювання і в умовах експлуатації або в ремонтно-технологічній дільниці дистанції сигналізації та зв'язку. До недоліків існуючої технології обслуговування стрілочних переводів можна віднести в першу чергу значні затрати часу, виконання операцій вручну та великий вплив людського фактору. При цьому відсутність безперервного контролю унеможливорює своєчасне виявлення несправностей. Негативним фактором при перевірці стану стрілочних переводів є недостатня кількість параметрів, які перевіряються, та візуальне сприйняття працівником показань при вимірюванні робочого струму і струму роботи стрілки на фрикцію.

Удосконалення технології обслуговування стрілочних переводів можливе шляхом автоматизації діагностування їх технічного стану, яке має забезпечити безперервну перевірку і аналіз технічного стану стрілочних переводів, а при виявленні несправності – визначати її автоматично і відразу сповіщати про це працівників.

Таким чином, удосконалення технології обслуговування стрілочних переводів шляхом автоматизації діагностування їх стану дозволить підвищити рівень ефективності технічного обслуговування централізованих стрілок.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Робота виконана у відповідності з положеннями Стратегії розвитку залізничного транспорту України до 2020 року, яка була схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 16 грудня 2009 року. Обраний напрям дослідження відповідає Концепції комплексної програми розвитку залізничного транспорту України на 2007-2020 р.

Дисертаційна робота виконана за результатами науково-дослідних робіт «Розробка системи безперервного автоматизованого діагностування стрілочних переводів централізованих стрілок в умовах експлуатації на станції» з номером державної реєстрації 0110U000330, «Удосконалення методів оцінки та підвищення функціональної безпеки в експлуатаційній роботі на залізницях» з номером державної реєстрації 0112U003560, «Дослідження і розробка інтегрованої комп'ютерної системи оптимізації перевезень, енергозбереження, безпеки руху та інтелектуалізація процедур управління залізничним транспортом України» з номером державної реєстрації 0114U005164, в якій дисертант брав участь у якості виконавця.

Мета і задачі дослідження

Метою дисертаційної роботи є удосконалення технології обслуговування централізованих стрілок з електроприводами змінного струму в умовах експлуатації шляхом автоматизації визначення їх параметрів.

Завдання, які необхідно вирішити для досягнення поставленої мети:

- провести аналіз причин виникнення та видів несправностей стрілочних переводів; провести аналіз методів та засобів існуючої технології обслуговування стрілочних переводів;
- розробити комплексну математичну модель електромеханічних процесів, що відбуваються в стрілочному електроприводі змінного струму в працездатному стані та з певними дефектами при переводі стрілки для визначення діагностичних ознак найбільш поширених дефектів стрілочного переводу;

- експериментально дослідити електричні характеристики стрілочних електроприводів змінного струму в умовах експлуатації при переводі стрілки з електричними та механічними дефектами для розробки методу діагностування стрілочних переводів;

- розробити та науково обґрунтувати метод автоматизованого діагностування стрілочних переводів без виключення їх з експлуатації на основі аналізу функції струму переведення стрілки в часовій та частотній областях;

- розробити комп'ютерну програму автоматичного діагностування технічного стану стрілочних переводів з електроприводом змінного струму;

- розробити технологію обслуговування централізованих стрілок з електроприводами змінного струму в умовах експлуатації з додатковим застосуванням автоматизованої системи контролю їх параметрів.

- розробити дослідний зразок автоматизованого апаратно-програмного комплексу для контролю параметрів стрілочних переводів;

- провести техніко-економічне обґрунтування розробки.

Об'єкт дослідження – технологія обслуговування стрілочних переводів.

Предмет дослідження – засоби та методи автоматизації діагностування стану централізованих стрілок з електроприводами змінного струму.

Методи досліджень

Для отримання результатів дисертації були використані методи, математичного моделювання, числові методи, перетворення Фур'є, статистичного аналізу, вимірювальні методи, моделювання з використанням апарату штучних нейронних мереж:

- математичне моделювання використане з метою дослідження електро-механічних характеристик стрілочного електропривода при роботі в системі зі стрілкою для різних технічних станів та дефектів системи;

- числові методи для визначення кількісних критеріїв відмов стрілочного переводу шляхом порівняння форми кривої струму переводу стрілки з кривою переводу стрілки в справному стані, що прийнята за еталонну;

- перетворення Фур'є використано для визначення діагностичних ознак відмов стрілочних асинхронних трифазних електричних двигунів з короткозам-

кненим ротором за спектральним складом частотних характеристик струму під час переводу стрілки;

–методи статистичного аналізу появ несправностей, відмов, пошкоджень і дефектів стрілочних переводів використано для обґрунтування можливості вирішення задачі підвищення ефективності технічного обслуговування стрілочних переводів шляхом впровадження системи автоматизованого діагностування їх стану;

–методи моделювання з використанням апарату штучних нейронних мереж застосовані для побудови автоматизованого апаратно-програмного комплексу діагностування технічного стану стрілочних переводів;

–комп'ютерні технології та програмне забезпечення для технічного визначення параметрів стрілочних переводів, які виконують запис, відтворення і аналіз вимірювань за допомогою аналого-цифрового перетворювача (АЦП) результатів вимірювання часової залежності струму стрілочного переводу.

Наукова новизна одержаних результатів

Розробка нових науково обґрунтованих методів та подальший розвиток існуючих способів удосконалення технології обслуговування стрілочних переводів шляхом автоматизації діагностування їх станів, що дозволяє підвищити ефективність процесу обслуговування.

Вперше:

- експериментально досліджено електричні характеристики стрілочних електроприводів змінного струму в умовах експлуатації при переводі стрілки з електричними та механічними дефектами, що дозволило запропонувати метод діагностування стрілочних переводів;

- проведено наукове обґрунтування розробленого методу автоматизованого діагностування стрілочних переводів без виключення їх з експлуатації на основі аналізу функції струму переведення стрілки в часовій та частотній області з використанням запропонованої процедури оцінки абсолютного відхилення струму від граничних значень та застосуванням апарату штучних нейронних мереж;

- обґрунтовано застосування методу вдосконалення обслуговування централізованих стрілок з електроприводом змінного струму в умовах експлуатації, що відрізняється від існуючого додатковим застосуванням автоматизованої системи контролю їх параметрів шляхом використання комп'ютерної програми технічного діагностування, яка в автоматичному режимі виконує функціональне визначення поточного стану стрілочних переводів та видає рекомендації з можливого усунення виявлених дефектів.

Отримало подальший розвиток:

- розробка комплексної математичної моделі електромеханічних процесів, що відбуваються в стрілочному електроприводі змінного струму при переводі стрілки в робочому стані та при наявності певних дефектів при переводі стрілки, що дозволило визначити діагностичні ознаки найбільш поширених дефектів стрілочного переводу.

Достовірність одержаних результатів та висновків підтверджується задовільною відповідністю результатів математичного моделювання з результатами експериментальних досліджень.

Практичне значення одержаних результатів

Наукові результати, здобуті в дисертації дозволили розробити новий автоматичний метод діагностування технічного стану стрілочних переводів без вимкнення стрілок з експлуатації, який може використовуватись в системах електричної централізації, гіркової централізації, систем диспетчерського керування і контролю. Проведені дослідження дозволили:

- розробити та створити автоматизований апаратно-програмний комплекс діагностування стрілочних переводів без виключення їх з експлуатації;
- розробити метод безперервного автоматизованого діагностування стрілочних переводів, за допомогою якого можна визначати 16 основних несправностей.

Основні результати досліджень передані для використання Шевченківській дистанції сигналізації і зв'язку (ДП «Одеська залізниця», м. Сміла) та впроваджені в навчальному процесі Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.

Використання результатів роботи дозволить покращити технологію обслуговування стрілочних переводів шляхом підвищення ефективності їх технічного обслуговування завдяки застосуванню автоматизованого визначення їх параметрів. Економічний ефект від впровадження системи автоматизованого визначення параметрів стрілочних двигунів для однієї дистанції сигналізації та зв'язку з середньою кількістю станцій до 30 складає майже 6,5 тисяч гривень на рік, а строк окупності впроваджуваного комплексу займає приблизно 15 місяців.

Особистий внесок здобувача

Всі основні результати теоретичних і експериментальних досліджень, наведені в дисертаційній роботі, отримані автором особисто або за його безпосередньої участі. Обробка отриманого матеріалу, формулювання наукових положень і висновків, підготовка публікацій і доповідей також проводились автором особисто. Постановку мети та задач дослідження виконано спільно з науковим керівником. Укладення та результати, що виносяться на захист дисертації, приведені в роботах [14-19, 79, 117], які надруковані у відкритій пресі. Дисертантом опубліковано особисто розробку імітаційної моделі стрілочного електропривода та розрахунок параметрів стрілочних переводів з проведенням моделювання роботи стрілочного переводу та отриманням результатів роботи моделі для робочого справного і несправного станів [18, 19, 117].

В роботах опублікованих у співавторстві, дисертанту належать:

- визначення факторів і причин, які впливають на роботу стрілочних переводів, а тому мають бути враховані під час вибору діагностичних ознак, визначення діапазонів параметрів діагностичних ознак, необхідних для виявлення відмов стрілки, створення переліку відмов, які необхідно діагностувати проведення експериментальних вимірювань для різних типів відмов стрілки за допомогою аналізу форми кривої часової залежності струму, визначення діагностичних ознак для фіксації відмов стрілочного переводу безпосередньо в умовах експлуатації [15]; та обробка статистичних даних відмов стрілочних електроприводів змінного струму, наукове обґрунтування вибраних діагностичних параметрів;

проведення вимірювань струму стрілочних електроприводів при різних відмовах двигуна, аналіз результатів проведених вимірювань спектрального складу струму переводу стрілок при їх справному стані та при різних дефектах, визначені їх відмінних особливостей в залежності від типу відмов [17];

- на основі проведеного аналізу технічних перевірок стрілочних електричних приводів, що виконуються під час періодичного огляду пристроїв залізничної автоматики на станції, та проаналізованих видів відмов запропоновано структурну схему та алгоритм функціонування автоматизованого пристрою діагностування стрілочного переводу, що дозволяє проводити виміри без виключення стрілок з централізації [14];

- запропоновано спосіб дистанційного визначення діагностичних ознак стрілочних електроприводів за допомогою аналізу спектрального складу струму переводу стрілки [16];

- запропоновано спосіб дистанційного визначення діагностичних ознак стрілочних електроприводів за допомогою аналізу частотних складових [79].

Апробація результатів дисертації

Основні результати досліджень доповідалися і були схвалені на:

- 75 Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» (Україна, м. Дніпропетровськ, 2015);

- 74 Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» (Україна, м. Дніпропетровськ, 2014);

- Всеукраїнській науково-практичній конференції молодих учених, спеціалістів, аспірантів «Енергетика, енергозбереження на початку XXI століття» (Україна, м. Маріуполь, 2014);

- Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні проблеми розвитку інтелектуальних систем транспорту» (Україна, м. Дніпропетровськ, 2014);

- Конференції молодих вчених та студентів «Інформаційно-управляючі технології та системи на залізничному транспорті» (Україна, м. Дніпропетровськ, 2013);

- III Міжнародній науково-практичній конференції «Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті» (EMC-R 2010) (Україна, м. Дніпропетровськ, 2010).

Публікації

За результатами досліджень опубліковано 16 наукових праць:

- 1) 7 – у наукових журналах і збірниках наукових праць, рекомендованих ВАК України за фахом 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту, 6 з яких належать до фахових наукових видань, що входять до переліку міжнародних науко-метричних баз;
- 2) 2 – у журналах тематичних видань галузі;
- 3) 1 патент на корисну модель;
- 4) 6 – у матеріалах і тезах міжнародних конференцій.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ. ПОСТАНОВКА МЕТИ ТА ЗАВДАНЬ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1. Статистичні показники відмов об'єктів залізничної автоматики

Для того, щоб мати уявлення про кількість випадків транспортних подій та загальне число несправної роботи залізничних об'єктів, розглянемо найголовніші статистичні показники за останні п'ять років, які фіксувалися на всіх шести залізницях України [6].

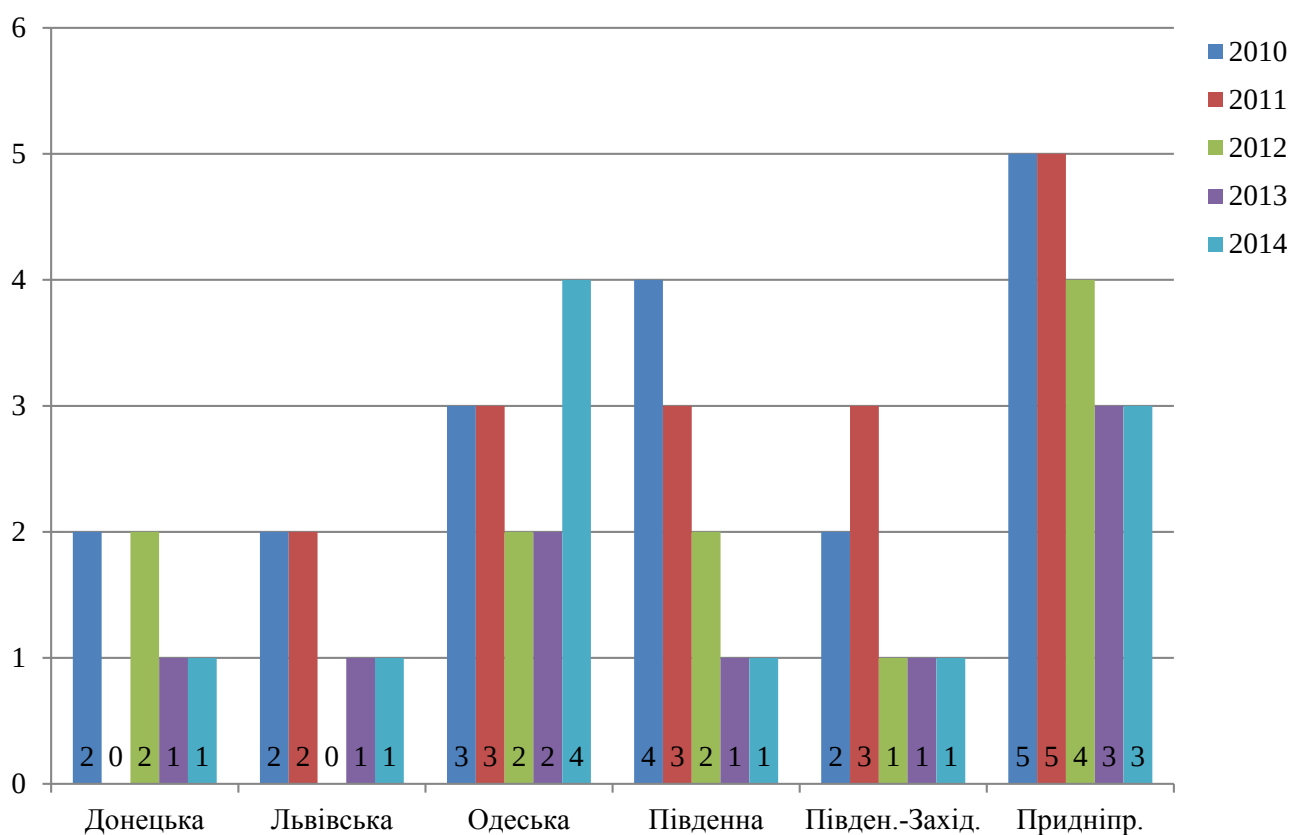


Рисунок 1.1 – Динаміка кількості транспортних подій за період 2010-2014 років

З динаміки кількості транспортних подій за період 2010-2014 рр. (рис. 1.1) для усіх залізниць разом можна зробити висновок, що у 2010 р. їх загальне число становило 16 випадків, 2011 р. – 16, 2012 р. – 11, 2013 р. – 9 і у 2014 р. – 11.

Розглянемо для прикладу транспортні події, які сталися у період з 2010 р по 2014 р. і віднесені за господарствами сигналізації та зв'язку. З вини дистанцій сигналізації та зв'язку з 55 транспортних подій допущено 25 транспортних подій або 45,5% від загальної кількості. Причини, які привели до виникнення транспортних подій:

- порушення технології виконання робіт (недотримання вимог технологічних карт та керівництв з експлуатації) при технічному обслуговуванні та ремонті пристроїв сигналізації, централізації та блокування (СЦБ) – допущено 15 інцидентів, або 27,3% транспортних подій;
- невиконання робіт, передбачених планами технічного обслуговування пристроїв СЦБ, інструкціями та керівними вказівками УЗ – допущено 10 інцидентів, або 18,2% транспортних подій;
- інші причини, серед яких: розкрадання, навмисне пошкодження пристроїв – 5 серйозних інцидентів і 15 інцидентів (разом 20), або 35,4 %;
- конструктивно-заводський недолік – 2 інциденти або 18,2%.

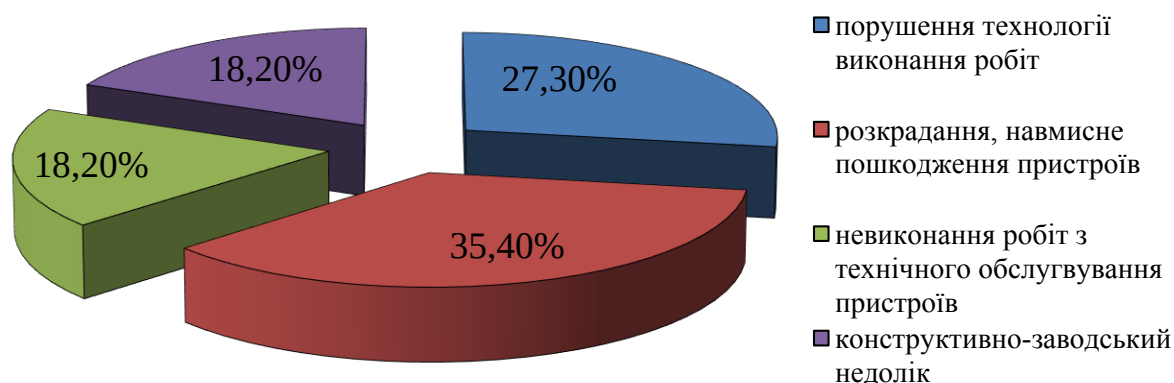


Рисунок 1.2 – Розподіл причин виникнення транспортних подій

За цей період, найчастіше допускалися випадки транспортних подій з таких причин:

- сходження рухомого складу залізничного транспорту під час виконання маневрів – 15 інцидентів або 27,3% від загальної кількості;
- через відмови в роботі електричної централізації, автоблокування на перегонах, що не усунені протягом восьми годин і більше, а пристроїв на залізничних переїздах – протягом чотирьох годин і більше з відліком часу від проходження першого поїзда – 10 інцидентів або 18,2% від загальної кількості;
- через переведення стрілки або рухомого осердя хрестовини, що входять до поїзного маршруту, перед або під поїздом – 5 серйозних інцидентів або 9,1 % від загальної кількості;

- з причини переходу на інші засоби сигналізації і зв'язку для організації руху поїздів на вісім годин і більше через несправність технічних засобів з відліком часу від проходження першого поїзда – 5 інцидентів або 9,1 % від загальної кількості;
- через невірні дії працівників, що призвели до затримки поїзда на одну годину і більше – 5 інцидентів або 9,1 % від загальної кількості;
- через виникнення несправності пристроїв сигналізації, централізації та блокування, зв'язку, які призвели до затримки поїзда на перегоні чи станції на дві години і більше понад час, встановлений графіком руху – 10 інцидентів або 18,2%;
- з причини неவிдачі попереджень на поїзди, коли необхідно зменшити швидкість або зупинитися, та/або у разі не огороження сигналами небезпечного місця для руху поїздів під час виконання робіт – 5 інцидентів або 9,1 % від загальної кількості.

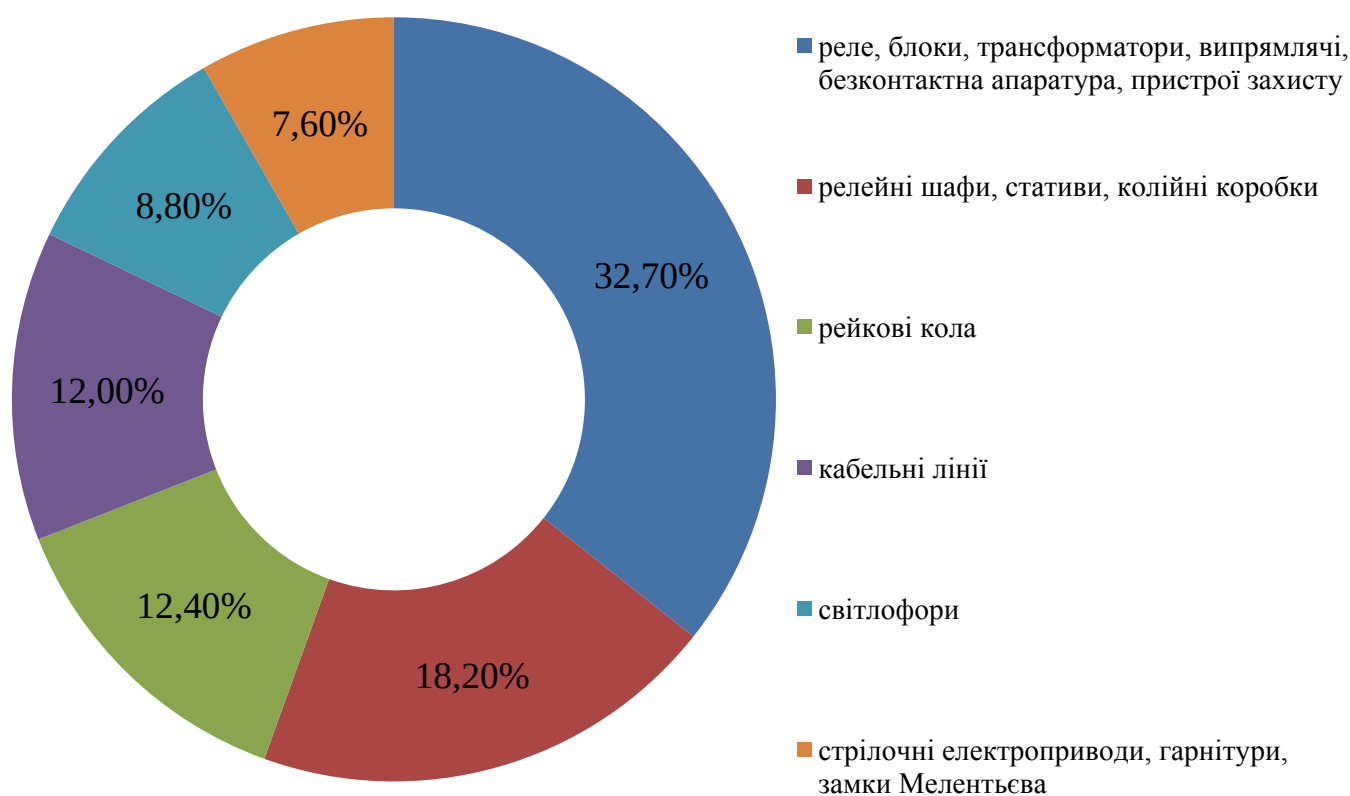


Рисунок 1.3 – Основні об'єкти відмов пристроїв СЦБ

Якщо порушити питання надійності роботи пристроїв СЦБ, то загальна кількість їх відмов 5 останніх роки склала 24450 випадків, а середній час усунення від-

мов пристроїв СЦБ, віднесених за дистанціями сигналізації та зв'язку, склав 1 годину 22 хвилини.

Загальна кількість затриманих пасажирських поїздів з вини господарств сигналізації та зв'язку склала 1030 поїздів із загальним обсягом затримки на 399 годин 0 хвилин.

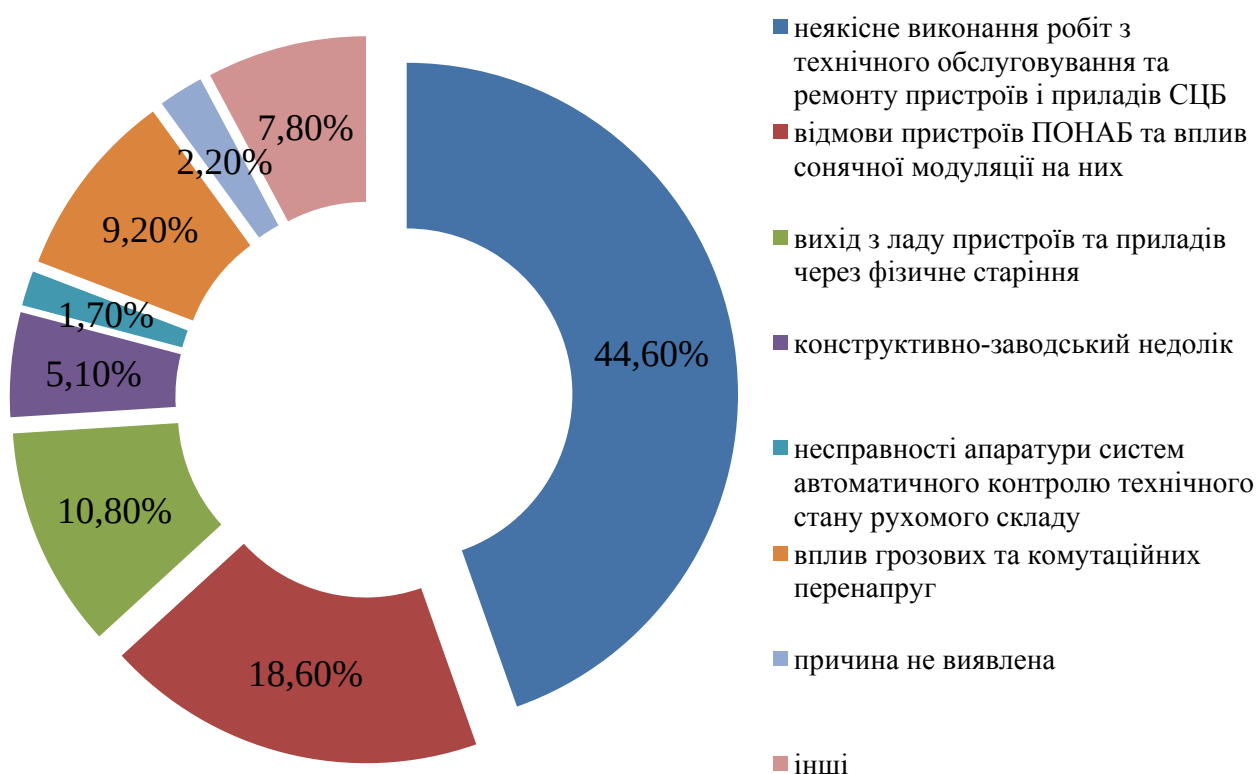


Рисунок 1.3 – Основні причини відмов пристроїв СЦБ та зв'язку, що призвели до затримки поїздів

Загальна кількість затриманих вантажних поїздів з вини господарств сигналізації та зв'язку склала 1950 поїздів із загальним обсягом затримки на 1160 години.

Аналіз відмов пристроїв СЦБ, віднесених за господарством сигналізації та зв'язку показує, що основними об'єктами відмов пристроїв СЦБ є (рис. 1.3):

- вихід з ладу реле, блоків, трансформаторів, випрямлячів, безконтактної апаратури, пристроїв захисту – 1955 відмов або 32,7 %. Основні причини відмов апаратури – обрив обмоток та монтажних проводів в приладах, вихід з ладу напівпровідникових елементів;

- несправність в релейних шафах, на стативах, в колійних коробках – 1090 відмов або 18,2%. Основні причини відмов – несправність штепсельних плат, клем, роз'ємів, монтажу;
- порушення роботи рейкових кіл – 740 відмов або 12,4%. Основні причини відмов в рейкових колах – обрив дросельних перемичок, обрив або відсутність стрілочних з'єднувачів, а також закорочення рейкового кола;
- порушення роботи кабельних ліній – 720 відмови або 12,0%. Основні причини відмов кабельних ліній – внутрішній обрив жил, неякісна пайка, пошкодження кабелів при виконанні робіт, зниження опору ізоляції;
- несправність світлофорів – 525 відмов або 8,8%;
- несправність стрілочних електроприводів, гарнітури, замків Мелентьєва – 455 відмова або 7,6%.

Основними причинами відмов пристроїв СЦБ є експлуатаційні, на долю яких припадає 4840 відмов або 80,9%, та інші, частка яких складає 1220 відмови або 20,4%.

До експлуатаційних відмов відносяться:

- порушення технології виконання робіт (недотримання вимог технологічних карт та керівництв з експлуатації) при технічному обслуговуванні та ремонті пристроїв СЦБ – 2975 відмов або 49,8%;
- вихід з ладу приладів, пристроїв із-за фізичного старіння – 1290 відмов або 21,6%;
- неякісний ремонт та перевірка приладів в РТД СЦБ – 305 відмова або 5,1%;
- причина не виявлена – 335 відмов або 5,6%.

Серед інших відмов – 1220 випадки або 20,4%:

- вплив грозових та комутаційних перенапруг – 715 відмови або 11,9%;
- конструктивно-заводський недолік – 465 відмови або 7,8%.

Основні причини відмов пристроїв СЦБ та зв'язку, що призвели до затримки поїздів:

- неякісне виконання робіт з технічного обслуговування та ремонту пристроїв і приладів СЦБ – 825 відмов, або 44,6% від загальної кількості усіх відмов;
- відмови пристроїв ПОНАБ та вплив сонячної модуляції на них – 345 відмов, або 18,6% від загальної кількості усіх відмов;

- вихід з ладу пристроїв та приладів через фізичне старіння – 200 відмов, або 10,8% від загальної кількості усіх відмов;
- вплив грозових та комутаційних перенапруг – 170 відмов, або 9,2% від загальної кількості усіх відмов;
- конструктивно-заводський недолік – 95 відмов, або 5,1% від загальної кількості усіх відмов;
- затримки трьох поїздів підряд, в яких показання не підтвердилися з причини несправності апаратури систем автоматичного контролю технічного стану рухомого складу – 30 відмов, або 1,7% від загальної кількості усіх відмов;
- причина не виявлена – 40 відмов, або 2,2% від загальної кількості усіх відмов;
- інші – 145 відмов, або 7,8% від загальної кількості усіх відмов.

З розподілу відмов по службі Ш за типами систем та об'єктами (рис. 1.4) можна зробити висновок, що відмови стрілочних переводів хоч і не мають найвищих показників, але займають по своїй позиції вагоме місце серед усіх відмов пристроїв. Крім того, вони мають позитивну динаміку, що свідчить про загальне погіршення стану в експлуатації стрілочних переводів.

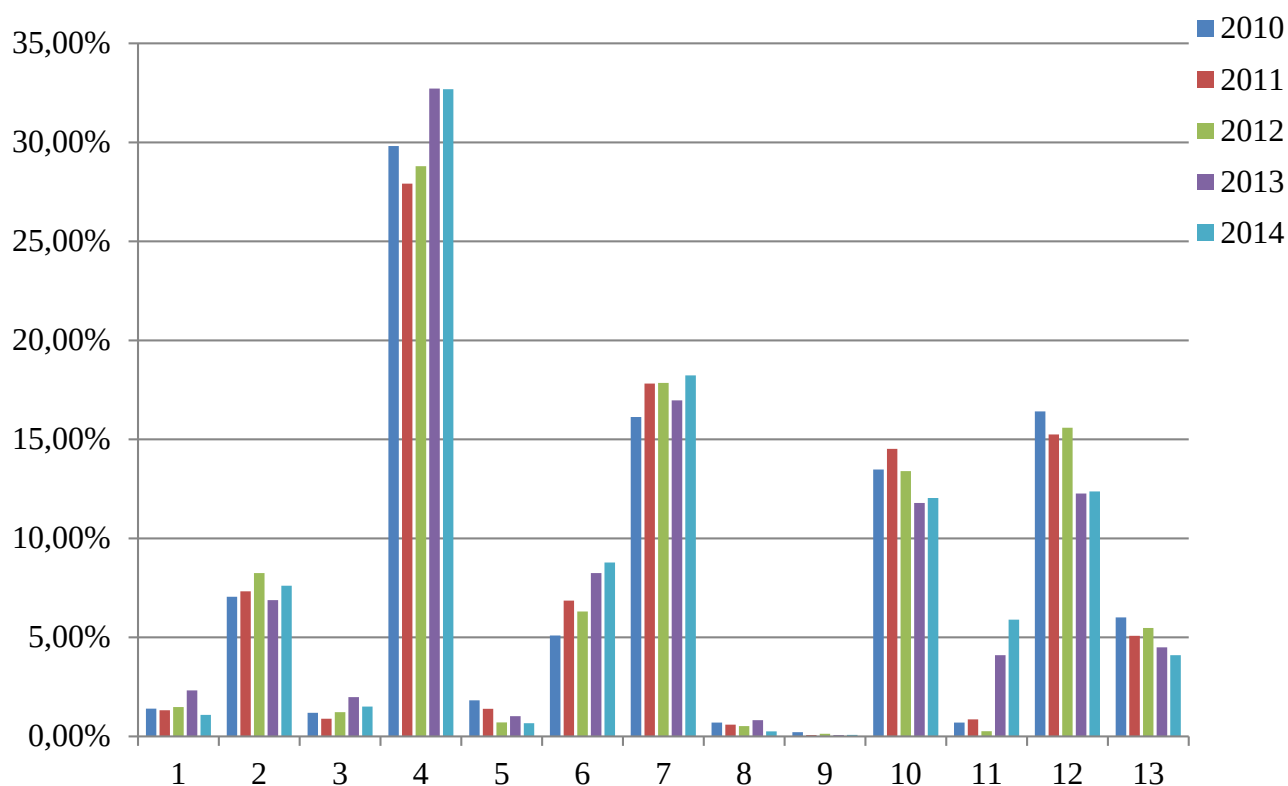
З аналізу відмов стрілочних електроприводів (рис. 1.5), який представлено для електроприводів типів СП, видно, що найбільш уразливим до пошкоджень є автоперемикач, після якого з досить вагомим значенням слідує порушення роботи електродвигуна і з зовсім невеликим показником відмов – несправна механічна передача.

Найбільш поширені несправності асинхронних електродвигунів (рис. 1.6) зображені у вигляді пелюсткової діаграми, де кожне ребро діаграми відповідає певному виду несправності.

Серед несправностей особливе місце займає перевантаження або перегрів статора електродвигуна, так як на нього припадає близько 31 % від загального числа появи несправностей. Частка міжвиткового замикання при цьому більш ніж в два рази менше даного значення і складає всього близько 15 %.

Несправності від пошкодження підшипників, а також з вини пошкодження обмоток статора або ізоляції знаходяться приблизно на одному і тому ж рівні і становлять 12 % і 11 % відповідно. Також мало відрізняються за своїми показниками час-

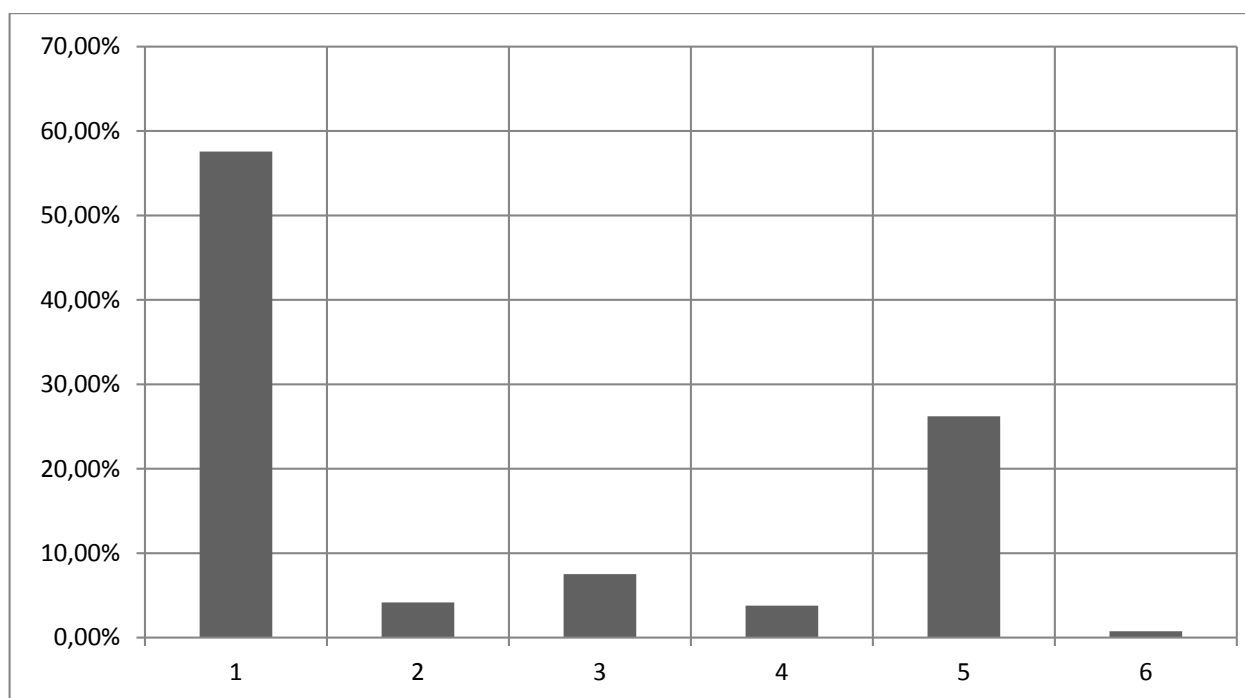
тина несправностей, що відноситься до нерівномірного повітряного зазору між статором і ротором, яка складає близько 9 %, і робота електродвигуна на двох фазах в кількості 8 %.



1 – пульти, табло, апарати управління; 2 – стативи, релейні шафи, колійні коробки; 3 – електроживильні установки; 4 – реле, блоки, трансформатори, випрямлячі, безконтактна апаратура, пристрої захисту; 5 – акумулятори; 6 – світлофори; 7 – стрілочні електроприводи, гарнітура, замки Мелентьєва; 8 – електроприводи автошлагбаумів; 9 – пристрої механізованих та автоматизованих сортувальних гірок; 10 – кабельні лінії; 11 – повітряні лінії; 12 – рейкові кола; 13 – інші.

Рисунок 1.4 – Розподіл відмов по службі ІІІ за типами систем та об'єктами

До менш значимих відносяться несправності унаслідок обриву або ослаблення кріплення стрижнів в білячій клітці – 5 %, ослаблення кріплення обмоток статора – 4 %, дисбаланс ротора електродвигуна – 3 % і неспіввісність валів – 2 %.



1 – порушення контакту автоперемикача; 2 – заклинювання шибєру; 3 - несправність механічної передачі; 4 – порушення контакту блокувального пристрою; 5 – порушення роботи електродвигуна; 6 – інші.

Рисунок 1.5 – Розподіл відмов елементів стрілочних електроприводів



Рисунок 1.6 – Співвідношення найбільш поширених видів несправностей асинхронних електродвигунів

1.2. Стрілочний електропривод змінного струму

1.2.1. Вимоги до стрілочних переводів та стрілочних електроприводів

Згідно з вимогами Правил технічної експлуатації (ПТЕ) [85] стрілочні переводи повинні забезпечувати: щільне прилягання притиснутого гостряка до рамної рейки при крайніх положеннях стрілки; замикання стрілки при зазорі 4 мм і більше між притиснутим гостряком і рамною рейкою; відвід гостряка від рамної рейки на відстань не менше 125 мм; переводити стрілку з одного положення в інше з ходом гостряків 154 мм; механічне запирання гостряків стрілки для запобігання їх відводу при проходженні поїзда; захист від перевантаження двигуна і відтиснення рамної рейки при потраплянні стороннього предмету між гостряком і рамною рейкою; можливість переведення стрілки вручну (рукояткою).

Стрілочні приводи призначені для переводу, замикання й контролю чотирьох положень гостряків стрілочного переводу – нормального (плюсове), переведеного (мінусове), проміжного (середнє) і взрізу.

Забезпечення прилягання притиснутого гостряка в крайніх положеннях стрілки при її справному стані і нормальній ширині колії, передусім, залежить від точності відпрацюванням приводом робочого ходу стрілки. Тому привід повинен забезпечувати необхідну точність робочого ходу стрілки, щоб проміжок між притиснутим гостряком і рамною рейкою був менше 4 мм. При такому зазорі виключається удар у пері гостряка бандажем колеса рухливої одиниці, а також протишерстний взріз стрілки. При проходженні рухомого складу по стрілці на її гостряки впливають вертикальні і горизонтальні сили. Внаслідок виникаючих при цьому вібрацій можливі відхід притиснутого гостряка від рамної рейки і попадання гребенів коліс вагонів в простір між притиснутим гостряком і рамною рейкою, що веде до аварії. Тому надійне замикання гостряків, і особливо притиснутого, є важливою вимогою до стрілочних приводів.

Найважливішою умовою дистанційного керування стрілками є наявність контролю їх положення на посту управління. Тому стрілочні приводи мають обладнуватися датчиком контролю (автоперемикачем), для забезпечення контролю положення

стрілки шляхом перетворення цієї інформації в електричну величину і дистанційної передачі її в орган управління.

В процесі експлуатації стрілок можливе попадання сторонніх предметів між го-стряком і рамною рейкою, що перешкоджає нормальному переводу. При цьому електродвигун має бути захищеним від перевантажень.

Стрілочні приводи, окрім дистанційного, повинні допускати переведення стрілки вручну. При цьому, а також при відкритті приводу електричне живлення повинне відключатися автоматично.

Конструкції стрілочних електроприводів повинні забезпечувати можливість швидкої заміни несправних частин та потребувати мінімум обслуговування.

1.2.2. Причини виникнення та види несправностей стрілочних електроприводів

Для того, щоб мати уявлення про ознаки несправностей стрілочних електроприводів, розглянемо причини відмов у їх роботі. Найбільш характерними причинами відмов у роботі електропривода є: пошкодження редуктора; порушення роботи фрикційного зчеплення; заклинювання шибера з робочою шестернею; розрегулювання контрольних тяг; підгар або порушення регулювання контактів автоперемикача; індивіння або обмерзання контактів автоперемикача; злам контактів автоперемикача; злам шліфта і випадання валика; інші відмови [52].

Відмови електроприводів в основному обумовлені порушенням контакту автоперемикача, несправностями механічної частини та електродвигуна. Порушення контакту автоперемикача є наслідком неправильного регулювання, зламу контактних колодок, важелів, контактів; індивіння контактів; забруднення контактів та ін.

Неправильне регулювання, що призводить до відмов електроприводів, є наслідком неякісного виконання графіка технологічного процесу обслуговуючим персоналом. Злам контактних колодок відбувається через неправильну регулювання врубання ножів, розбиваючих колодки. Однією з основних причин порушення контакту автоперемикача є неправильне регулювання пружин контактних колодок, що є нас-

лідком недотримання відстаней між контактними пружинами колодок і недостатньою глибиною врубання ножів.

Найбільше число відмов припадає на втрату контакту в автоперемикачі взимку і пов'язане з індивідуальними контактами. Для запобігання таких випадків передбачено застосування різних захисних заходів, таких як графітове мастило, змащення гліцерином, обігрів, спеціальні насічки на ножах, закриття оргсклом та ін.

Якщо контактне натискання автоперемикача більше норми, при розмиканні контактів це створить дугоутворення при розриві робочих контактів і їх підгар. Якщо ж контактне натискання менше норми, то можливе порушення електричного кола, особливо в період індивідуальності.

Злам колодочки автоперемикача відбувається зазвичай через неправильне регулювання врубання ножів, які розбивають колодочки. Злам контакту автоперемикача може бути через неправильне регулювання контактів при загинанні кінців контактних пружин, оскільки вони повинні знаходитися на одній прямій без перегинів. Злам може відбутися також зважаючи на часте регулювання контактної губки.

Причинами недостатнього врубання ножів автоперемикача можуть бути такі несправності: палець повзуна, на який спирається замикаючий важіль, знаходиться нижче поверхні барабана через ослаблення кріплення болтів або порушень його розмірів; кулачок автоперемикача впирається в контрольну лінійку внаслідок неправильного її регулювання, що можна виявити шляхом натиснення на контрольну тягу, що викличе переміщення ножів автоперемикача контрольною лінійкою, що перешкоджає западанню кулачка.

Кожен вид несправності має власні особливі ознаки, за якими й можна їх визначати. Для прикладу наведемо можливі причини, які можуть призвести до збільшення часу переводу стрілки і які можуть бути визначені як наступні несправності: люфт муфти з'єднання двигуна з редуктором; нещільне притиснення зубців в роботі редуктора та шибера через зношення зубів щеплення шестерні; понаднормовий люфт вузла Гука; люфт в шарнірних з'єднаннях 1-ї зв'язної тяги з робочою тягою та понаднормовий люфт в з'єднаннях 1-ї зв'язної тяги з сергами; довге дотиснення гострия до рамної рейки через викривлення гострия; понаднормова кількість прокла-

док між сергою та гостряком 1-ї зв'язної тяги, що зумовлено встановленням нетипових прокладок без роз'єднання гостряків, що може призвести до втрати контролю та не прилягання гостряка при підвищенні температури. Централізована стрілка включає в себе власне стрілочний перевід, електропривод і схему управління ним. Несправності стрілочного переводу зазвичай пов'язані з його неякісним обслуговуванням працівниками колії (табл. 1.1) [83, 84]. В першу чергу сюди відноситься брудний стан стрілки, несвоєчасне очищення її від снігу, провисання гостряків стрілки, наявність накату на рамних рейках, невідповідність розмірів нормам утримання і т.д. Поряд з перерахованими відмовами в роботі електропривода зустрічаються й інші несправності (табл. 1.2)

Таблиця 1.1 – Найбільш характерні відмови на стрілочному переводі

Ознака відмови	Найбільш вірогідна причина відмови
При перевірці стрілки на щільність притиснення гостряків стрілка замикається при шаблоні товщиною 4 мм	1. Розширення колії у гостряків стрілки; 2. Викантовка гостряків через ослаблення кореневого кріплення; 3. Відбій рамної рейки внаслідок слабкого його кріплення; 4. Викривлення гостряка; 5. Неправильне регулювання тяг
При переводі стрілки зазор між гостряком і рамною рейкою менше 4 мм, але стрілка переводу не закінчує	1. Звуження колії у гостряків стрілки; 2. Накат на гостряку або рамній рейці; 3. Регулювання приводу без допуску, в результаті чого при зміні температури відбувається недохід стрілки при нормальному зазорі
При переводі стрілки зазор між гостряком і рамною рейкою більше допустимого, але стрілка переводу не закінчує (працює на фрикцію)	1. Напресування снігу або бруду між гостряком і рамною рейкою або в кореновому кріпленні; 2. Викривлення гостряка; 3. Надмірно затягнуті кореневі болти; 4. Завзяті болти упираються в гостряк; 5. Забруднені і не змащені башмаки стрілки 6. Гостряки лежать на-малому числі башмаків
При переводі стрілка не рушає з місця, електродвигун працює на фрикцію, струм фрикції в нормі або ж стрілка переводиться важко, електродвигун споживає підвищений струм	1. Притиснутий гостряк затиснутий накатом рамної рейки; 2. Стрілка сильно забруднена; 3. Угон гостряка; 4. Сильно затягнуті кореневі болти; 5. Розгорнулися упорні болти

Таблиця 1.2 – Характерні несправності в роботі електропривода

Несправність	Імовірна причина	Спосіб усунення
Нестабільна робота фрикції	Перекик третюх поверхонь один відносно одного дисків й відсутність мастильного матеріалу на поверхнях фрикційних дисків	Усунути перекик і змазати фрикційні диски
Стрілка не переводиться, струм менше номінального струму переводу	Ослабло фрикційне зчеплення Відсутність мастильного матеріалу на запірних зубах шибєрної шестерні й шибєру й відсутність зазору між гостряком і рамною рейкою, що дає можливість забезпечити замикаання стрілки при закладці шаблона товщиною 2 мм. Завищена напруга на електродвигуні	Відрегулювати фрикційне зчеплення до номінального струму Шестерня (шестерні) головного вала повинна бути густо змазана мастилом; забезпечити замикаання стрілки при закладці між гостряком і рамною рейкою шаблона товщиною 2 мм. Відрегулювати напругу на електродвигуні
При переводі стрілки відбувається вихід ножів з контактних губок (пружин) із втратою контролю	Сильно затягнуте фрикційне зчеплення й завищена напруга на електродвигуні	Відрегулювати фрикційне зчеплення до номінального струму роботи на фрикцію, але не більше 20-25% номінального струму переводу
На робочих контактах автоперемикачів відбувається дугоутворення з підгорянням контактів	Наприкінці переводу стрілки відбувається повільне перекидання ножів. Наявність утоми в пружинах кручення автоперемикачів, контактне натискання між губками й ножами вище норми Несиметричне урубуння ножів автоперемикача між контактними пружинами	Замінити пружини кручення, відрегулювати контактне натискання Контактні колодки встановити симетрично відносно врублєнних у них ножів
Злам текстолітових колодок автоперемикача	Контактне натискання між контактними пружинами (губками) і ножами менше 4–5 Н та врубуння ножів відбувається з великою силою	Відрегулювати контактне натискання підгинанням ресорних пружин
Втрата контролю положення стрілки при проходженні по ній поїзда	Контрольні тяги не відрегульовані по Т-подібній пластині на зазор 1-3 мм між зубом ножового важеля й робочою бічною поверхнею вирізу в контрольній лінійці	Відрегулювати зазор у межах 1-3 мм між зубом ножового важеля й робочою бічною поверхнею вирізу в контрольній лінійці
На затискачі електродвигуна робоча напруга надходить, але якір не обертається	Обрив обмотки якоря або обмотки збудження	Перевірити омметром справність обмотки якоря й обмотки збудження

З метою забезпечення надійної роботи систем регулювання рухом поїздів, передбачено проведення періодичного контролю параметрів апаратури залізничної автоматики безпосередньо під час її експлуатації [69]. Недоліком існуючої технології обслуговування пристроїв є значні затрати ручної праці та часу, неможливість своєчасного попередження відмов стрілки. Крім цього виявлення тієї чи іншої відмови фіксує обслуговуючий персонал візуальним оглядом, що не дає необхідної точності та достовірності. Це зумовлює необхідність розробки систем автоматизованого діагностування пристроїв залізничної автоматики, оскільки навіть в системах нового покоління диспетчерської централізації рішення про відмови приймається оператором [24, 30, 31, 41].

1.3. Існуючі методи та засоби діагностування стрілочних переводів

1.3.1. Системи технічного контролю стану об'єктів, які використовуються на залізниці

Стрілочний перевід є складною системою взаємозалежних зв'язків механічних та електричних параметрів, оскільки до його устрою входять власні елементи стрілки та електропривод, який в свою чергу складається з електродвигуна та механічної передачі. Методи дослідження та аналізу стану стрілочних переводів мають розрізняти види несправностей та причини, що їх викликають. Розглянемо детальніше існуючі системи технічного діагностування стану стрілочних переводів, які проводяться за існуючими методиками [12, 59, 60, 61, 77, 78, 80, 93].

На залізницях широко застосовуються системи контролю і управління, істотним недоліком яких є показання лише справного чи несправного стану об'єкта контролю. Наприклад, система диспетчерської централізації «Каскад» [34] містить підсистему контролю станційних пристроїв, але контроль колійних пристроїв в системі «Каскад» виконаний на рівні контролю тільки працездатного стану об'єкту. В системі «Каскад» контролюється тільки положення стрілок та замикання їх в маршрут, а також контролюється максимально допустимий рівень струму при переведенні стрілки. Серед недоліків даної системи необхідно відмітити відсутність контролю всіх вузлів та параметрів стрілочного переводу та відсутність фіксації величини

та форми струмової кривої переведення в амперах, яка могла б дати можливість діагностувати стан стрілочного переводу та прогнозувати відмови.

Недоліком же існуючої системи технічної діагностики «Прогноз», яка забезпечує контроль сорока двопозиційних датчиків на двадцяти станціях, на яких також збирається інформація з шістнадцяти сигнальних точок, контроль яких здійснюється за допомогою дев'ятнадцяти датчиків [82], є відсутність контролю аналогових величин на контролюємих станційних об'єктах, та недостатній рівень контролю колійних двохпозиційними датчиками. В стрілочному переводі не має можливості контролювати стан окремих вузлів стрілочного переводу та електропривода, а контролюється лише положення стрілки і її працездатний стан.

В більш сучасних системах АПК ДК (Апаратно-програмний комплекс диспетчерського контролю) та АСДК (Автоматизована система диспетчерського контролю) також контролюються тільки дискретні величини, а тому і їм властиві ті ж самі недоліки, які стосуються системи «Прогноз» [1].

Що стосується конкретно перевірки стрілочних переводів з електроприводами змінного струму, то одним з останніх видів перевірки стану стрілочних переводів є спосіб дистанційної діагностики стрілочного переводу з електроприводом змінного струму [81]. Суть способу дистанційної діагностики стану стрілочного переводу з електроприводом змінного струму полягає в тому, що виділяють тільки активну і миттєву потужність в колі навантаження електропривода, наприклад, за допомогою датчика Холла, а потім детектують і осцилографують криву навантаження і по характеру зміни її гармонік роблять висновок про стан стрілочного переводу.

Недоліком даного способу дистанційної діагностики стану стрілочного переводу з електроприводом змінного струму є відсутність аналізу за часовою залежністю струму, що протікає в робочому колі електропривода під час переводу стрілки, а також обмежене число визначення кількості дефектів лише за характером зміни гармонік кривої навантаження. Другим недоліком наведеного способу є під'єднання до схеми для проведення вимірювань за допомогою індивідуальних датчиків струму, яких необхідна велика кількість для підключення до кожного проводу живлячої двигун мережі.

1.3.2. Автоматизований контроль параметрів стрілочних переводів

Система діагностування стрілочного електродвигуна та стрілочного переводу функціонує без додаткових датчиків і без перешкод для нормального функціонування електричної централізації [62]. Винести рішення про справність і працездатність двигуна можна за допомогою аналізу кривої часової та частотної залежності струму. Для реєстрації струму, необхідно створити наступну підсистему діагностування (рис. 1.7).

В робоче коло стрілочного приводу в лінійні провідники Л1 і Л2 встановлюється невеликий опір $R1$ (1-2 Ом). Падіння напруги на резисторі $R1$, включеному послідовно в коло живлення двигуна, пропорційне рівню струму, який протікає через стрілочний двигун.

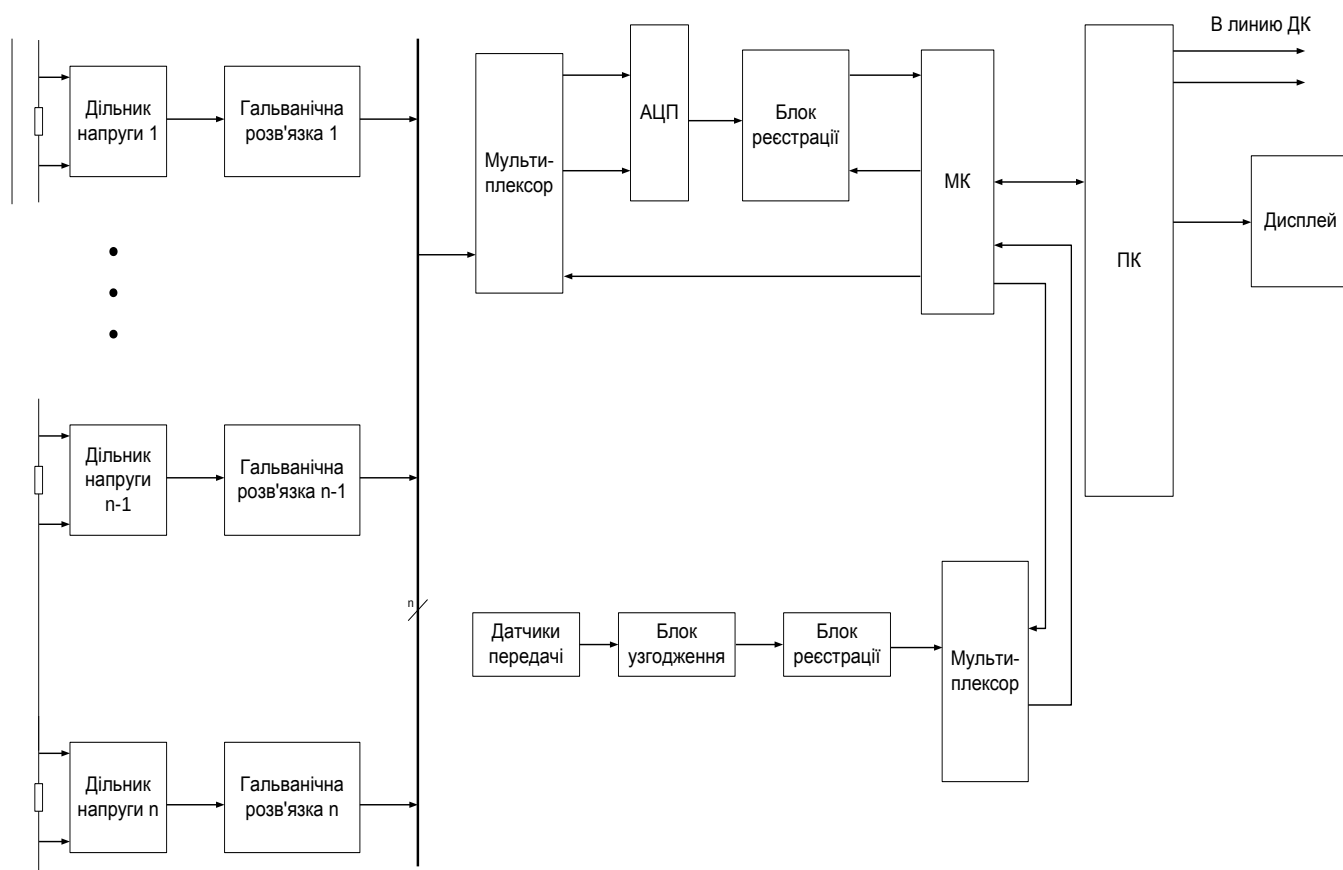


Рисунок 1.7 – Структурна схема системи діагностики стрілочних двигунів та переводів

В основі функціонування даної системи закладено наступний принцип. При переключенні стрілочного комутатора датчик переводу реєструє команду на переведення стрілки. Після цього сигнал потрапляє до блоку узгодження рівнів сигналів і подається до блоку реєстрації початку переводу стрілок.

Структура системи, яка реалізується для малих станцій з відсутнім маршрутним набором наступна. Мікроконтролер циклічно підключає вихід блоку реєстрації на вхід мультиплексора і постійно перевіряє присутність сигналу на всіх його входах. Отримавши сигнал на вході мультиплексора, мікроконтролер визначає номер стрілки, яка буде зараз переводитись, і подає сигнал на другий мультиплексор, через який відбувається з'єднання стрілки, яка переводиться з відповідним входом аналогово-цифрового перетворювача. Цей процес відбувається за дуже короткий інтервал часу і мікроконтролер встигає підключитись на прийом сигналу від аналогово-цифрового перетворювача за час, який проходить між включенням нейтрального та поляризованого пускових стрілочних реле схеми керування стрілкою. Момент спрацьовування поляризованого реле вже записується в мікроконтролер.

У разі використання системи на електричній централізації великих станцій, де застосована система з маршрутним набором, який виконується за принципом натискання двох кнопок, принцип функціонування системи діагностування та контролю стрілочних переводів буде наступний. При маршрутному наборі стрілки по встановленому маршруту переводяться автоматично за допомогою плюсового та мінусового керуючих реле, а стрілочні комутатори не використовуються. Оскільки датчики реєстрації переводу стрілки фіксують завдання переводу стрілки від стрілочних комутаторів, то при маршрутному наборі працювати вони не будуть. Тому необхідне встановлення додаткових датчики на реєстрацію натискання поїзних та маневрових кнопок. Після реєстрації датчиками натискання кнопок початку та кінця маршруту інформація надійде через блок узгодження, блок реєстрації, мультиплексор та мікроконтролер в обчислювальну машину. Комп'ютер визначить по натиснутих кнопках початку і кінця маршруту до якої стрілки необхідно підключати аналогово-цифровий перетворювач.

Побудована система надає додаткову можливість підключитись для фіксації кривої струму до тієї стрілки в маршруті, яка перевірялась найдавніше. В разі встановлення черговим по станції маршруту індивідуальним переводом кожної стрілки, або при перевірці стрілок на щільність прилягання перевід стрілки фік-

суватиметься по алгоритму, який використовується для електричної централізації малих станцій. При одночасному переводі декількох стрілок можна проводити запис тільки однієї кривої струму (в іншому випадку система значно ускладнюється), тому комп'ютер визначає яка стрілка переводилась раніше і підключає її на запис кривої часової залежності струму.

Після спрацьовування пускового поляризованого реле по резистору починає протікати робочий струм, падіння напруги через перетворювач попадає до блоку гальванічної розв'язки і через відкритий мультиплексор проходить на аналого-цифровий перетворювач, в якому оцифровується і в цифровій формі передається на реєстр-замикач з якого циклічно зчитується мікроконтролером. Оцифрована форма кривої струму електродвигуна стрілочного переводу записується в пам'ять мікроконтролера і потім передається в персональний комп'ютер. В персональному комп'ютері виконується порівняння кривої струму зі зразковою кривою і за результатами виносяться рішення про стан стрілочного переводу. Криві зберігаються в масиві на протязі заданого часу, що дає змогу відстежувати розвиток поступових відмов та прогнозувати час досягнення відмовою критичного значення.

1.3.3. Вдосконалення експлуатації електродвигунів засобами інтелектуальних систем

Для автоматизації процесів експлуатації парку електричних двигунів в якості базових обрані процедури моніторингу станів технічних систем, а також їх діагностики. Метою процедур моніторингу є збір оперативних даних про кожну технічну систему, що на практиці має виконуватися при знятті кривих струму електродвигунів в релейній кімнаті. Отримані при цьому дані піддаються перетворенню і первинному аналізу, а потім передаються в інформаційні бази даних і використовуються для аналізу, моделювання, діагностики, а також вирішення інших завдань експлуатації парку електричних двигунів [112].

При діагностиці встановлюються чотири класи технічного стану електродвигуна: справний, коротке замикання обмотки, коротке замикання пластин колектора, обрив секції якоря.

Автоматизована система експлуатації парків електродвигунів залізничних стрілочних переводів заснована на аналізі значень достовірності несправностей, які обчислюються модулем діагностування електродвигунів. Модуль моніторингу електродвигунів здійснює постійний контроль технічного стану електродвигунів. Постійний контроль в даному випадку реалізується наступним чином. Кожен електродвигун має відповідну йому індивідуальну модель двигуна, яка зберігає спектральні характеристики справного стану двигуна. Спектральні характеристики справного стану електродвигуна отримують після установки справного двигуна в стрілочний привід і запуску електродвигуна на переведення стрілки в умовах робочого навантаження. Модуль моніторингу порівнює спектр робочого струму електродвигуна зі спектром справного стану. При цьому оцінка поточного технічного стану електродвигуна відбувається без його вилучення з стрілочного приводу (оцінка за поточним станом). При виявленні істотних відмінностей між спектром справного стану і поточним спектром робочого струму електродвигуна модуль моніторингу передає спектральні характеристики аналізованого електродвигуна в модуль діагностування.

Технологія експлуатації парків електродвигунів залізничних стрілочних переводів за поточним технічним станом заснована на використанні моделі парку двигунів та індивідуальних моделей двигунів. Модель парку електродвигунів дозволяє визначати поточний технічний стан двигунів, виявляти приховані в них несправності і отримувати оцінку вартості ремонту електродвигуна. Індивідуальні моделі електродвигунів дозволяють передбачити технічний стан двигунів і отримувати оцінку прогнозованої вартості ремонту електродвигуна.

1.3.4. Альтернативні способи проведення технічного діагностування електроприводів та електродвигунів змінного струму, які використовуються в промисловості

Альтернативні методи включають моніторинг вібрації, аналіз спектра струмів, контроль електромагнітного поля, тепловізійні дослідження та аналіз акустич-

ного шуму, створюваного при роботі двигуна. Вібраційний моніторинг та аналіз спектра струмів набули найбільшого поширення з огляду з відносної простоти реалізації вимірювань, високої точності та надійності. Окремо можна виділити багато різних методів виявлення несправностей асинхронних електродвигунів, які можна розділити на дві групи: контактні і безконтактні [67, 76].

Для контролю технічного стану стрілочних електроприводів і їх елементів ефективний метод акустичної емісії, заснований на аналізі параметрів акустичного випромінювання від працюючих вузлів. Застосувати цей метод дозволяє система акустичного контролю й діагностики (САКП).

САКП призначена як для заводського контролю, здійснюваного при виробництві електроприводів, так і для періодичних планових перевірок, проведених на місцях установки обладнань. Система акустико-емісійного (АЕ) контролю дозволяє відслідковувати технічний стан основних вузлів (двигуна, редуктора, перемикача) стрілочного електропривода в реальному робочому режимі. Шляхом аналізу основних параметрів АЕ-випромінювання від елементів електропривода оцінюється ступінь деградації контрольованого вузла і його залишковий ресурс. При цьому необхідність планових ремонтів електропривода відпадає, заміна й ремонт здійснюються виходячи з фактичного стану елементів.

САКП має енергонезалежну пам'ять і інтерфейс зв'язки з персональним комп'ютером для зберігання, передачі й подальшої обробки даних.

Метод акустичної емісії, на якому заснована робота САКП, припускає реєстрацію потоку акустичних імпульсів, що виникають у результаті взаємодії елементів конструкції контрольованого об'єкта, і їх обробку з метою одержання набору інформативних параметрів.

Результати вимірів потоку акустичних імпульсів по кожному каналу виводяться у вигляді відповідних графіків на дисплей. Реєстрація й вимір параметрів АЕ-сигналу починається з перетворення акустичних (ультразвукових) коливань об'єкта контролю в електричні сигнали за допомогою п'єзоелектричного перетворювача, потім вони підсилюються й відфільтровуються попередніми підсилювачами й по кабельних лініях надходять на відповідні входи цифрових блоків реєстрації АЕ. При по-

рівнянні акустичного образу еталонних елементів нового приводу з акустичним образом реального елемента оцінюється ступінь деградації контрольованого вузла.

Акустичні датчики вимірювальної системи розташовуються на основних вузлах електропривода. Рішення про технічний стан контрольованого вузла ухвалює старший технік дистанції дороги відповідно до даних, зазначених у таблиці.

Таким чином, сукупність параметрів потоку акустичних імпульсів у процесі роботи стрілочного електропривода може служити критерієм ступеня зношування контрольованого вузла й залишкового ресурсу механізму.

Що стосується електродвигунів, то для їх діагностування застосовується багато методів, серед яких найбільшого поширення знайшли: діагностичні апаратно-програмні комплекси; спосіб функціональної діагностики асинхронних електродвигунів; вібродіагностичний метод; автоматична та автоматизована система діагностики електродвигунів; вейвлет-аналіз; вібродіагностика асинхронних двигунів за допомогою фазових портретів (траєкторій коливань); кепстральний аналіз; ультразвукова дефектоскопія і акустична діагностика; статистичні методи обробки сигналів вібрації; діагностика на основі нейронних мереж [125].

Найбільш вдалим методом є використання програмно-апаратного комплексу, що складається з комп'ютера і цифрового пристрою-посередника, який провадить необхідні вимірювання і передає їх у комп'ютер. В якості вимірюваних електричних величин можуть бути струм, споживана потужність і т.д. Програма, що виконується на комп'ютері, повинна, у свою чергу, певним чином обробити вхідну інформацію і визначити найбільш ймовірний вид пошкодження працюючого електродвигуна або зробити висновок про його справність. Цей метод найбільш ефективний, оскільки дозволяє зберігати на комп'ютері великі бази даних з інформацією про відслідковується динаміці ушкоджень електродвигуна з подальшим прогнозуванням виходу його з ладу.

Спосіб функціональної діагностики асинхронних електродвигунів полягає в підвищенні надійності та поліпшенні якості захисту електродвигунів за рахунок своєчасної діагностики обмоток статора з виявленням коротких замикань в обмотках і зниження опору ізоляції обмоток щодо корпусу асинхронних електродвигунів.

Для цього в способі контролюються дві величини – опір ізоляції обмоток статора щодо корпусу електродвигуна і відношення повних опорів обмоток для кожної пари обмоток електродвигуна. Контрольовані величини визначаються непрямым шляхом за допомогою діючого значення струму витoku з обмоток на корпус електродвигуна і діючих значень струмів або напруг на обмотках статора електродвигуна. При цьому при контролі другої величини відбувається оцінка не фактичного значення повного опору обмотки, а попарне порівняння повних опорів обмоток статора електродвигуна відносно один одного.

Недоліком даного способу є відсутність можливості діагностики міжфазних замикань обмоток статора, оскільки частоти, характерні для міжвиткових замикань, на яких виконується аналіз амплітуди споживаного струму, можуть не відповідати частотам, характерним лінійним замиканням. Невідомо також, яким буде результат діагностики за наявності декількох міжвиткових замикань одночасно. При наявності перешкод і помилкових гармонік в мережі на частотах, характерних для міжвиткового замикання в обмотках статора, або при збігу з даними частотами частот гармонік, відповідних механічних пошкоджень, результат діагностики може бути невірним.

Також поширеним методом діагностики електродвигунів в даний час є вібродіагностика, заснована на вимірюванні та аналізі вібрацій корпусу двигуна. Комплекс параметрів вібрації практично повністю характеризує технічний стан працюючого агрегату і дозволяє прогнозувати виникнення несправностей і аварій АД і електро-механічного устаткування. Критерії, за допомогою яких оцінюється ефективність застосування тих чи інших методів вібродіагностики, а також опис найбільш поширених груп методів вібродіагностики АД.

Незважаючи на розвиненість технічних засобів вимірювання вібрацій і методів їх аналізу, вібродіагностика має ряд недоліків, обумовлених контактним способом кріплення датчиків до об'єкту. Додаткову інформацію про технічний стан об'єкта можна отримати на основі вимірів тимчасових і спектральних характеристик фазних струмів і полів розсіяння, що існують поза корпусу двигуна. Дані методи діагностики є безконтактними, що є безсумнівним їх перевагою перед вібродіагностика.

1.4. Висновки, постановка мети та задач дослідження

За статистичними даними можна зробити висновок, що динаміка кількості транспортних подій за період 2010-2014 рр. свідчить про зменшення випадків, які потрапили до класифікації транспортних подій. Проте кількість подій залишилася на тому ж рівні.

Аналіз даних подій показав, що на долю невиконання робіт з технічного обслуговування та порушення технології виконання робіт припадає майже половина усіх випадків. Ці порушення сталися через не виконання працівниками своїх посадових обов'язків або через недбале ставлення до них. Це ж стосується і причин виникнення відмов пристроїв СЦБ та зв'язку. Існуючі методи і вимірні засоби морально і технічно застаріли. Розглянуті основні властивості стрілочних електроприводів, а також види несправностей і вимоги щодо правил експлуатації та обслуговування показали, що технологія обслуговування стрілок електричної централізації, яка основана на планово-попереджувальному ремонті передбачає періодичний контроль об'єктів з виходом обслуговуючого персоналу на колії пов'язана з великими затратами часу, складається з великої кількості ручних операцій та покладається на візуальні спостереження за роботою і вимірами, а тому не може забезпечити необхідної точності. При цьому вимірювання електричних величин проводиться приладами без автоматичної фіксації даних, що не дозволяє збереження отриманих результатів для подальшого їх застосування з метою прогнозування станів.

Існуючі методи і засоби контролю та діагностування стрілочних переводів, не дозволяють автоматично виявляти та класифікувати відмови стрілочних переводів з електроприводами змінного струму. Через це в результатах роботи систем не вдається позбавитись від людського фактору та уникнути великих затрат часу на виконання вимірювань параметрів стрілок електричної централізації працівниками. Крім того, в існуючих системах відсутня автоматична реєстрація відмов, яка б надала можливість одержувати оперативну інформацію про технічний стан стрілок електричної централізації.

На даний час існує необхідність у системі, що зможе безперервно діагностувати й прогнозувати стан стрілочного переводу, завдяки чому можна буде зменшити час затримок потягів, які виникають у випадках відмов стрілок.

Необхідно створити таку систему, що не тільки прискорить пошук відмов, а зможе їх виявляти та заздалегідь прогнозувати. Такими системами в залізничній автоматизації є системи автоматизованих технологічних процесів, які виконують функції технічного діагностування.

Метою роботи є розробка методу автоматизованого діагностування стрілочного переводу, який дозволить завдяки постійному контролю параметрів під час кожного переведення стрілки слідкувати за їх зміною та робити висновки про відповідність їх нормативним значенням технічної документації.

Досягнення поставленої мети можливо при вирішенні наступних задач:

- провести аналіз причин виникнення та видів несправностей стрілочних переводів;
- провести аналіз методів та засобів існуючої технології обслуговування стрілочних переводів;
- розробити комплексну математичну модель електромеханічних процесів, що відбуваються в стрілочному електроприводі змінного струму в працездатному стані та з певними дефектами при переводі стрілки для визначення діагностичних ознак найбільш поширених дефектів стрілочного переводу;
- експериментально дослідити електричні характеристики стрілочних електроприводів змінного струму в умовах експлуатації при переводі стрілки з електричними та механічними дефектами для розробки методу діагностування стрілочних переводів;
- розробити та науково обґрунтувати метод автоматизованого діагностування стрілочних переводів без виключення їх з експлуатації на основі аналізу функції струму переведення стрілки в часовій та частотній областях;
- розробити комп'ютерну програму автоматичного діагностування технічного стану стрілочних переводів з електроприводом змінного струму;

- розробити технологію обслуговування централізованих стрілок з електроприводами змінного струму в умовах експлуатації з додатковим застосуванням автоматизованої системи контролю їх параметрів;
- розробити дослідний зразок автоматизованого апаратно-програмного комплексу для контролю параметрів стрілочних переводів;
- провести техніко-економічне обґрунтування розробки.

РОЗДІЛ 2

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЦЕНТРАЛІЗОВАНИХ СТІЛОК В УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

2.1. Обґрунтування проведення експериментальних досліджень для визначення діагностичних ознак пошкоджень стрілочних переводів

Експериментальні дослідження стрілочних переводів проводяться з метою визначення характеристичних ознак змін електричних параметрів, за якими можливо розробити процедуру діагностування.

Задачею технічного контролю параметрів стрілочних переводів є вимірювання певних електричних, часових та механічних параметрів відповідно до графіку обслуговування та проведення регулювання у випадку необхідності з записом у журнал. Обслуговування централізованих стрілок без виключення їх із експлуатації проводяться у технологічні вікна електромеханіком сигналізації, централізації та блокування, що проводить вимірювання безпосередньо на полі та у релейній, за допомогою чергового по станції, що проводить переключення стрілки.

Задачею автоматизованої технічної діагностики стрілочних переводів також є визначення їх технічного стану та у випадку несправного стану, за можливістю, – локалізація (визначення місця дефекту) з рівнем деталізації в залежності від глибини діагностування. Особливістю такого контролю є те, що вимірювання мають виконуватися безпосередньо під час технологічних операцій по завданню та скасуванню поїзного маршруту. Такий тип діагностування за прийнятою класифікацією відноситься до функціонального з усіма властивими перевагами та недоліками. Основною перевагою, очевидно, є безперервність контролю в автоматичному режимі і можливість попередження передвідмовного стану за контролем зміни експлуатаційних параметрів у часі. В роботі можливості попередження передвідмовного стану приділено основну увагу.

Основні дефекти стрілочних переводів з асинхронним приводом проаналізовано у попередньому розділі. Для вирішення поставленої мети необхідно визначити параметри і критерії віднесення передвідмовного або несправного стану стрілочних

переводів до наведених дефектів. Оскільки стрілочні переводи розподілені у горловинах станції, стрілочних секціях, по станційних коліях, то розробка датчиків, розміщених в стрілочних електроприводах з кабелями, що з'єднують їх з пристроєм на станції, який приймає рішення, призвело б до значного підвищення собівартості всієї системи і її експлуатації, так як потребувала б додаткового контролю та обслуговування датчиків і ліній зв'язку, що є економічно не раціональним. Тому вибраний метод діагностування централізованих стрілок за струмом їх переведення у плюсове та мінусове положення. Але використання одного параметру для діагностування накладає певні обмеження і знижує точність діагнозу.

Наявність спарених та одиночних стрілок, різних марок хрестовин, різної довжини кабелю та ін. також ускладнює задачу.

Для кожного типу стрілочного електропривода з конкретним типом електродвигуна, встановленого на стрілці з визначеною маркою хрестовини, існують відомі технічні показники, відповідність яким підтверджує справність СП [23, 92].

До параметрів роботи стрілочних переводів, за якими можна зробити висновки про відсутність чи наявність дефектів в процесі експлуатації та обслуговування відносять, згідно з нормативними інструкціями [47, 87], час перевodu стрілки та струм при переводі стрілки.

Відхилення цих параметрів від встановлених значень потребує проведення обслуговування та регулювання СП.

В даному розділі проведені експериментальні дослідження функціонування централізованих стрілок в умовах експлуатації з метою визначення ознак, характерних до зазначених дефектів, які можна було б використати для розробки автоматизованої системи контролю.

2.2. Визначення найбільш поширених відмов стрілочних переводів

Оскільки автоматизована система технічного діагностування СЕП, яка розроблюється, передбачає контроль централізованих стрілок без виключення з експлуатації, то в процесі виконання досліджень на діючій станції були встановлені ряд поломок СЕП, для визначення яких за домовленістю запрошували автора даної роботи.

Таблиця 2.1 – Найбільш поширені дефекти стрілочних переводів

Дефект	Спосіб визначення	Кількість стрілок (марка хрестовини)			
		сезон року			
		I	II	III	IV
Забруднення подушок стрілки	Завищене показання амперметра на пульті керування, візуальне спостереження	4 (1/11) 9 (1/9)		3 (1/11) 2 (1/9)	
Віджим рамної рейки	Стрілка не замикається при закладенні щупа 2 мм, візуальне спостереження	1 (1/11) 1 (1/9)		4 (1/11) 6 (1/9)	
Відсутність зазору в корені гостряка стрілки	Візуальне спостереження	5 (1/11)		1 (1/9)	
Засипання стрілочного переводу сипучими матеріалами	Завищене показання амперметра на пульті керування, візуальне спостереження	3 (1/9)	1 (1/9)		
Люфти в з'єднаннях робочої тяги стрілки	Візуальне спостереження, ручні методи визначення	4 (1/11) 2 (1/9)		2 (1/11)	
Злам основи кріплення двигуна	Візуальне спостереження	1 (1/11) 1 (1/9)	2 (1/11)		
Завищений струм переведення стрілки	Завищене показання амперметра на вимірювальному приладі	1 (1/11)	3 (1/11) 1 (1/9)		
Завищений струм роботи на фрикцію	Завищене показання амперметра на вимірювальному приладі	2 (1/11) 1 (1/9)			2 (1/11)
Занижений струм роботи на фрикцію	Занижене показання амперметра на вимірювальному приладі	3 (1/11)			
Обмерзання контактів автоперемикача	Візуальне спостереження	6 (1/11) 2 (1/9)			
Забруднення контактів автоперемикача	Візуальне спостереження		2 (1/11) 3 (1/9)	1 (1/11)	1 (1/11)
Злам пружини контактної колодки	Візуальне спостереження	2 (1/11)	1 (1/11)	4 (1/11)	1 (1/11)
Розбиття контактної колодки	Візуальне спостереження	3 (1/9)	1 (1/11)		
Дефекти підшипників двигуна	Візуальне спостереження		1 (1/9)	1 (1/11)	
Коротке замикання в статорі двигуна	Завищене показання амперметра на вимірювальному приладі в одній з фаз	1 (1/11)	1 (1/11)		
Пошкодження ротора двигуна	Візуальне спостереження (нерівномірне обертання валу з невластивими звуками при роботі електродвигуна)		1 (1/11)		

Виконавши аналітичний огляд літератури та провівши визначення найбільш поширених дефектів стрілочних переводів дослідним шляхом їх було зведено в табличний вигляд (табл. 2.1) із зазначенням кількості СЕП з однотипними дефектами та

пори року їх визначення, які вказані римськими цифрами починаючи з зими. Стрілки ввімкнені в електричну централізацію з маркою хрестовини 1/11 по головному ходу і 1/9 на бокових коліях, двигунами змінного струму МСТ-0,3 з робочою напругою 190 В, рейки Р65 укладені на залізобетонні шпали.

За час проведення досліджень було виявлено лише по одному випадку несправності стрілочного електродвигуна типу ексцентриситет ротора та пошкоджений підшипник електродвигуна, оскільки вони не є розповсюдженими. Тому для отримання необхідної вибірки дані несправності були штучно реалізовані і досліджені в лабораторії університету.

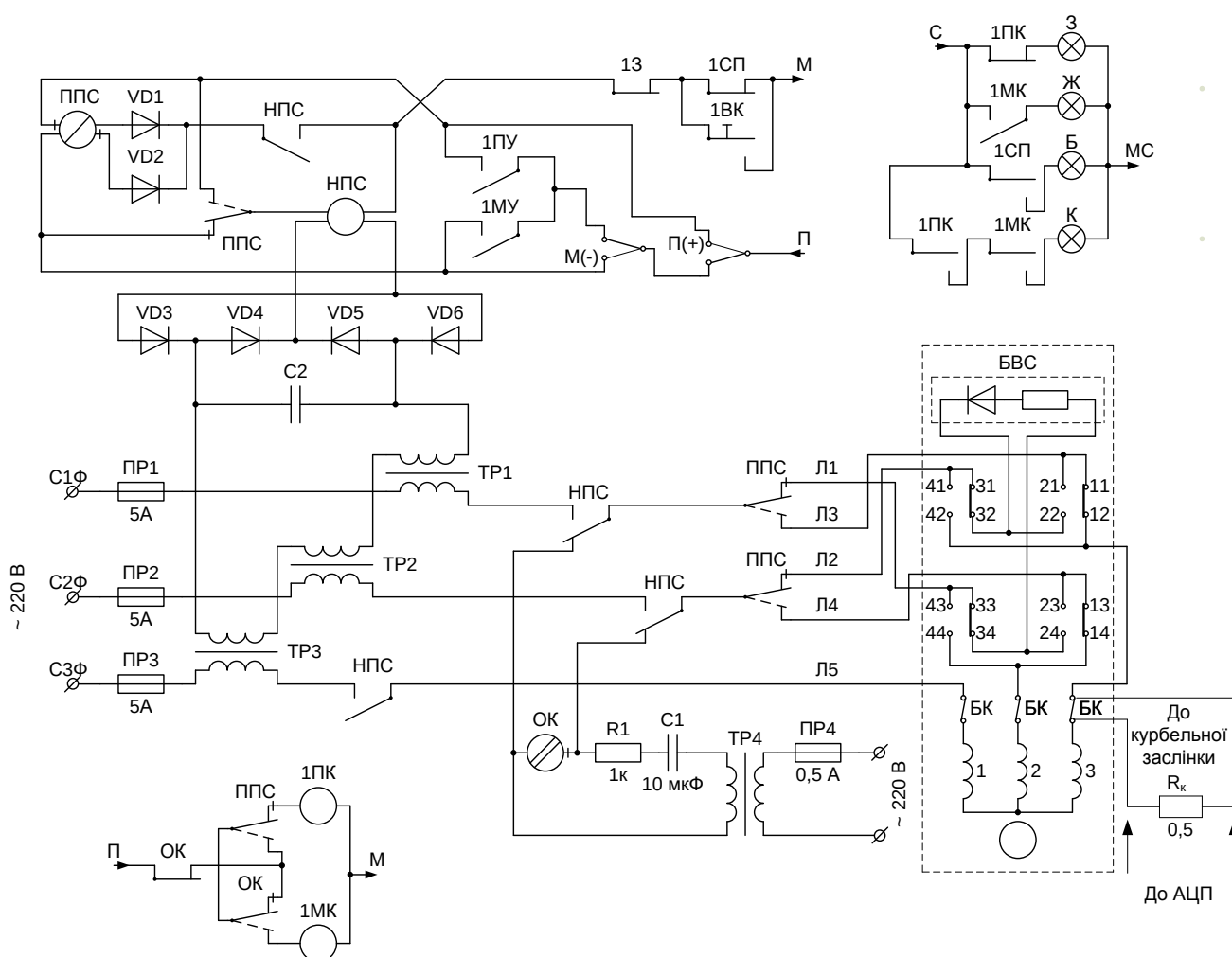
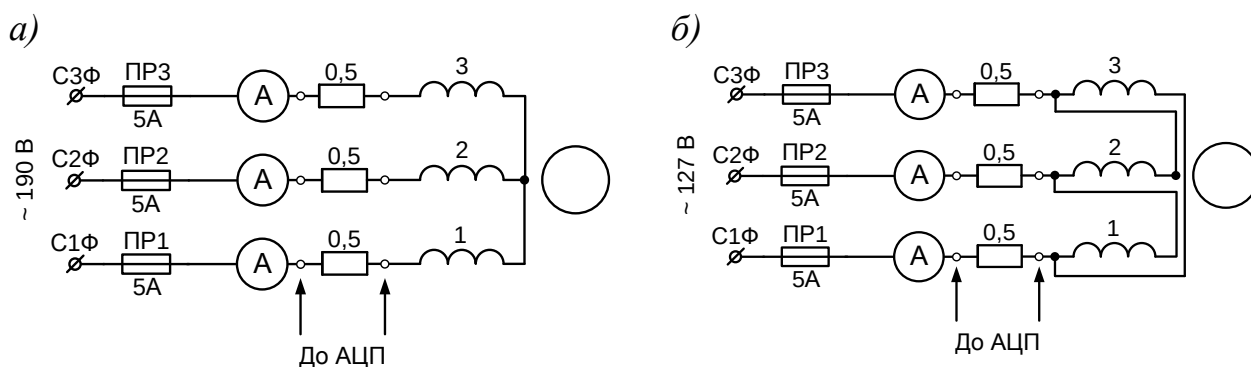


Рисунок 2.1 – Схема підключення вимірювального пристрою до електропривода з п'ятипровідною схемою управління

Під час проведення вимірювань перевід стрілочного електропривода виконувався на випробувальному стенді ввімкненого за схемою (рис. 2.1), ідентичною до

п'ятипровідної схеми управління стрілкою [50, 94-97, 105]. Для цього виконується підключення (рис. 2.1) аналого-цифрового перетворювача (АЦП) до робочого кола схеми управління стрілкою. Для цього в розімкнуте курбельним вимикачем робоче коло електропривода ставиться на один з виводів перемикача, а на іншій – послідовно включається шунт з опором 0,5 Ом, до якого і підключається АЦП (на рис. 2.1 показано стрілочками). Проводиться запис кривої струму, який протікає в колі стрілочного електродвигуна змінного струму при переводі стрілки з одного положення в інше.

Дослідження роботи стрілочного електродвигуна окремо проводилося шляхом встановлення двигуна в корпус електропривода без під'єднання зрівнювальною муфтою валу двигуна до входного валу редуктора. Експеримент був виконаний для підключення обмоток статора зіркою (рис. 2.2, а) і повторений для випадку підключення обмоток статора трикутником (рис. 2.2, б) з підключенням до мережі живлення змінного струму напругою 190 В і 127 В відповідно.



а) з'єднання обмоток зіркою; б) з'єднання обмоток трикутником.

Рисунок 2.2 – Схема підключення вимірювального пристрою до електродвигуна

До несправностей стрілочних електродвигунів змінного струму відносяться загальновідомі пошкодження промислових електродвигунів змінного струму [132, 133, 134]. При виконанні дослідів було також практично доведено, що робота електродвигуна з невеликою несправністю, може призвести до розвитку її в серйозне пошкодження і зупинки роботи електропривода та появи необхідності виконання більш складного ремонту. В реальних умовах експлуатації це означає, що складання маршруту через цю стрілку стане неможливим, а електромеханік разом з працівни-

ком колії, прибувши за вказівкою чергового по станції, лише почнуть встановлювати причину відмови.

Щоб визначити обсяг ремонту асинхронного електродвигуна, необхідно виявити характер його несправностей. Несправності асинхронного двигуна можуть бути як в схемі керування так і конструкції самого двигуна. До несправностей схем керування відноситься обрив одного або декількох проводів, що з'єднують асинхронний двигун з мережею, або неправильне з'єднання; перегорання плавкої вставки запобіжника, знижена або підвищена напруга живильної мережі, перевантаження асинхронного двигуна, погана вентиляція.

Конструктивні несправності асинхронного двигуна можуть бути механічними і електричними. До механічних пошкоджень відносяться: порушення роботи підшипників, деформація або поломка вала ротора, ослаблення кріплення полюсів або сердечника статора до станини, обрив або сповзання дрітчастих бандажів роторів, тріщини в підшипникових щитах або в станині та ін. Серед електричних пошкоджень виділяють наступні: міжвиткове замикання, обриви в обмотках, пробій ізоляції на корпус, старіння ізоляції, неправильні з'єднання в котушках та ін.

Розберемо діагностичні ознаки несправностей і характерні причини, що викликають порушення справної роботи стрілочних електродвигунів. Підвищення напруги мережі призводить до рівномірного перегрівання сердечника статора. Якщо ж сердечник статора перегрівається місцями, то це може бути свідченням або наявності задирок, що утворилися при обточуванні статора і замикають листи сердечника, або зачіпання ротором статора при обертанні.

Перегрів обмотки статора відбувається також у наступних випадках: перевантаження електродвигуна, занижена напруга мережі, сполучення витків в обмотці статора, неправильне з'єднання вивідних кінців обмоток, коротке замикання між фазами.

Поганий контакт між стрижнями обмотки і короткозамикаючими кільцями ротора внаслідок розриву стрижня або його відриву від кільця стає причиною поганого запуску в хід електродвигуна і перегріву ротора. Супроводжується дана несправність тим, що двигун під час пуску не може розвинути номінальної частоти обертання і видає гудіння, крутий момент знижений, струм в статорі пульсує. У мережі

живлення виникнуть коливання струму з частотою, рівній частоті ковзання і коливання напруги. При обриві в короткозамкненому роторі декількох стрижнів пуск двигуна стає неможливим.

Електродвигун зовсім не йде в хід також і у випадку обриву в одній фазі статора при включенні зіркою. При цьому струм в двох інших фазах завищений. Якщо обрив станеться під час роботи електродвигуна, він перевантажиться. При з'єднанні обмотки в трикутник обрив однієї з фаз призведе до значного перевищення струму в провіднику між двома іншими фазами над зниженим струмом в провідниках, що контактують з цією фазою. При обриві в одній паралельній гілці підвищиться струм в інших гілках, що призведе до перегріву цих гілок значно більше за інших. При цьому пуск двигуна можливий, але його потужність значно знизиться. Робота двигуна на двох фазах неприпустима, та як це призведе до виходу його з ладу. Обмотка загальмованого двигуна при подачі живлення по двом фазам перегрівається зі швидкістю приблизно 7°C/сек [11, 63].

Діагностичною ознакою статичного ексцентриситету ротора асинхронного двигуна традиційно служать величини додаткових гармонійних електрорухомих сил в струмах і магнітних полях асинхронних двигунів, викликані нерівномірністю повітряного зазору. Поява ексцентриситету ротора в асинхронному двигуні призводить до значного зростання величин ударного електромагнітного моменту при прямому пуску електродвигуна. Це несприятливо впливає на сам двигун і приводний механізм, знижуючи термін їх служби. Ознака того, що зазор в будь-яких точках, в результаті статичного чи динамічного ексцентриситету не зник, але близький до нуля можна вважати появу в спектрі струму однієї з фаз асинхронного двигуна складової з частотою обертання ротора [5, 35].

При пошкоджених стержнях ротора двигун рушає з місця при напрузі, меншій, ніж справний двигун. Це і підтверджує наявність даної несправності. При наявності короткозамкнених витків в одній з фаз обмотки статора ротор починає рухатися, навпаки, при більшій напрузі, ніж у справного двигуна. Це відбувається з тієї причини, що при наявності короткозамкнених витків порушується симетрія трифазної обмотки, і при протіканні по ній струму створюється також еліптичне магнітне поле, але

чинне з боку статора, яке також можна розкласти на два поля, що обертаються в протилежні сторони. Навпаки обертове поле створює у всьому діапазоні ковзань гальмівний момент, і тому результуючий електромагнітний момент зменшується. У зв'язку з цим для створення необхідного моменту потрібна більша напруга.

Якщо двигун починає обертання при напрузі, меншій величини еталонного показника, то це є діагностичною ознакою розриву одного або декількох стрижнів ротора, при більшій напрузі – наявності пошкодження в обмотці статора або несиметричності напруги, що підводиться [72].

Проведемо експериментальне визначення реакції струму в колі електродвигуна в режимі холостого ходу в різних умовах для встановлення залежності його значень від поточного технічного стану електродвигуна.

Перше випробування проводилося на справному електродвигуні типу МСТ-0,3 параметри якого відомі [92]. До нього підключалося живлення як було показано раніше (рис. 2.2).

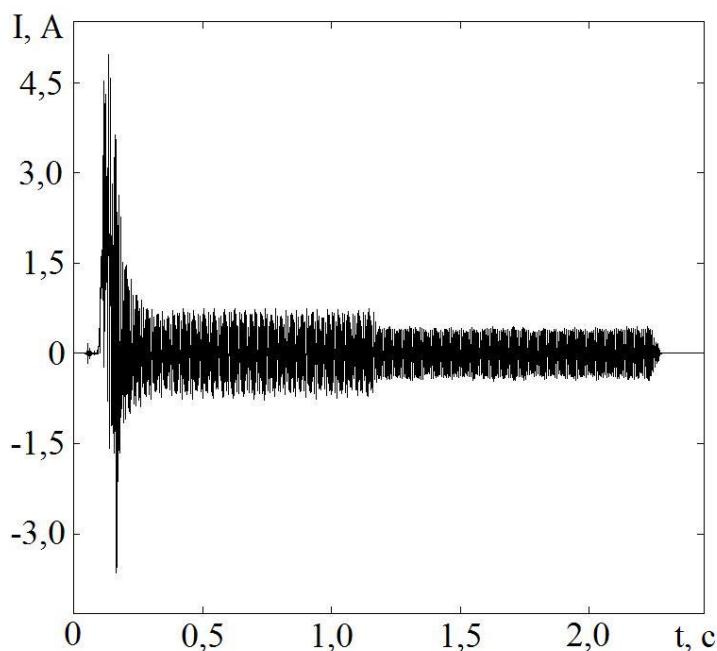


Рисунок 2.3 – Струм в електродвигуні в режимі холостого ходу

Як видно з кривої, яку описує струм в колі електродвигуна, трохи більше двох секунд триває розгін ротора до номінальної частоти обертання (рис. 2.3). Після цього струм різко зменшується, що свідчить про досягнення ковзання свого мінімального значення, яке знаходиться в межах 0,2-0,5%.

Явище значного пониження струму можна також пояснити тим, що при холостому ході в асинхронному двигуні мають місце ті ж електромагнітні процеси, що і в трансформаторі (обмотка статора аналогічна первинній обмотці трансформатора, а обмотка ротора – вторинній обмотці). По обмотці статора проходить струм холостого ходу, однак його значення в досліджуваному асинхронному двигуні незначне, через його малу потужність.

Дані результати (рис. 2.3) були підтверджені проведеними дослідями на 8 справних електродвигунах змінного струму.

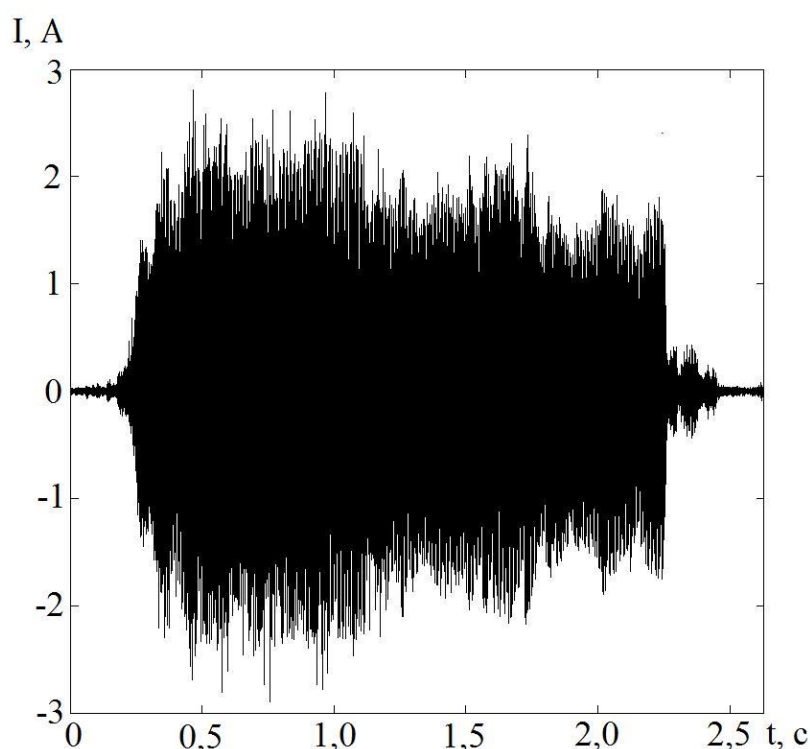
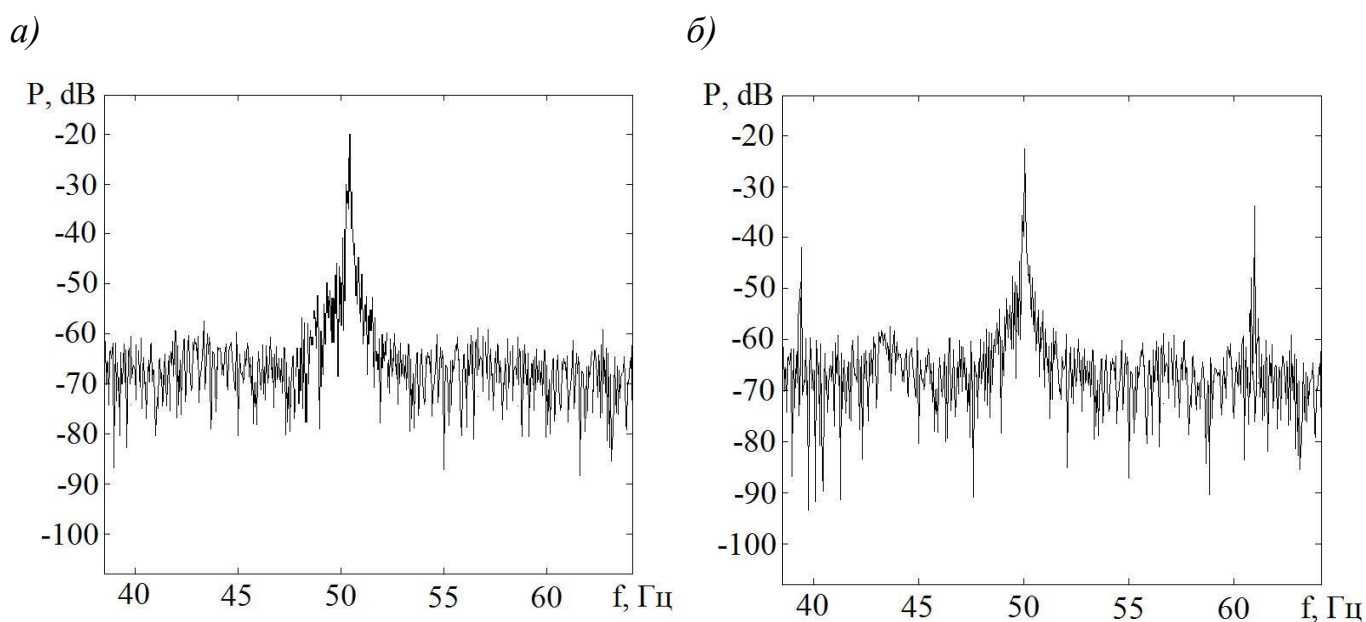


Рисунок 2.4 – Струм в електродвигуні в режимі холостого ходу при пошкодженні підшипника

Вимірювання на стрілочному електродвигуні з несправним підшипником показали, що робота електродвигуна супроводжується ривками і характерним звуком тертя, а на часовій залежності пуску двигуна в хід та робочому режимі спостерігається явище значного перевищення амплітудного значення струму в колі електродвигуна (рис. 2.4) відносно його нормальної роботи (рис. 2.3). Дана несправність пояснюється менш сприятливими умовами для руху вала двигуна, через що на подолання зусилля утримання вала несправним підшипником розвивається більший момент на валу і протікає більший струм в колі електродвигуна.

Діагностування ексцентриситету ротора на основі аналізу амплітудно-частотної характеристики споживаного струму проводилося штучним створенням статичного ексцентриситету шляхом вставки в щілину в місці виходу валу з кришки корпусу ущільнювача, чим порушувалася рівномірність повітряного зазору між статором і ротором. Для того, щоб визначити наявність в двигуні ексцентриситету ротора проведемо спектральний аналіз струму, що протікає в електродвигуні і порівняємо його зі своїм же спектральним складом, але в справному стані (рис. 2.5).

Для одного і того ж асинхронного електродвигуна спектральні складові будуть відрізнятися в залежності від його технічного стану. Так, на штучну несправність у вигляді невідповідності взаємного розташування ротора та статора через порушення рівномірності повітряного зазору між ними струм в колі двигуна відреагував появою додаткових сплесків біля основної гармоніки 50 Гц на рівні 38 Гц та 62 Гц.



а) справного електродвигуна; б) електродвигуна з ексцентриситетом ротора.

Рисунок 2.5 – Спектр струму в електродвигуні в режимі холостого ходу

2.3. Методика та принципи проведення технічного вимірювання робочих параметрів стрілочних переводів в схемах стрілочних установок живлення

Недоліки, пошкодження і відмови в роботі стрілочного переводу мають вплив на характер струму в обмотках двигуна електропривода, що є наслідком реакції еле-

ктричної машини на зміни зовнішніх факторів і навантаження. Шляхом визначення ознак різних дефектів проаналізуємо роботу електропривода при різних видах виходу його з ладу та визначимо причини, які до цього призводять.

Для проведення визначення ознак різних дефектів необхідно виконати вимірювання та запис кривої струму при переведенні стрілки, та провести його аналіз в амплітудній і частотній областях. При цьому необхідно визначити так звані «маркери», тобто основні параметри сигналу, за якими можна вести порівняння, серед яких: тривалість сигналу, його максимальні і мінімальні значення.

При центральному живленні подача електричної енергії для переведення стрілок здійснюється з розподільної або стрілочної панелі залежно від виду встановленого обладнання живильних установок і розміру станції. Існує два способи подачі живлення від живильної панелі до двигуна електропривода. Першим є послідовне почергове підключення стрілок до джерела живлення від найближчої до посту стрілки до найбільш віддаленої. Другим – одночасна подача живлення відразу в декількох напрямках.

Вибір способу організації живлення за першим чи другим принципом залежить від розмірів як самої станції, так і кількості виконуваних на ній операцій. На великих станціях з високим ступенем навантаження поїзною роботою для скорочення витрат часу на приготування маршрутів замість роздільного, як це прийнято на малих станціях, застосовують маршрутне управління з підключенням джерела живлення одночасно до всіх стрілок. Для контролю струму переведення стрілок в робоче коло включається шунт номіналом зазвичай 0,3 Ом, або трансформатор струму, а паралельно йому – амперметр, який виводиться на пульт чергового по станції.

При встановленні маршрутів або виконанні маневрової роботи, коли необхідно перевести стрілки, черговий працівник служби руху спостерігає за показаннями амперметра і уважно стежить за тим, щоб величина струму і тривалість протікання його в робочому колі електродвигуна не перевищували нормативних значень під час переведення стрілки. У випадку, якщо це не так, і хоча б один з них, або обидва параметри одночасно перевищують норму, то згідно з порядком взаємодії з іншими підрозділами залізничного транспорту він повинен повідомити співробітникам слу-

жби сигналізації та зв'язку і служби колійного господарства про можливе виникнення несправності в роботі даного стрілочного переводу.

Орієнтиром при визначенні відповідності нормативним значенням двох вищенаведених параметрів служать технічні показники стрілочних електроприводів (табл. 2.2), які можна знайти в паспорті станції [92].

В роботу чергового по станції входить тільки спостереження за показаннями стрілки амперметра з метою встановлення істинності замикання кіл живлення стрілочних електродвигунів, а також факту закінчення їх переводу, як однієї з ознак фактичного виконання установки стрілок за маршрутом руху.

Таблиця 2.2 – Електромеханічні характеристики електроприводів змінного струму

Параметри	Тип електроприводу	Напруга живлення, В	Тип електродвигуна	Значення характеристик в залежності від навантаження на шибєрі, кН								
				0	1	1,5	2	2,5	3	4	5	6
Споживаний струм, А	СП-3	127	МСТ-0,25	1,55	1,87	2,05	2,3	2,6	2,95	3,5	-	-
	СП-6	220		0,9	1,05	1,15	1,3	1,45	1,65	2,1	-	-
	СП-8	110	МСТ-0,3	2,45	2,5	-	2,7	-	2,85	3,2	3,6	3,95
			МСТ-0,6	1,9	2,7	-	3,75	-	5,1	6,5	7,7	9,2
		190	МСТ-0,3	1,35	1,4	-	1,5	-	1,65	1,85	2,1	2,35
			МСТ-0,6	1,04	1,6	-	2,25	-	3,0	3,75	4,5	5,32
		127	МСТ-0,25	2,57	2,75	2,81	2,95	3,1	3,25	3,94	-	-
				2,58	2,75	2,83	2,93	3,05	3,23	3,81	-	-
Час переводу, с	СП-3	127	МСТ-0,25	3,84	4,0	-	4,15	-	4,3	4,5	4,72	5,01
	СП-6	220		1,33	1,38	-	1,42	-	1,47	1,52	1,58	1,67
	СП-8	110	МСТ-0,3	3,83	4,0	-	4,15	-	4,33	4,45	4,6	4,9
			МСТ-0,6	1,32	1,38	-	1,41	-	1,45	1,51	1,56	1,63
		190	МСТ-0,3	3,83	4,0	-	4,15	-	4,33	4,45	4,6	4,9
			МСТ-0,6	1,32	1,38	-	1,41	-	1,45	1,51	1,56	1,63

Ці дані (табл. 2.2) можуть служити лише як довідковий матеріал для розуміння і обізнаності про величини і межах їх значень основних параметрів і характеристик, а не шаблон для звірки відповідності параметрів стрілочних переводів і їх еталонних значень. Вони є орієнтовними, оскільки не враховують навіть довжини проводів від поста електричної централізації (ЕЦ) до стрілки, а відображають тільки ті значення даних параметрів, які справедливі лише при прямому прикладенні навантаження до стрілочного електропривода [16]. Природно, що при більшій відстані стрілки від поста ЕЦ потрібно і збільшення довжини проводів для їх підключення, у зв'язку з чим зростає опір протіканню електричного струму, що і стає причиною збільшення

струму в робочому колі електродвигуна при тих самих навантаженнях, як у двигунів, що знаходяться в безпосередній близькості від джерела живлення.

Розглянемо схему підключення діагностичного обладнання до вимірювальної частини фрагмента схеми робочого кола стрілочних електроприводів змінного струму при їх підключенні до пристроїв електроживлення постів ЕЦ великих станцій, тобто станцій з кількістю стрілок більше 30 (рис. 2.6).

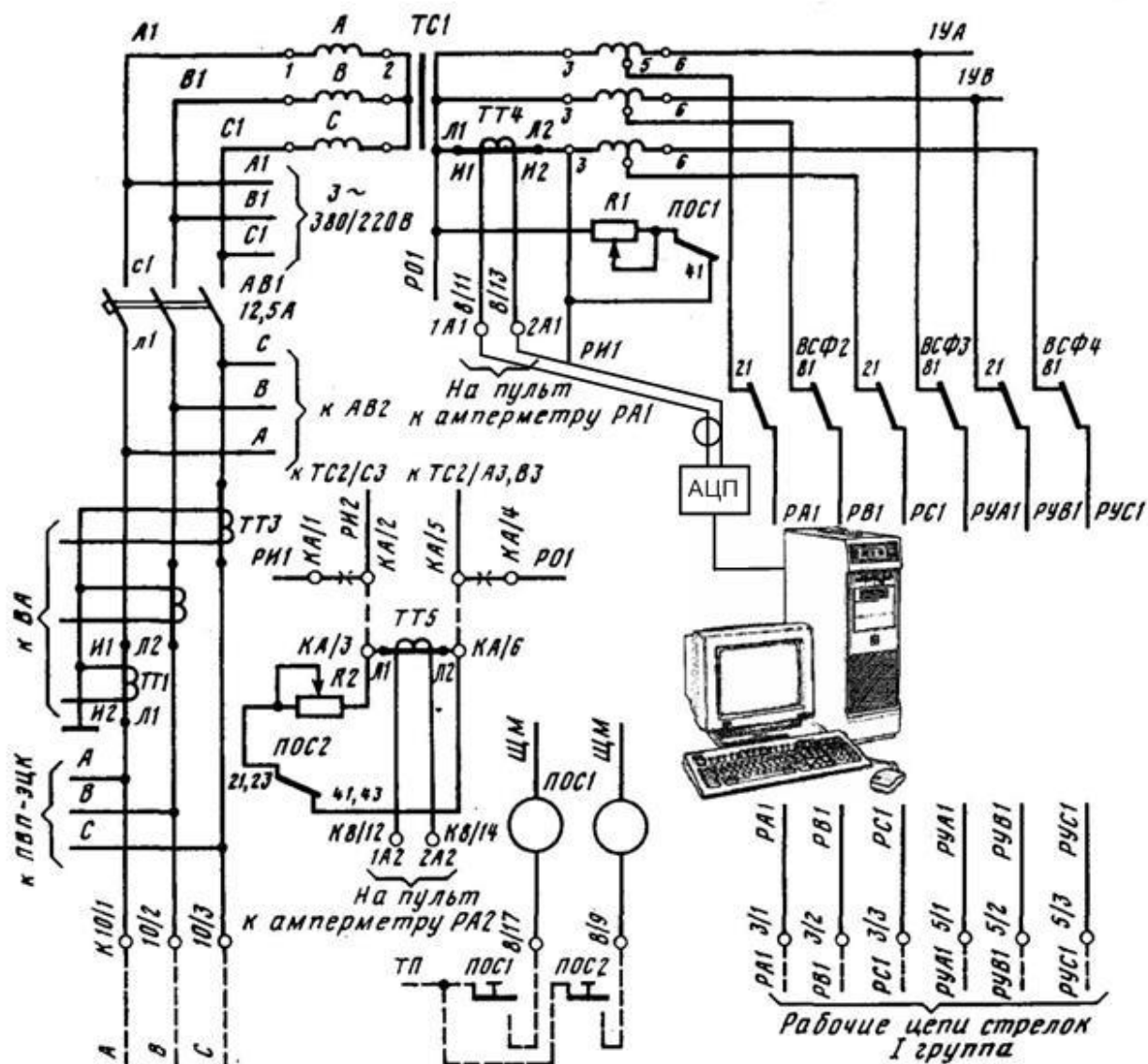


Рисунок 2.6 – Підключення вимірювального пристрою до схеми стрілочної панелі ПСТ-ЕЦК

Вимірювання струму виконувалось за допомогою підключення обладнання до трансформатора струму ТТ4 коаксіальним кабелем. Для перетворення сигналів з аналогового в цифровий вигляд з метою подальшої їх обробки за допомогою обчис-

лювальної техніки, застосовано аналогово-цифровий перетворювач (АЦП). При проведенні вимірювань використовувався 4-канальний швидкодіючий зовнішній модуль введення-виведення на шину USB 2.0 E20-10 з розрядністю 14 біт і можливістю безперервного збору даних на частотах до 10 МГц. В якості записуючого обладнання для фіксації, збереження і подальшого аналізу даних сигналів струму переведення стрілок слугував комп'ютер з встановленим відповідним програмним забезпеченням.

Для контролю переведення стрілок на пульті управління амперметрами РА1 і РА2 (на рис. 2.3 показана схема тільки для живлення першої групи стрілок) є два трансформатори струму ТТ4 і ТТ5 [53, 54]. У зв'язку з тим, що ТТ4 і ТТ5 розраховані на номінальний струм 5 А, для обмеження струму і падіння напруги на ньому при переведенні стрілок паралельно ТТ4 і ТТ5 через тиловий контакт реле ПОС1 і ПОС2 включені резистори R1 і R2, на яких встановлені опори 0,3 Ом.

Для вимірювання струму переводу однієї стрілки на пульті управління натискається кнопка ПОС1 (ПОС2) для збудження однойменного реле в панелі. Контактom реле ПОС1 (ПОС2) відключається резистор R1 (R2) і весь струм переведення стрілки проходить через трансформатор струму ТТ4 (ТТ5).

Підключення до робочого кола виконувалося за допомогою роз'ємного з'єднання в місці кріплення амперметра на виносному табло за допомогою електричних контактів затискного типу (крокодил).

Визначення діагностичних ознак з метою їх подальшого застосування в автоматизації процесу діагностування проведено шляхом виділення відмінних особливостей кривої струму при переведенні справного стрілочного переводу і стрілочного переводу з пошкодженнями. Для цього за результатами аналізу проведених вимірювань на справних стрілочних переводах визначалися загальні для усіх сигналів ознаки та з'ясовувалася форма сигналу, яка зберігалася для використання в якості еталонної, відносно якої можна проводити порівняння і аналіз записаних сигналів при переводі стрілок, що знаходяться в експлуатації. Виділення несправностей стрілочних переводів проводилося шляхом дослідження технічного стану стрілочних переводів відомими методами [87] та аналізу форми часової залежності і спектрального

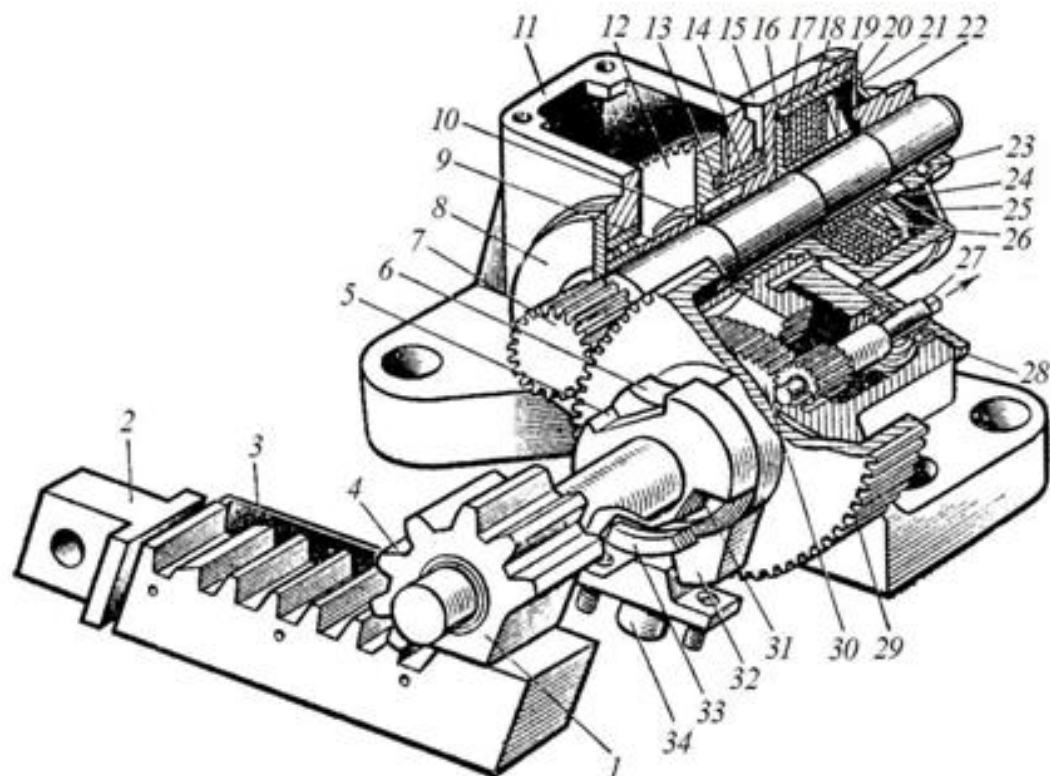
складу струму переводу стрілки і порівняння її з еталонним сигналом переводу справної стрілки.

Для визначення ознак стану стрілочного переводу за часом зручно розбити криву струму переведення стрілки на три ділянки. До першого етапу, який можна назвати підготовчою фазою до переведення гостряків, доцільно включити час від перемикачів контактів автоперемикача до моменту розмикання шибера 2 і входу скошеного зуба шестерні кулачкового механізму 4 в зачеплення з крайнім зубом робочого шибера 2 (рис. 2.7). На перевідній струмовій кривій даний час можна легко відрізнити за характерним збільшенням амплітуди струму, пов'язаним з початком приведення шибера в рух гостряків. Перша фаза, підготовча, триває протягом часу подолання люфту зрівнювальної муфти та зазорів механічної передачі, відпирання та виходу скошеного зуба шестерні кулачкового механізму 4 з зачеплення з крайнім зубом робочого шибера 1, яке продовжується протягом обертання головного валу-шестерні на 20° та 32° відповідно. Якщо на даному етапі спостерігається збільшення часу роботи, то це може свідчити: про наявність люфту в зрівнювальній муфті між електродвигуном і вхідним валом редуктора (рис. 2.7), погане регулювання контактів автоперемикача або пошкодження контактної колодки, недолік в роботі редуктора.

На другому етапі, в робочій фазі переведення стрілки, відбувається переміщення гостряків від однієї рамної рейки до іншої. На даній ділянці кривої струму можна спостерігати збільшення часу пересування гостряків через такі недоліки в роботі стрілочного переводу: зниження напруги живлення стрілочного електропривода, люфти в шарнірних з'єднаннях, забруднення башмаків, вигин стрілочної гарнітури.

Робоча фаза переводу триває до початку доведення гостряка до рамної рейки. Робочий хід шибера складає 154 ± 2 мм. Робоча фаза найдовша з усього переведення, оскільки її тривалість визначається часом переміщення шибера, для чого шибера 2 (рис. 2.7) з 280° повного власного ходу необхідно виконати оберт на 212° . Вкінці переводу відбувається замикач шибера, яке продовжується протягом часу, необхідного для повороту головного валу-шестерні 4 на 16° [2, 7, 92].

Визначення діагностичних ознак за амплітудними значеннями струму проводиться на трьох окремих ділянках. На початку руху збільшення амплітудного значення сигналу може свідчити про затиснення гострия під рамну рейку, ускладнення виходу шибера або редуктора, а також відсутність мастила в зонах тертьових поверхонь.



1 – обмежувач повороту; 2 – зубчаста рейка-шибер; 3 – стінка масляної ванни; 4 – головний вал-шестерня; 5 – шайба головного вала; 6 – радіальний виріз на виступаючій циліндричній частині; 7 – вихідний вал-шестерня редуктора; 8 – задня кришка редуктора; 9 – кільце розпору; 10 – шайба; 11 – корпус редуктора; 12 – зубчасте колесо; 13 – шпонки; 14 – підшипник ковзання; 15 – корпус фрикціона; 16 – сталева втулка; 17 – рухливі диски; 18 – шпонка; 19 – сталеві диски; 20 – три тарілчасті пружини; 21 – шайба; 22 – гайка; 23 – гвинт; 24 – шпонки; 25 – запобіжна шайба; 26 – пружини; 27 – вхідний вал-шестерня редуктора; 28 – передня кришка редуктора; 29 – зубчасте колесо; 30 – зубчасте колесо; 31 – шайба головного валу; 32 – трапеїдальний виступ; 33 – виступ; 34 – упор.

Рисунок 2.7 – Загальний вигляд передатного механізму привода

Збільшення амплітуди струму в робочій фазі переводу є ознакою таких видів несправностей стрілочного переводу: забруднення башмаків, пошкоджений підшип-

ник електродвигуна, нещільне прилягання підшов гостряків до поверхні башмаків, перепони на шляху шибера та ускладнена робота редуктора, відсутність мастила в зоні тертьових поверхонь, дефект гостряків, пошкодження з'єднувальної тяги.

Якщо амплітуда кривої струму змінюється наприкінці переведення стрілки, то це є ознакою однієї з наступних несправностей, кількох окремо або всіх одночасно: пружинність гостряка, відбій рамної рейки, затиснення гостряка під рамну рейку.

За спектральним аналізом можна визначати пошкодження стрижня ротора, пошкодження місця кріплення стрижня до коротко замикаючого кільця та наявність металевого пилу за присутності постійної складової та появ частот в області високих значень, не властивих для справного переводу. Крім цього, за спектральним аналізом можливо визначати такий вид несправності, як ексцентриситет ротора у випадку наявності додаткових сплесків біля основної мережевої гармоніки.

2.4. Результати випробувань

Для встановлення залежності форми і амплітуди струму від виду та характеру навантаження, а також якісного та кількісного визначення реакції двигуна стрілочного електропривода на вплив різних несправностей за струмом в його обмотках, були виконані вимірювання і запис форми струмової кривої в умовах реальної експлуатації стрілок.

Експериментальні вимірювання виконувалися в стрілочних живильних установках електроприводів змінного струму (рис. 2.6). Досліди проводилися на станціях з високою інтенсивністю руху і великим числом обороту пасажирських і вантажних поїздів. Випробування виконувалися на діючих поодиноких стрілках з маркою хрестовини 1/11 на головних коліях, та маркою хрестовини 1/9 на бокових коліях. Укладені стрілки на залізобетонні шпали з використанням рейок важкого типу Р-65. Дослідження стрілочних електроприводів проводилося за роботою електроприводів типу СП-6 і СП-8 з двигунами змінного струму типу МСТ-0,3. При відновленні часових характеристик струму в робочому колі двигунів стрілочних електроприводів застосовувалася програма MATLAB [118, 120, 123, 124, 129], а також перетворення рівневого показання сигналу на його амплітудне значення [40].

Дослідження кривої струму в робочому колі стрілочного електропривода змінного струму при переведенні справної одиночної стрілки (рис. 2.7) були проведені на стрілочних переводах, технічний стан яких відповідає вимогам до норм утримання напільних пристроїв даного типу, що пред'являються інструкціями з експлуатації. При цьому всі технічні показники встановленого на ньому електропривода також відповідали чинним нормам, що визначаються проектною документацією та інструкціями, а сам електропривод був належним чином розміщений і закріплений на стрілочному переводі [45-49, 85, 87, 108]. Крім цього стрілочний перевід та стрілочний електропривод не мали не типових елементів, пристроїв і пристосувань. Башмаки були змащені, а основа гостряків щільно прилягала до них по всій довжині, в масляній ванні та редукторі залито масло до необхідного рівня, корінь гостряків не мав щільного затиснення, відсутні люфти у всіх вузлах і кріпленнях, встановлений двигун, який був перевірений на справність фахівцем ремонтно-технологічного ділянки, зазори між гостряками і рамними рейками відповідають вимогам, відсутній упор коренів гостряків, зазори та люфти в шарнірних з'єднаннях контрольних лінійок з контрольними тягами і контрольних тяг з сережками, люфти в шарнірах робочої тяги із зв'язною і зв'язної тяги з сережками відповідають встановленим нормам утримання стрілочного переводу і не перевищують 0,5 мм. Допустима товщина прокладок між сергою зв'язної тяги та гостряком не перевищує 7 мм на всіх стрілочних переводах та містить не більше 3 прокладок, з яких одна товщиною 4 мм ізоляційна та дві металеві, загальною товщиною не більше 3 мм., що відповідає вимогам до умов експлуатації.

Для часової залежності струму нормального переводу характерно рівномірне значення по всій протяжності переводу (рис. 2.8). Наприкінці переводу помітний незначний струм залишкового обертового поля статора.

Переведення стрілки здійснювалося плавно і рівномірно, без ривків, вповільнень і різких прискорень, без заїдань і сторонніх звуків, що також є ознакою його справного стану.

З даної часової характеристики, можна встановити три найважливіших параметра: характер зміни кривої струму, величину струму переводу і його тривалість. Часову залежність кривої струму переведення стрілки стрілочним електроприводом

змінного струму можна розбити на дві ділянки: пуск двигуна в хід з подоланням інерційності системи і розмиканням стрілки, власне перевід гостряків стрілки і доведення гостряків до протилежної рамної рейки з замиканням гостряків.

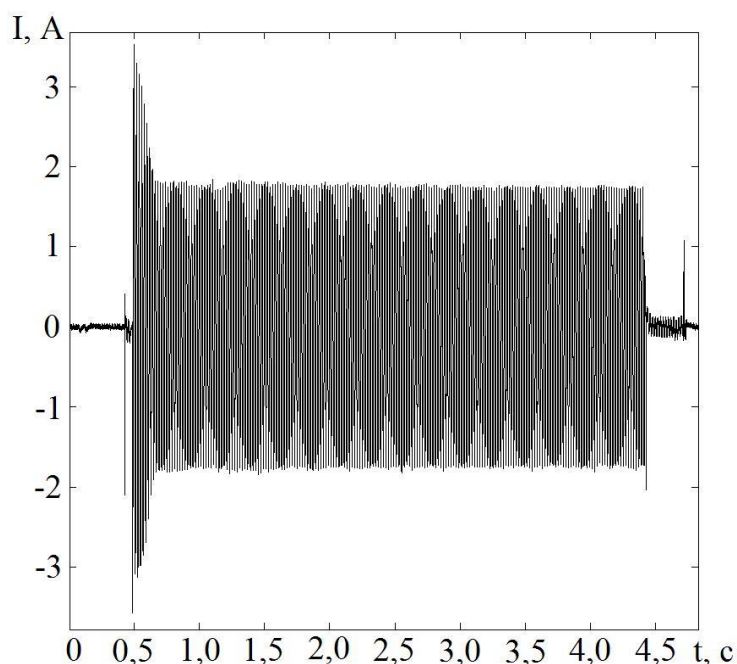
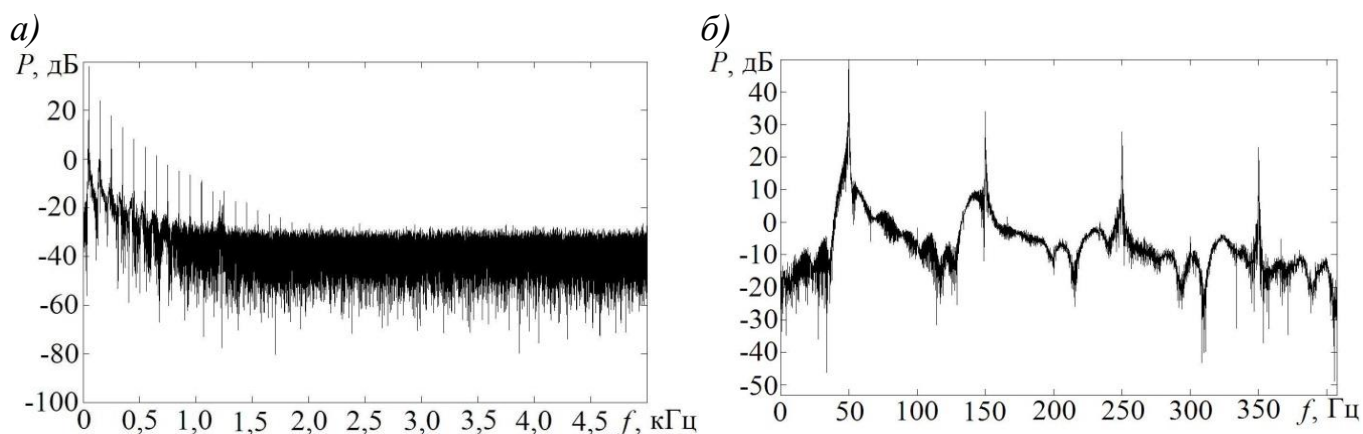


Рисунок 2.8 – Струм в робочому колі стрілочного електропривода змінного струму при переводі справної одиночної стрілки

На першій ділянці спостерігається невеликий сплеск струму, відповідний перекиданню контактів ППС (пускового поляризованого стрілочного) і значне короткочасне збільшення струму, що є ознакою руху вала двигуна з місця зі зрушенням з місця всіх передавальних ланок. Струм при цьому досягає значень 3,5 А. Наступну ділянку характеризує рух механізмів приводу з приведенням у рух гостряків і їх переміщенням з незмінним значенням струму 1,9 А. На завершальному етапі переведення стрілки, коли відбувається підведення гостряка до рамної рейки, після замикання стрілки спостерігається залишкове обертаюче магнітне поле в статорі двигуна.

З зображення спектра струму в робочому колі стрілочного електропривода змінного струму при переводі справної одиночної стрілки (рис. 2.9, а) видно, що вагомими в спектрі сигналу є низькі частоти в діапазоні від 0 до 2 кГц [116, 126, 128]. Оскільки вони є періодичними, то візьмемо для зручності і наочності лише перші з них. При розгляді спектра струму в робочому колі стрілочного електропривода змінного струму при переводі справної одиночної стрілки на низьких частотах (рис. 2.9, б) лег-

ко визначити, що найбільше значення має частота живильної мережі, а в сигналі присутні гармоніки кратні в непарне число раз частоті живильного струму.



а) в широкому діапазоні частот; б) на низьких частотах.

Рисунок 2.9 – Спектр струму в робочому колі стрілочного електропривода змінного струму при переводі справної одиночної стрілки

Для визначення правильності регулювання натискання тарілчастих пружин можливо скористуватися характеристикою струму при роботі привода на фрикцію (рис. 2.10). Дослідження показали, що в даному режимі роботи струм підвищується зі значення 1,9 А до 2,25 А, що відповідає нормальному регулюванню струму роботи на фрикцію [87].

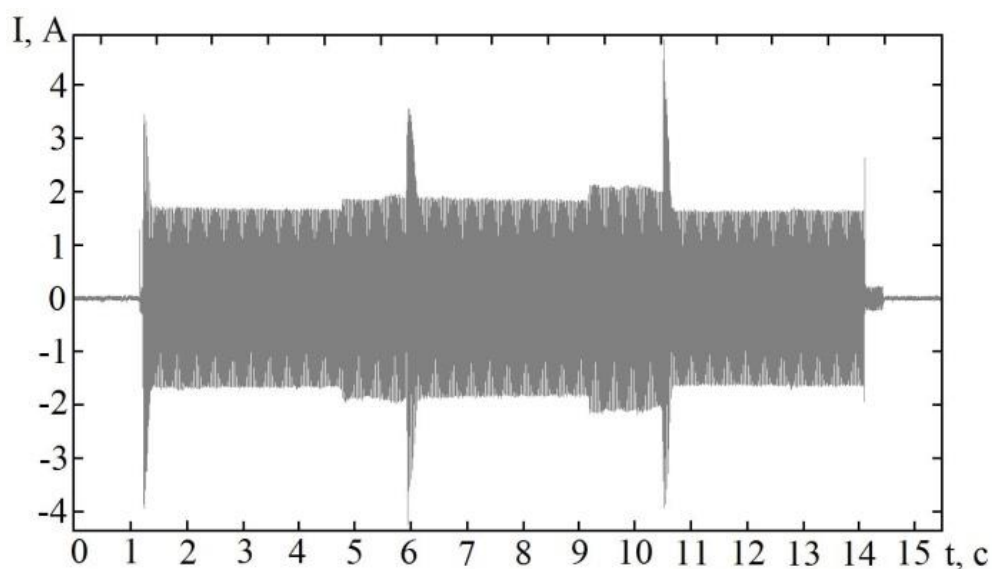
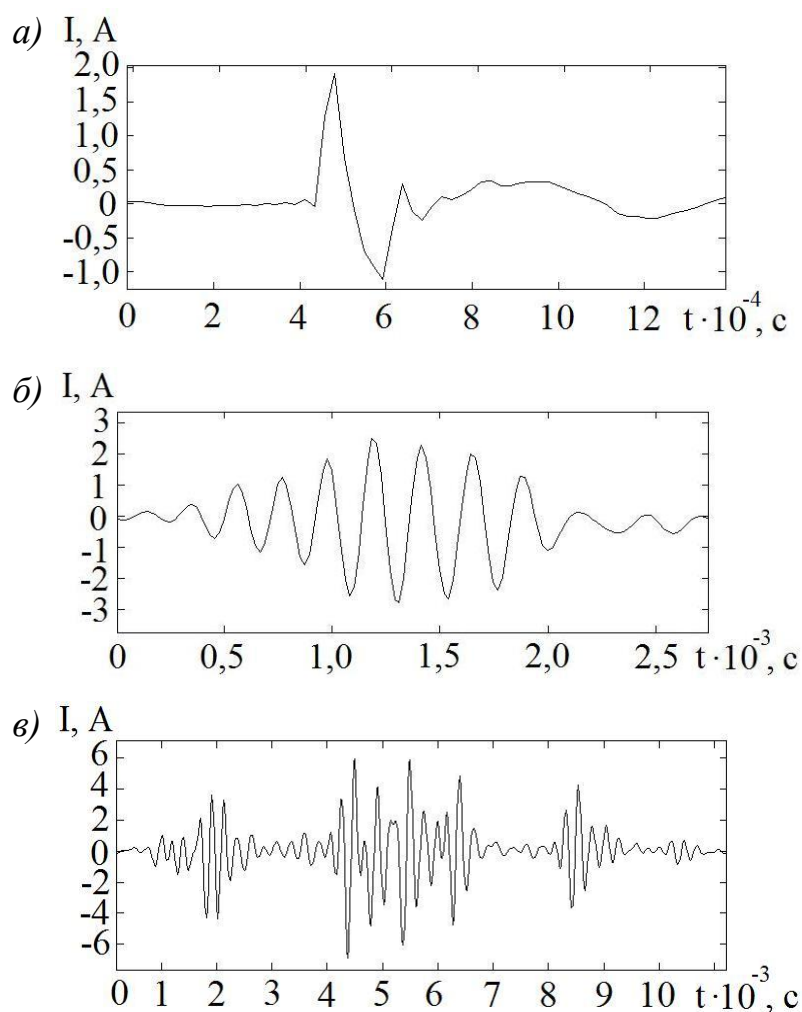


Рисунок 2.10 – Струм в колі живлення електропривода при роботі двигуна на фрикцію

Особливу увагу заслуговують криві струму, за якими можна визначати на початкових стадіях відхилення від нормальної роботи одного з самих ненадійних вузлів стрілочного переводу – автоперемикача (рис. 2.11).



а) справний; б) послаблення пружин; в) послаблення контактних пластин и пружин.

Рисунок 2.11 – Струм замикання автоперемикача

Автоперемикач, який має найбільш правильне регулювання встановлених колодок, контактних пластин і пружин перемикаючих важелів має найменший час перемикання, який дорівнює 0,2 мс, з найменшою амплітудою перехідного значення струму зі величиною до 1,8 А (рис. 2.11, а). Внаслідок розрегулювання і виходу з ладу цих складових частин час і абсолютне значення струму в зоні контакту будуть збільшуватися (рис. 2.11, б, в). Для автоперемикача з поганим закріпленням контактної колодки і присутності люфту характерним є збільшення тривалості перехідного процесу перемикання контактів до 2,5 мс і більше та амплітудного значення перехідного струму до 2,5 А (рис. 2.11, б). При розбитті контактної колодки і не забезпе-

ченні надійного притискання контактних поверхонь робочих пластин час протікання перехідного процесу перемикання триває 10 мс зі сплесками струму амплітудою 5 А (рис. 2.11, в).

Були проведені також вимірювання на стрілочному переводі, відновленому після розрізу стрілки з подальшим сходом з рейок локомотива і перших двох вагонів. Серед властивих несправностей, викликаних розрізом стрілки [92], додався ще вигнутий гостряк, який спирався на другий гостряк через з'єднувальну тягу і переводився в підвішеному стані, що зменшувало опір руху стрілки при переводі і при вимірах відображено зменшенням величини струму в середині переводу (рис. 2.12).

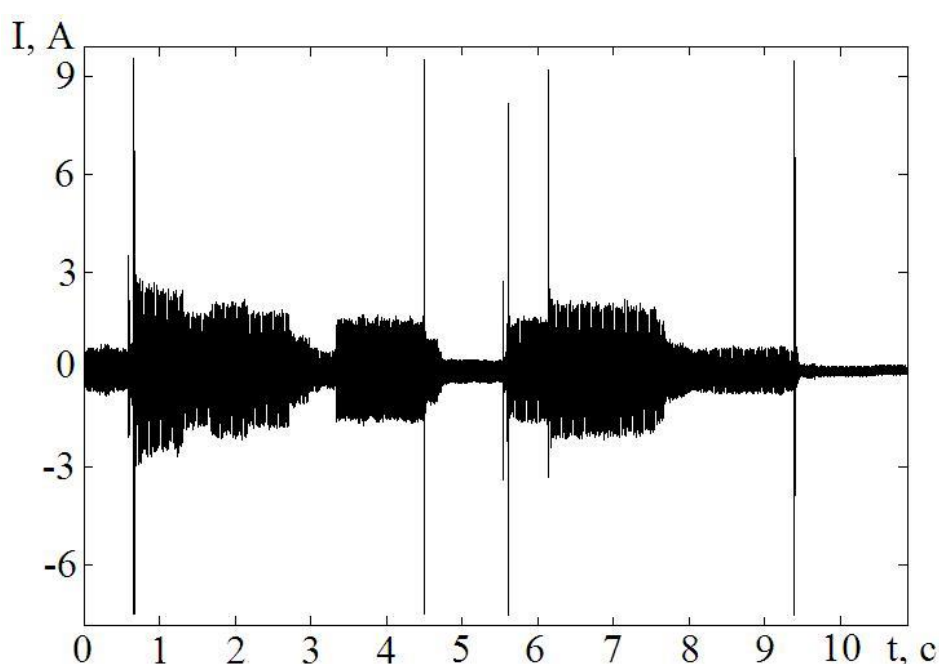


Рисунок 2.12 – Струмові криві переводу стрілки з вигином гарнітури

Досліди проводилися під час виконання відновлюваних робіт на стрілочному переводі. Запис сигналу здійснювався при декількох переведеннях стрілки на різних етапах її відновлення, що дозволило отримати, зберегти та проаналізувати форми струмових кривих для різних видів механічних пошкоджень, викликаних деформацією вузлів стрілки. Кожен з вимірів має власну діагностичну ознаку того чи іншого дефекту, який може виникнути не лише під час аварійних ситуацій, а й при щоденній експлуатації в умовах, які відповідають нормам утримання та обслуговування об'єктів залізничного господарства, внаслідок підмиву залізничного полотна, псування шпал, зношеності верхньої будови колії, прикладенні понаднормового наван-

таження рухомим складом, через збільшену швидкість руху потягів, вироблень, втомних тріщин і деформації тощо.

Розглянемо вид несправності стрілочного переводу, якому відповідає вигин його гарнітури таким чином, що не дозволяє йому нормально виконувати переміщення гостряків відповідно до вимог правил технічної експлуатації, а змушує здійснювати їх переміщення з упором на башмаки лише одним гостряком. При цьому інший гостряк не має точки опору на власні подушки, а через жорстке кріплення з протилежним гостряком піднімається на певну висоту над ними. На даному стрілочному переводі гостряк, що опирався на башмаки прилягав до рамної рейки по відхиленню, а гостряк, що не опирався на башмаки знаходився зі сторони рамної рейки по прямому ходу. Привід встановлено зі сторони гострого кута стрілки. Такий вигин спричиняє неоднорідність навантаження двигуна стрілочного електропривода при переведенні з одного положення в інше. Дана різниця добре була помітна при переведенні стрілки в «мінус», значення струму в колі електродвигуна якої перевищує значення струму при переведенні в «плюс», оскільки стрілка по різному опирається зусиллю, прикладеному з боку електропривода (рис. 2.12). При виконанні вимірювань спочатку було виконано переведення стрілки в «мінусове» положення, а потім в «плюсове». При переведенні в «мінусове» положення електродвигуна необхідно було розвинути більшу потужність для дотиснення всячого гостряка до рамної рейки, що супроводжувалося значним збільшенням струму у колі електродвигуна наприкінці переводу з 1,4 А до 2,3 А. На противагу цьому, при переведенні стрілки в плюсове положення збільшення струму наприкінці переводу не спостерігалось і залишалось на рівні 1,6 А.

Перша ділянка кривої струму характеризується пуском двигуна в хід і подоланням люфтів і зазорів в кріпильних елементах. На другій ділянці спостерігається підвищене значення струму в колі електродвигуна внаслідок збільшеного опору руху вирівняних деталей, що втратили міцність через вигини. Третя ділянка кривої струму свідчить про припинення лінійного пересування гостряків і ілюструє процес протікання замикання стрілки з притисканням підігнутого гостряка.

При засипанні стрілочного переводу сипучими матеріалами струм у колі стрілочного електродвигуна змінюється протягом переводу в залежності від з опору руху гострякам стрілки, який вони зустрічають при переведенні з одного положення в інше (рис. 2.13). На початку руху, коли стрілочний перевід починає відмикатися, часова залежність не має істотних відмінностей від переводу стрілки у справному стані (рис. 2.8). Потім починають свій рух гостряки, які пересуваються по засипаній ділянці і викликають збільшення навантаження на валу, що призведе до збільшення струму з 1,8 А до 2,6 А.

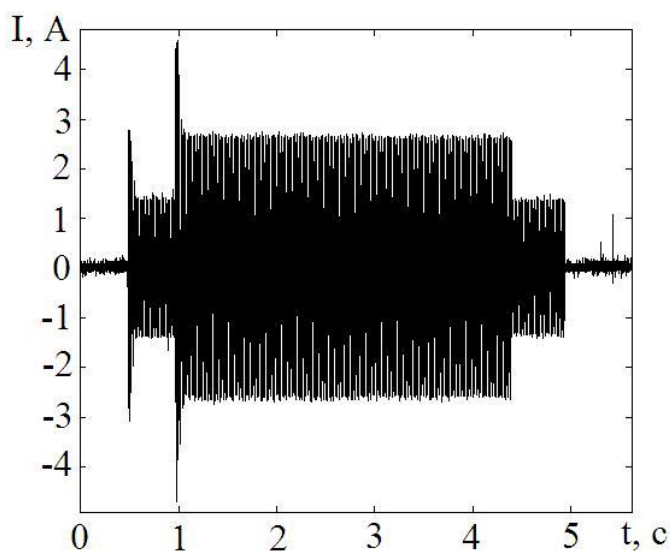


Рисунок 2.13 – Струм переведення стрілки засипаної сипучими матеріалами

Струм в робочому колі стрілочного електропривода змінного струму при переводі одиночної стрілки з упором кореня гостряка і/або відбоєм рамної рейки (рис. 2.14) аналогічний розглянутому раніше випадку для справної стрілки (рис. 2.8) лише на першій ділянці часової залежності. В кінці другої ділянки струмової кривої спостерігається збільшення струму в колі електродвигуна з 2,1 А до 2,5 А, яке є наслідком збільшення опору руху гостряків стрілки через упор кореня дальнього гостряка в рейку, що лежить за ним, і/або відбій рамної рейки. На подолання додаткової сили, що виникла, електродвигун розвиває більшу потужність, що викликає збільшення струму в робочому колі.

Оскільки упор кореня гостряка впливає тільки на амплітудне значення струму в робочому колі електродвигуна, то його можна зафіксувати тільки в часовій області. Спектр же струму в робочому колі стрілочного електропривода змінного струму при

переводі одиночної стрілки з упором кореня гостряка (рис. 2.15, *a*) практично не відрізняється від спектру сигналу справної стрілки (рис. 2.9, *a*), оскільки містить весь частотний спектр на тому ж рівні, який характерний для спектра сигналу справної стрілки.

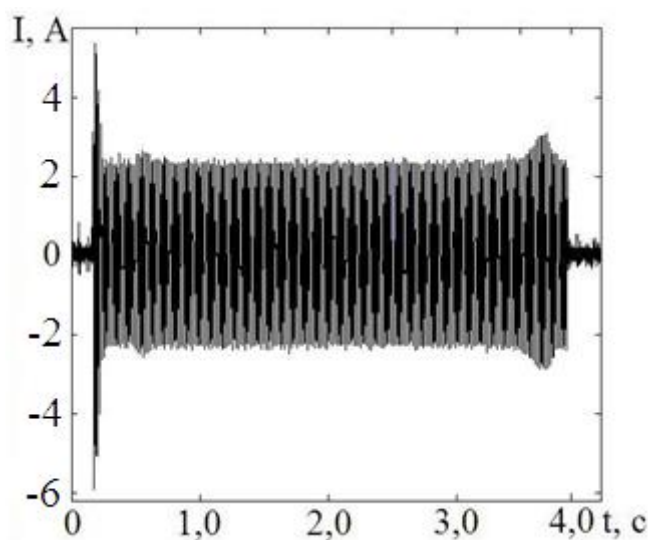
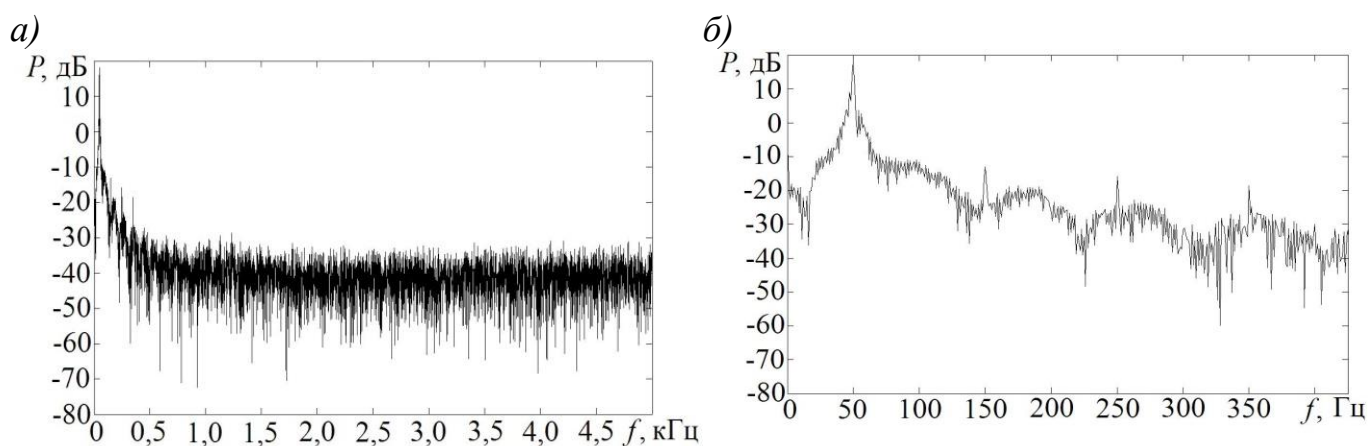


Рисунок 2.14 – Струм в робочому колі стрілочного електропривода змінного струму при переводі одиночної стрілки з упором кореня гостряка і/або віджимом рамної рейки

У спектрі струму в робочому колі стрілочного електропривода змінного струму при переводі одиночної стрілки з упором кореня гостряка і/або відбоєм рамної рейки на низьких частотах (рис. 2.14, *б*) також спостерігається подібність характеру спектру струму справної стрілки (рис. 2.8, *б*).

Отже, виявити упор кореня гостряка стрілки і/або відбій рамної рейки можна за допомогою аналізу часової залежності струму переводу, а за допомогою спектрального аналізу неможливо.

На стрілочних переводах після проведення вимірювань кривих струму нормального переводу штучно створювалось порушення вимог до технічного утримання стрілочних переводів [47, 87] і вносилися надмірний люфт в шарнірних з'єднаннях шиберів з робочою тягою. Люфт у вузлі Гука досягав значень понад 1,5 мм, хоч за нормативним значенням не має перевищувати 0,5 мм. У зв'язку з появою люфтів у вузлах кріплення збільшився час переведення стрілки на 0,5 с з нормативних 4,5 с [92] та форма перевідної кривої, значення якої в середині переводу зменшувалося з 1,9 А до 1,4 А (рис. 2.16).



а) в широкому діапазоні частот; *б)* на низьких частотах.

Рисунок 2.15 – Спектр струму в робочому колі стрілочного електропривода змінного струму при переводі одиночної стрілки з упором кореня гостряка

За часом протікання струму в робочому колі стрілочного електропривода змінного струму при переводі одиночної стрілки (рис. 2.16) можна ідентифікувати люфт в шарнірних з'єднаннях робочої тяги за збільшеною тривалістю переведення стрілки, яка значно перевищує аналогічний показник справної стрілки (рис. 2.8).

Перша ділянка кривої струму характеризується пуском двигуна в хід і подоланням люфтів і зазорів в кріпильних елементах. На другій ділянці спостерігається підвищене значення струму в колі електродвигуна внаслідок збільшеного опору руху через неправильне регулювання кріпильних вузлів. Третя ділянка кривої струму свідчить про припинення лінійного пересування гостряків і ілюструє процес замикання стрілки з притисканням гостряка.

Примітним є той факт, що спектр струму в робочому колі стрілочного електропривода змінного струму при переводі одиночної стрілки з люфтом в шарнірних з'єднаннях (рис. 2.17, *а*) немає ніяких відмінностей від спектру струму переводу справної стрілки (рис. 2.9, *а*).

При більш детальному розгляді спектру струму в робочому колі стрілочного електропривода змінного струму при переводі одиночної стрілки з люфтом в шарнірних з'єднаннях на низьких частотах (рис. 2.17, *б*) також ніяких принципових відмінностей від спектру струму переводу справної стрілки (рис. 2.9, *б*) встановлено не було.

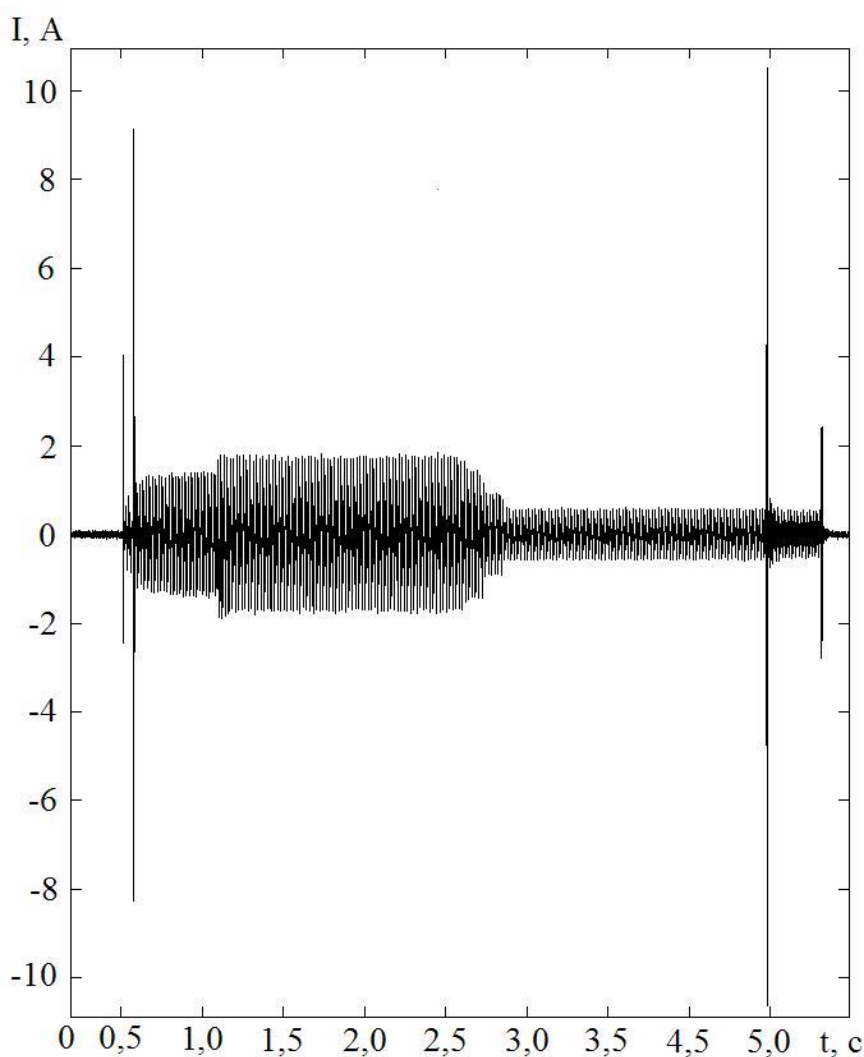
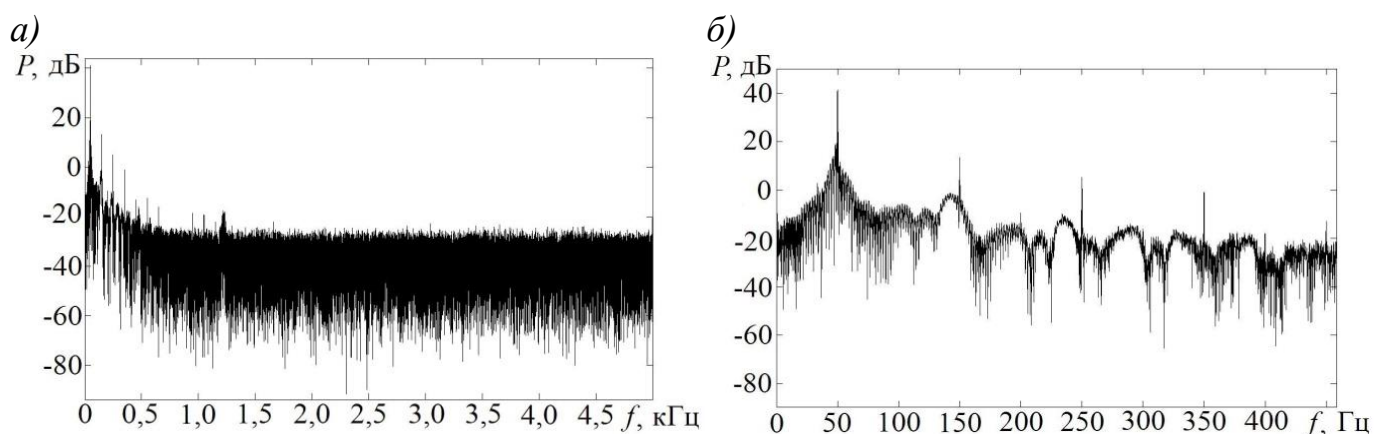


Рисунок 2.16 – Струм в робочому колі стрілочного електропривода змінного струму при переводі одиночної стрілки з люфтом в шарнірних з'єднаннях

Отже, за підсумками розгляду попередніх двох випадків можна зробити висновок, що несправності, які стосуються механічної частини стрілочного переводу, можна встановити за часовою характеристикою кривої струму переведення стрілки, а на підставі спектрального аналізу неможливо.

У свою чергу струм в робочому колі стрілочного електропривода змінного струму при переводі одиночної стрілки з несправним ротором (рис. 2.19) нічим не відрізняється від струму переводу справної стрілки (рис. 2.9), хоча переведення стрілки супроводжується вібрацією і характерним високочастотним стуком всередині двигуна. При огляді двигуна було встановлено пошкодження стрижня ротора типу «біляча клітка» з присутністю намагніченого металевго пилю.



a) в широкому діапазоні частот; *б)* на низьких частотах.

Рисунок 2.17 – Спектр струму в робочому колі стрілочного електропривода змінного струму при переводі одиночної стрілки з люфтом в шарнірних з'єднаннях

При вивченні ж спектра струму в робочому колі стрілочного електропривода змінного струму при переводі одиночної стрілки з несправним ротором (рис. 2.19) було встановлено, що якщо для спектра струму переведення стрілки в справному стані (рис. 2.9, *a*) характерна наявність значущих частот в діапазоні від 0 до 2 кГц, то в даному випадку спостерігався спектр сигналу з присутністю частот в області значень від 0 до 8 кГц. Крім цього, спектр струму в робочому колі стрілочного електропривода змінного струму при переводі одиночної стрілки з несправним ротором (рис. 2.19, *б*) містив високу постійну складову, якої немає в спектрі струмової кривої переведу справної стрілки (рис. 2.6, *б*).

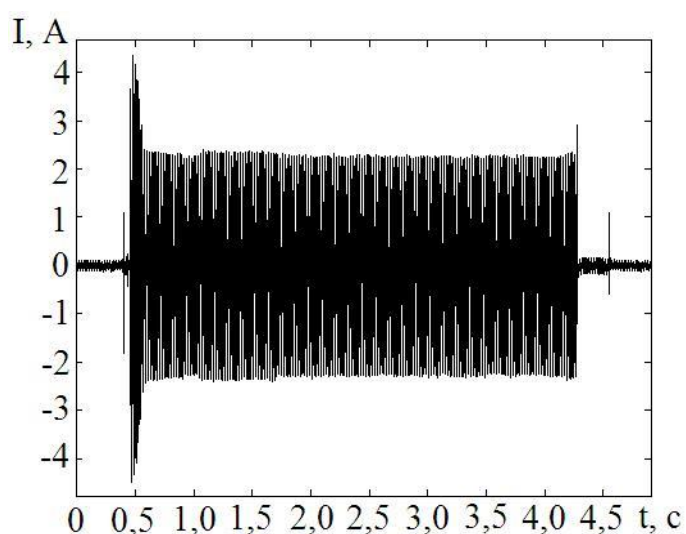
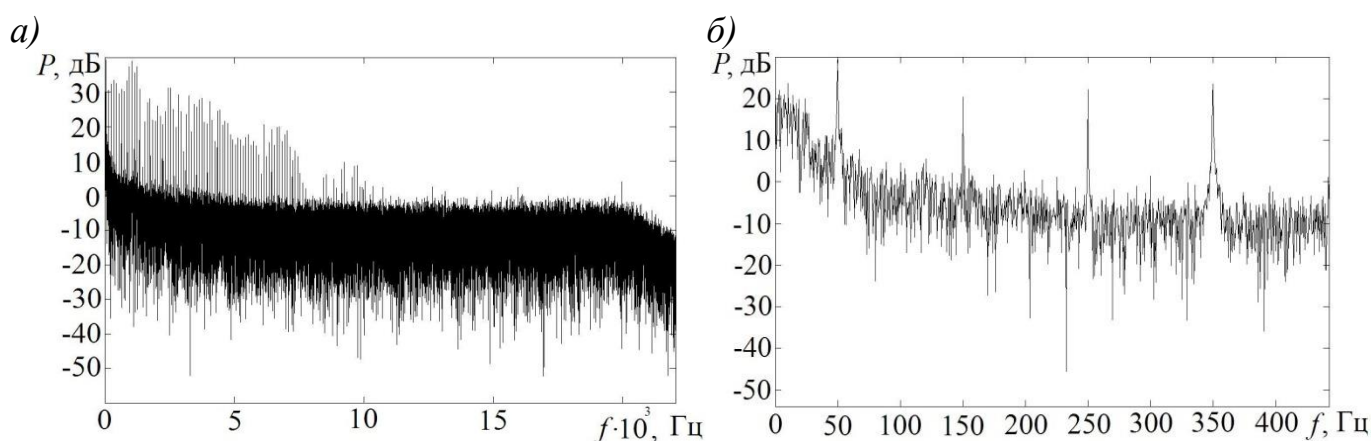


Рисунок 2.18 – Струм в робочому колі стрілочного електропривода змінного струму при переводі одиночної стрілки з несправним ротором

Таким чином, використовуючи метод комп'ютерного діагностування стрілочних переводів можна визначати такі несправності, які пов'язані як з механічною частиною стрілочного переводу, так і з електричною його частиною, контролюючи при цьому такі параметри як величину струму нормального переводу і при роботі електродвигуна на фрикцію, тривалість переводу, правильність регулювання гарнітури і вузлів кріплення, стан електродвигуна.



а) в широкому діапазоні частот; б) на низьких частотах.

Рисунок 2.19 – Спектр струму в робочому колі стрілочного електропривода змінного струму при переводі одиночної стрілки з несправним ротором

2.5. Систематизація діагностичних ознак відмов стрілочних переводів

Для систематизації отриманих результатів за встановленими відмінностями між кривими струму та спектральним складом справного стрілочного переводу (рис. 2.8, рис 2.9) та стрілочних переводів з присутніми несправностями (рис. 2.11, рис. 2.12, рис. 2.13, рис. 2.14, рис. 2.16, рис. 2.19) складемо результуючу таблицю діагностичних ознак відмов стрілочних переводів (табл. 2.2).

Дані ознаки, які наведені в таблиці 2.2 є характеристичними для кожного виду несправності й являють собою відмінну рису від справного стрілочного переводу. Такі несправності, як люфти в з'єднаннях кріпильних елементів, відсутність зазору в корені гостряка, несправність контактів автоперемикача впливають на амплітудно-часові показники сигналу переводу стрілки. До відмов, які змінили спектральний склад струмової кривої, відносяться ексцентриситет ротора і злам стрижня ротора.

Таблиця 2.2 – Діагностичні ознаки відмов стрілочних переводів

Тип відмови	Ознаки відмови	Обґрунтування визначення дефекту
Відсутність зазору в корені гостряка стрілки	Поступове або різке збільшення амплітуди сигналу в кінці часової залежності струму переводу	Корінь гостряка в кінці переводу своїм кутом впирається в наступну рейку
Відбій рамної рейки з/без затисненням гостряка під рамну рейку		Гостряк боковою гранню впирається в рамну рейку, і момент з боку стрілочного двигуна зростає, що призводить до збільшення амплітуди струму
Дефекти підшипників електродвигуна	Нестабільна зміна амплітуди сигналу кривої струму під час переводу стрілки, ривки та звук тертя електродвигуна	Ротор електродвигуна при обертанні буде долати додаткові зусилля на тертя, через що форма залежності струму переведення стрілки збільшена і довільна
Ексцентриситет ротора	Додаткові сплески в спектральному складі біля основної гармоніки 50 Гц	Порушення рівномірності повітряного зазору між статором і ротором стають причиною виникнення додаткового електромагнітного поля
Забруднення башмаків стрілки	Поступове зростання амплітуди струму під час кожного наступного переводу стрілки	Зростає момент навантаження на валу двигуна, тому що стрілка не може рухатися за інерцією по не змащеним подушкам, а двигун повинен постійно проштовхувати їх вперед і долаючи додатковий опір від тертя
Засипання стрілочного переводу сипучими матеріалами	Різке збільшення амплітуди струму під час переводу стрілки у порівнянні з попереднім переводом	Амплітуда сигналу змінюється ривками, відповідно до уривчастої зміни навантаження через нестабільний рух стрілки
Люфти в з'єднаннях робочої тяги стрілки	Збільшення часу роботи стрілки в не навантаженому режимі. Загальне збільшення часу переводу стрілки	За величиною приросту часу між початком роботи двигуна і початком руху гостряків стрілки можна визначати збільшення величини люфту робочої тяги, який з'являється через додатковий час на виконання зайвого ходу
Несправність контактів автоперемикача	Збільшення амплітуди та часу протікання струму комутації на початку роботи стрілочного електропривода	Розрегулювання контактів автоперемикача через послаблення пружин, злам чи виробіток колодок
Неправильне регулювання стрілочного переводу	Перевищення рівня амплітуди струму, максимально допустимої для даного типу стрілки з даним типом електродвигуна	Порушення технології встановлення стрілочного електропривода призводить до невідповідності площини прикладення зусилля, через що збільшується момент опору руху.
Пошкодження кабельної мережі		Втрати струму витоків в кабельній мережі
Розрив одного або декількох стрижнів ротора	В спектрі присутні значущі частоти в області значень від 0 до 8 кГц	Зменшення кількості провідників призводить до зменшення взаємодії електрорухомих сил, що виникають в роторі і їх взаємодії з полем статора, а двигун починає обертання при меншій від нормативного значення напрузі

Продовження таблиці 2.2

Тип відмови	Ознаки відмови	Обґрунтування визначення дефекту
Обмерзання контактів автоперемикача	Показники кривої струму відповідають нормальному переводу, але відсутній контроль положення, який з'являється після декількох переводів	При обмерзанні та забрудненні контактів контрольного кола автоперемикача стрілка переводиться без відхилень від норми кривої струму, але контрольне коло не замикається, що долається утворенням контакту в контрольному колі після декількох замикань стрілки у крайньому положенні
Забруднення контактів автоперемикача		
Коротке замикання між фазами	Перевищення струму переведення стрілки нормативного значення, перегрів статора	Зменшення опору протікання струму в колах стрілочних електродвигунів
Пошкодження в обмотці статора	Ротор не розвиває номінальної швидкості обертання	Порушується симетрія трифазної обмотки, і при протіканні по ній струму створюється еліптичне магнітне поле, яке складається з двох протилежно направлених полів. Обертове поле, яке обертається навпаки, створює у всьому діапазоні ковзань гальмівний момент, і тому результуючий електромагнітний момент зменшується. У зв'язку з цим для створення необхідного моменту потрібна більша напруга
Несиметрія напруги		

Таким чином, пошкодження стрілочних переводів, які стосуються механічної частини, визначаються шляхом порівняння параметрів часової залежності струму, а за допомогою порівняння спектрального складу визначаються невідповідності справному стану в електричній частині. Кожна несправність визначається за своєю власною ознакою, проте, як видно з порівняння дефектів (табл. 2.2), відбій рамної рейки та упор кореня гостряка відрізнити один від одного практично неможливо. Це ж стосується і таких відмов в роботі стрілочних переводів як: забруднення башмаків та засипання стрілочного переводу сипучими матеріалами, неправильне регулювання стрілочного переводу та пошкодження кабельної мережі, обмерзання та забруднення контактів автоперемикача. Дані залежності є дуже схожими, що ускладнює їх автоматизоване розпізнавання.

2.6. Висновки

З метою експериментального дослідження СЕП розроблено метод запису і діагностування стану стрілочних переводів. Дослідження діагностичних ознак стрілочних переводів з електроприводами змінного струму проведені за часовою залежніс-

тю та частотним складом кривої струму переведу стрілки, записаними згідно з запропонованими схемами підключення в панелі живлення централізованих стрілок.

Проведення вимірювань на діючих стрілочних переводах шляхом підключення вимірювального обладнання до вимірюваного шунта в панелі живлення стрілок дозволяє використовувати один комплект обладнання для проведення діагностування стану всіх стрілок, підключених до систем електричної централізації стрілок і сигналів на станції.

За допомогою порівняння часових кривих струмів та їх спектрів справного діючого стрілочного перевodu зі стрілочним переводом, який має дефекти, було визначено вплив різних несправностей стрілочного перевodu на струм живлення електродвигуна.

Вперше експериментально досліджено електричні характеристики СЕП в умовах експлуатації з електричними та механічними дефектами окремо, що дає можливість визначити характерні ознаки несправностей для розробки автоматизованої системи діагностування.

Встановлено залежність форми та складу кривої струму в кожному з проведених вимірювань від механічної та електричної частин стрілочного перевodu. Проведений аналіз отриманих результатів довів, що різні відхилення в параметрах від норм внаслідок не виконання або не дотримання технології обслуговування і ремонту, раптово виниклого пошкодження чи відмови безпосередньо впливають на часову залежність і спектральну складову струму в колі електродвигуна.

Проведено аналіз відповідності досліджень діючих стрілочних переводів та отримані результати роботи в різних умовах, який показав, що результати відрізняються між собою. На підставі виявлених різниць встановлено, що здійснення контролю за роботою стрілочного перевodu та діагностування його стану можна виконувати на основі проведення вимірювань та порівнянні з результатами вимірювань нормально працюючих стрілочних переводів та нормативних значень.

Визначено, що при наявності люфтів понад 1,5 мм в з'єднаннях робочої тяги збільшується час перевodu на 0,5 с. Встановлено підвищення струму в кінці перевodu стрілки на 0,4 А при упорі кореня гостряка та відбої рамної рейки. Підвищення ж струму, яке ві-

дбується з причини забруднення башмаків чи засипання сипучими матеріалами, складає від 0,5 А до 1 А в середині часової залежності кривої струму. Ексцентриситет ротора можна визначити за появою у спектрі частот у нижньому діапазоні додаткових сплесків в спектральному складі біля основної гармоніки 50 Гц. Розрив одного або декількох стрижнів ротора двигуна призводить до появи в спектрі значущих частот в області значень від 0 до 8 кГц.

Таким чином, для підвищення якості обслуговування, точності й своєчасності визначення несправностей необхідно застосовувати систему автоматизованого діагностування.

РОЗДІЛ 3

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СТІЛОЧНОГО ПЕРЕВОДУ

3.1. Моделювання електропривода на основі трьохфазного асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором

В результаті проведення експериментальних досліджень були визначені певні закономірності й визначені характерні особливості.

Реалізувати усі дефекти з необхідною кількістю несправних електроприводів для отримання надійної статистики складно. Для більш глибокого дослідження електромеханічних процесів в СЕП була розроблена його математична модель та проведено моделювання роботи в залежності від його несправностей.

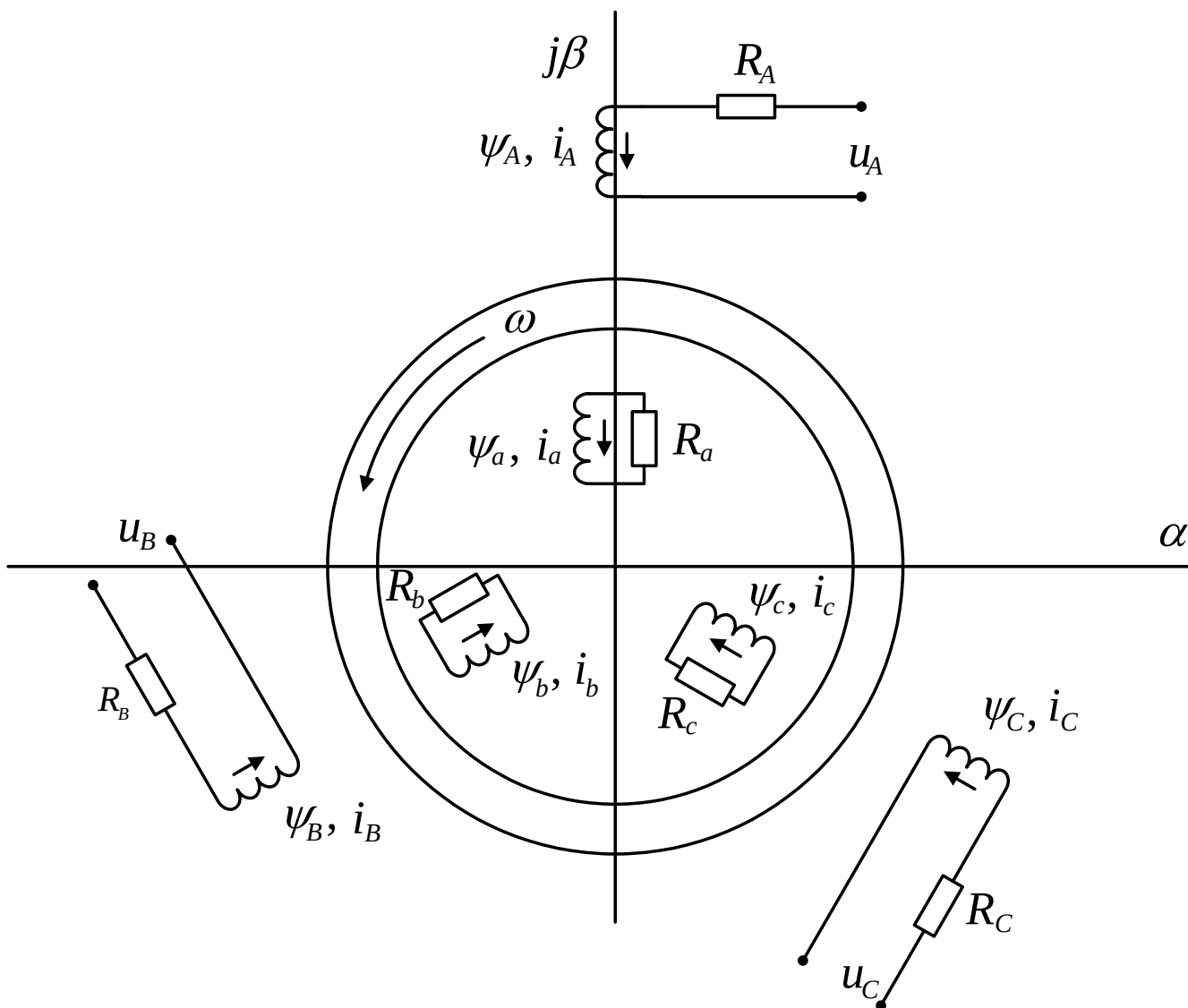


Рисунок 3.1 – Схема узагальненої асинхронна машина

Розглянемо узагальнений асинхронний двигун з трифазною обмоткою на статорі і трифазною обмоткою на роторі (рис. 3.1). Обмотки статора і ротора в загальному випадку підключені до симетричних трифазних джерел напруги [3, 9, 32, 43, 74].

Система рівнянь узагальненої асинхронної машини складається з рівнянь, які базуються на чотирьох законах. Для вираження рівноваги електрорушійної сили на обмотках статора і ротора використовується другий закон Кірхгофа, описаний першими двома рівняннями. Наступні два рівняння представляють собою закон Ампера, який слугує для зв'язування потокозчеплення обмоток зі струмами, що протікають в обмотках. Передостаннє рівняння, що лежить в основі аналізу машини, є вираженням закону, сформульованого Ленцем, як правило лівої руки, яке пов'язує векторні величини моменту, потокозчеплення і струму. Останнє рівняння складено на основі закону рівноваги моментів на валу машини і представлено другим законом Ньютона. Отже, система рівнянь для аналізу узагальненої асинхронної машини має вигляд:

$$\begin{cases} \vec{u}_S = R_S \vec{i}_S + \frac{d\vec{\psi}_S}{dt} + j\omega_k \vec{\psi}_S, \\ \vec{u}_R = R_R \vec{i}_R + \frac{d\vec{\psi}_R}{dt} + j(\omega_k - p\omega_m) \vec{\psi}_R, \\ \vec{\psi}_S = L_S \vec{i}_S + L_m \vec{i}_R, \\ \vec{\psi}_R = L_m \vec{i}_S + L_R \vec{i}_R, \\ \vec{M} = \frac{3}{2} p \cdot \vec{k} \cdot \text{Mod}(\vec{\psi}_i \times \vec{i}_k), \\ J \frac{d\omega_m}{dt} = M - M_{\tilde{n}}, \end{cases} \quad (3.1)$$

де $\vec{u}_S$, $\vec{u}_R$, $\vec{i}_R$, $\vec{i}_S$, $\vec{\psi}_R$, $\vec{\psi}_S$ – математичний опис просторового вектору статорної і роторної напруги, статорного і роторного струму, та статорного і роторного потокозчеплення, $R_A=R_B=R_C=R_S$ – активний опір статорної обмотки, $R_a=R_b=R_c=R_R$ – активний опір роторної обмотки, L_S , L_R – власні індуктивності статора і ротора, L_m – взаємна індуктивність між статором и ротором, p – число пар полюсів в машині, $\vec{k}$ – орта, направлена вздовж осі вала двигуна, J (кг·м²) – момент інерції на валу машини, який враховує інерційність як самої машини, так і підведеної до вала інерційності робочого механізму та редуктора, ω_k ($\frac{rad}{\tilde{n}}$) – кутова швидкість обертання єдиної

системи координат, ω_m рад/с – кутова швидкість обертання вала машини, M (Н·м) – крутячий момент на валу електродвигуна, M_C (Н·м) – момент навантаження робочого механізму, приведений до валу, в загальному випадку він може бути функцією швидкості і кута повороту [3, 9, 32, 43].

Математичний опис просторового вектору статорного струму:

$$\vec{i}_S = \frac{2}{3} I_m (\cos \omega t + e^{j\frac{2\pi}{3}} \cos(\omega t - \frac{2\pi}{3}) + e^{j\frac{4\pi}{3}} \cos(\omega t + \frac{2\pi}{3})) = I_m e^{j\omega t}. \quad (3.2)$$

Геометрична інтерпретація просторового вектору струму (рис. 3.2) представляє собою вектор на комплексній площині з модулем довжиною I_m , який обертається з кутовою швидкістю ω в додатному напрямку. Проекції вектору $\vec{i}_S$ на фазні осі А, В, С визначають миттєві значення струмів в фазах. Аналогічно просторовими векторами можна представити всі напруги, струми і потокозчеплення, що входять до системи рівнянь (3.1).

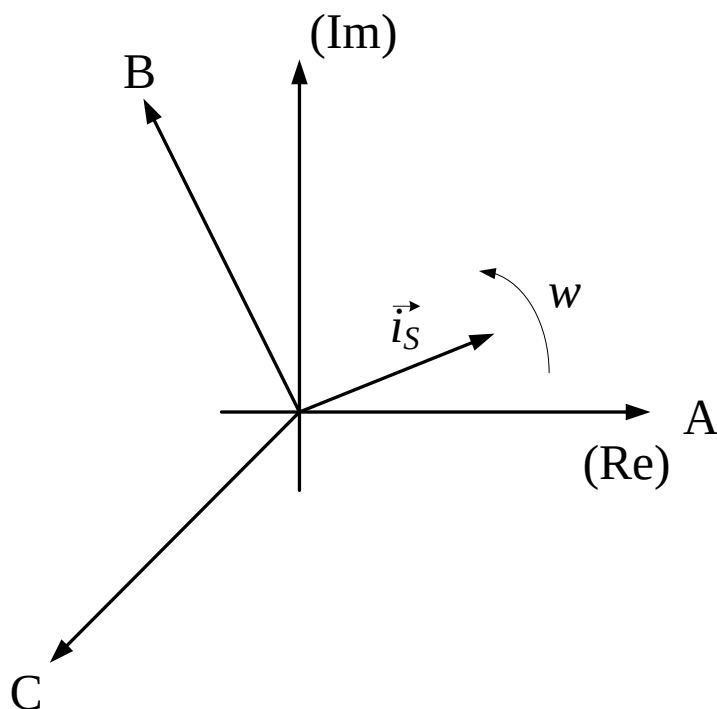


Рис. 3.2. Просторовий вектор струму

Рівняння асинхронної машини з короткозамкненим ротором можна отримати з системи рівнянь (3.1), якщо в цих рівняннях прийняти $\vec{u}_R = 0$:

$$\begin{cases} \vec{u}_S = R_S \vec{i}_S + \frac{d\vec{\psi}_S}{dt} + j\omega_k \vec{\psi}_S, \\ 0 = R_R \vec{i}_R + \frac{d\vec{\psi}_R}{dt} + j(\omega_k - p\omega_m) \vec{\psi}_R, \\ \vec{\psi}_S = L_S \vec{i}_S + L_m \vec{i}_R, \\ \vec{\psi}_R = L_m \vec{i}_S + L_R \vec{i}_R, \\ M = \frac{3}{2} p \cdot k \cdot \text{Mod}(\vec{\psi}_i \times \vec{i}_k), \\ J \frac{d\omega_m}{dt} = M - M_{\tilde{N}}. \end{cases} \quad (3.3)$$

Для динамічних систем необхідно враховувати перехідні електромагнітні процеси в машині. В цьому випадку в якості пари змінних, що описують машину, залишимо просторові вектори струму статора і потокозчеплення ротора ($\vec{i}_S$, $\vec{\psi}_R$), тоді система рівнянь (3.2) з урахуванням рівнянь для визначення потокозчеплень $\vec{\psi}_S$, $\vec{\psi}_R$ після відповідних перетворень приймуть вигляд:

$$\begin{cases} \vec{u}_S = r \vec{i}_S + L_S \frac{d\vec{i}_S}{dt} + j\omega_k L_S \vec{i}_S - \frac{k_R}{T_R} \vec{\psi}_R + jk_R p\omega_m \vec{\psi}_R, \\ 0 = -k_R R_R \vec{i}_S + \frac{1}{T_R} \vec{\psi}_R + \frac{d\vec{\psi}_R}{dt} + j(\omega_k - p\omega_m) \vec{\psi}_R, \\ M = \frac{3}{2} p \cdot k_R \cdot \text{Mod}(\vec{\psi}_R \times \vec{i}_S), \\ J \frac{d\omega_m}{dt} = M - M_{\tilde{N}}, \end{cases} \quad (3.4)$$

де $r = R_S + \frac{L_m^2}{L_R^2} R_R$, $L_S = L_S - \frac{L_m^2}{L_R^2}$, $k_R = \frac{L_m}{L_R}$, $T_R = \frac{L_R}{R_R}$ – коефіцієнти.

Для синтезу та аналізу електропривода, побудованого на базі асинхронного короткозамкненого двигуна вирішальним є вибір системи координат. При побудові реальних систем електроприводів змінного струму практично завжди в систему управління включають перетворювачі координат. Це обумовлено тим, що реалізація регуляторів можлива лише в системі координат, що обертається, а реальні струми в обмотках статора – це струми в нерухомій системі координат. Використовуючи при математичному описі електропривода обертову систему координат, вдається істотно спростити опис і моделювання, тому що не виникає необхідності в перетворювачах з обертової системи і назад, а також в перетворювачах фаз 2/3 і 3/2.

3.2. Математичне моделювання стрілочних переводів з електроприводом змінного струму

3.2.1. Лінеаризована модель асинхронного двигуна

Для аналізу електромеханічних і механічних властивостей асинхронних двигунів скористаємося Т-подібною схемою заміщення двигуна (рис. 3.3) та запишемо основні його рівняння [10, 22, 73].

Загальний опір:

- кола статора:

$$Z_1 = \sqrt{R_1^2 + x_1^2}, \quad (3.5)$$

- кола ротора:

$$Z_2(s) = \sqrt{\left(\frac{R_2}{s}\right)^2 + x_2^2}, \quad (3.6)$$

- контуру намагнічування:

$$Z_\mu = \sqrt{R_\mu^2 + x_\mu^2}. \quad (3.7)$$

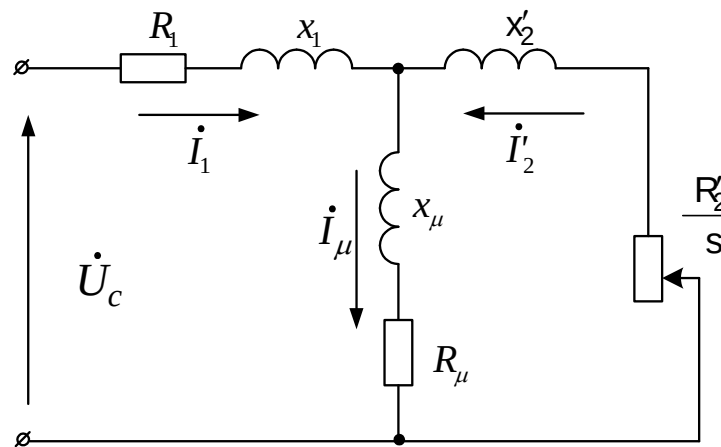


Рисунок 3.3 – Т-подібна схема заміщення асинхронного двигуна

Еквівалентний опір кола:

$$Z_e(s) = \sqrt{R_1^2 + x_1^2} + \frac{\sqrt{(R_\mu^2 + x_\mu^2) \cdot \left[\left(\frac{R_2}{s}\right)^2 + x_2^2\right]}}{\sqrt{(R_\mu^2 + x_\mu^2)} + \sqrt{\left[\left(\frac{R_2}{s}\right)^2 + x_2^2\right]}}. \quad (3.8)$$

В результаті струм статора:

$$I_1(s) = \frac{U_{\hat{i}\hat{i}}}{Z_e(s)}. \quad (3.9)$$

ЕРС дорівнює:

$$E(s) = U_{\hat{i}\hat{i}} - I_1(s) \cdot Z_1. \quad (3.10)$$

Струм ротора:

$$I_2(s) = \frac{E(s)}{Z_2(s)}. \quad (3.11)$$

Струм намагнічування:

$$I_\mu(s) = \frac{E(s)}{Z_\mu}. \quad (3.12)$$

Момент двигуна:

$$M(s) = \frac{3 \cdot I_2^2 \cdot R_2}{50 \cdot \pi \cdot s}. \quad (3.13)$$

Математична модель електричної машини будь-якого типу складається з рівнянь електричної рівноваги всіх контурів електричної машини та рівняння руху ротора [56, 68].

Розглянемо модель асинхронного двигуна, припускаючи, що робота відбувається на лінійній ділянці характеристики (рис. 3.4).

Рівняння механічної характеристики на цій ділянці запишеться у вигляді:

$$M = \frac{M_k}{s_k} \cdot s, \quad (3.14)$$

де M_k – критичний момент на валу, s_k – критичне ковзання, s – ковзання при заданому навантаженні.

Звідки

$$M = \frac{M_k}{s_k} \cdot \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0} = \frac{M_k}{s_k \cdot \omega_0} (\omega_0 - \omega) = \beta (\omega_0 - \omega). \quad (3.15)$$

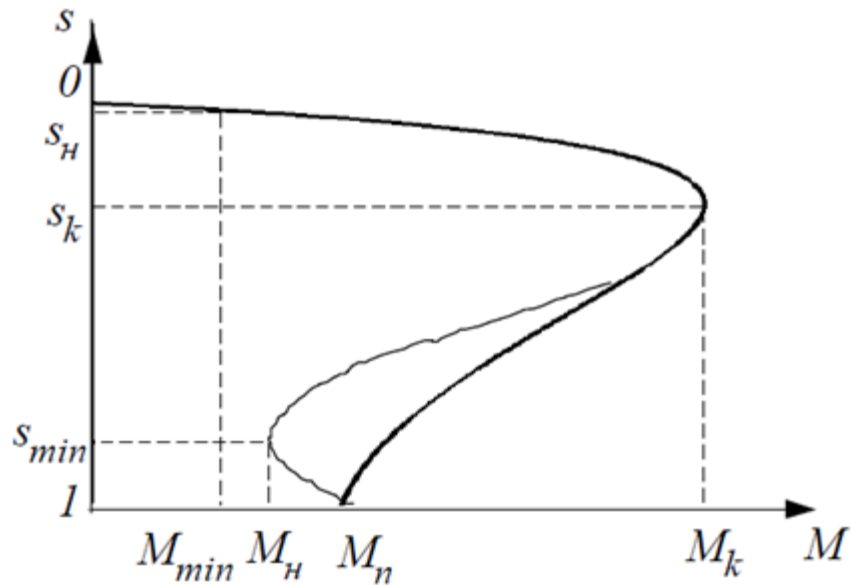


Рисунок 3.4 – Механічна характеристика асинхронного двигуна

Для обліку часу протікання електромагнітних процесів введемо електромагнітну сталу часу:

$$T = \frac{1}{\omega_0 \cdot s_k} = \frac{x_k}{\omega_0 \cdot R_2'} = \frac{L_k}{R_2'}. \quad (3.16)$$

Структурна схема АД в межах лінійної частини характеристики буде мати наступний вигляд (рис. 3.5):

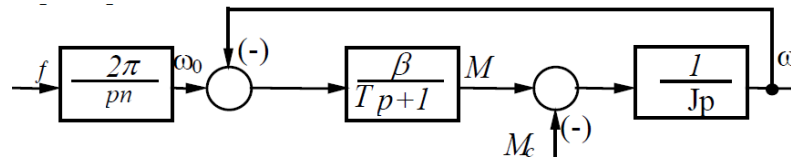


Рисунок 3.5 – Структурна схема асинхронного двигуна в межах лінійної частини характеристики

Дана структурна схема може бути використана для аналізу процесів при частотному регулюванні, при регулюванні напруги на статорі та ін. Однак, при цьому необхідно враховувати зміну параметра β .

Варто пам'ятати, що модель є прийнятною лише при таких змінах керуючих впливів, коли ми не виходимо за межі лінійної частини характеристик (рис. 3.4).

3.2.2. Моделювання зазору в механічній передачі

Механічне з'єднання за допомогою шестерень потребує урахування впливу зазору на динаміку двомасової механічної системи. Наявність зазору робить залежність $M_{i\delta} = f(\varphi)$ нелінійною. Для урахування цієї нелінійності розглянемо вплив зазору на прикладі зубчастої передачі (рис. 3.6).

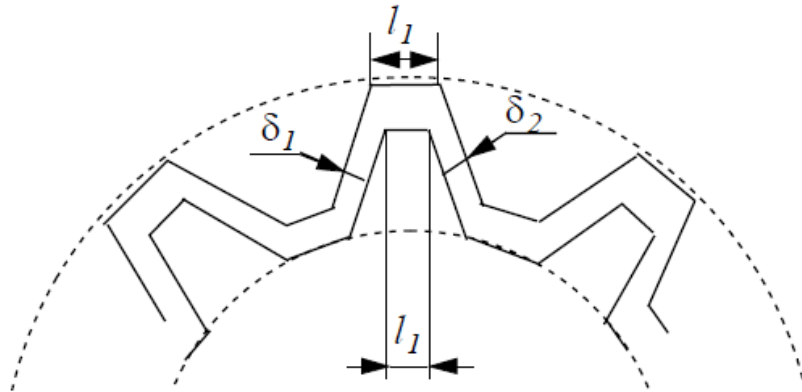


Рисунок 3.6 – Шестерня механічної передачі

На початку руху ротора двигуна робоча машина залишається нерухомою через зазор. Пружний момент при цьому $M_{i\delta} = 0$. Після вибирання зазору робоча машина починає обертатися. З'являється пружний момент. Залежність $M_{i\delta} = f(\varphi)$ має вид нелінійності типу «нечуттєвість» (рис. 3.7).

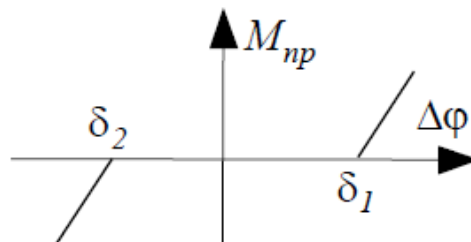


Рис. 3.7. Нелінійна залежність пружного моменту за наявності зазору

Величина зазору δ_1 і δ_2 залежить від початкового положення передачі. Зазвичай приймають $\delta_1 = \delta_2 = \delta/2$, де $\delta = l_1 - l_2$.

Система диференціальних рівнянь двомасової механічної системи з урахуванням зазору має наступний вигляд:

$$\left\{ \begin{array}{l} J_1 \frac{d\omega_1}{dt} = M_{\ddot{a}\hat{a}} - M_{\ddot{i}\hat{\delta}}; \\ J_2 \frac{d\omega_2}{dt} = M_{\ddot{i}\hat{\delta}} - M_{\ddot{n}\hat{\delta}}; \\ \frac{d\Delta\varphi}{dt} = \omega_1 - \omega_2; \\ M_{\ddot{i}\hat{\delta}} = \begin{cases} c_{12}(\Delta\varphi - \frac{\delta}{2}), \Delta\varphi \geq \frac{\delta}{2}; \\ 0, |\Delta\varphi| < \frac{\delta}{2}; \\ c_{12}(\Delta\varphi + \frac{\delta}{2}), \Delta\varphi \leq -\frac{\delta}{2}; \end{cases} \end{array} \right. \quad (3.17)$$

Структурна схема, що відповідає даній системі, має вигляд (рис. 3.8):

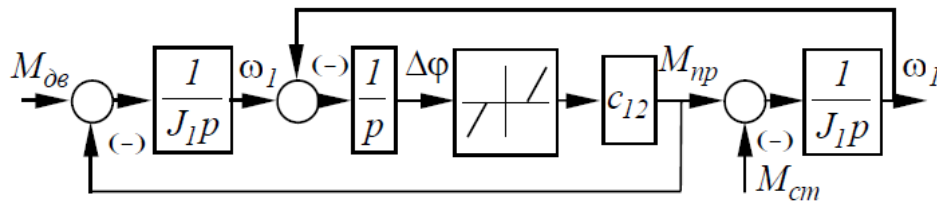
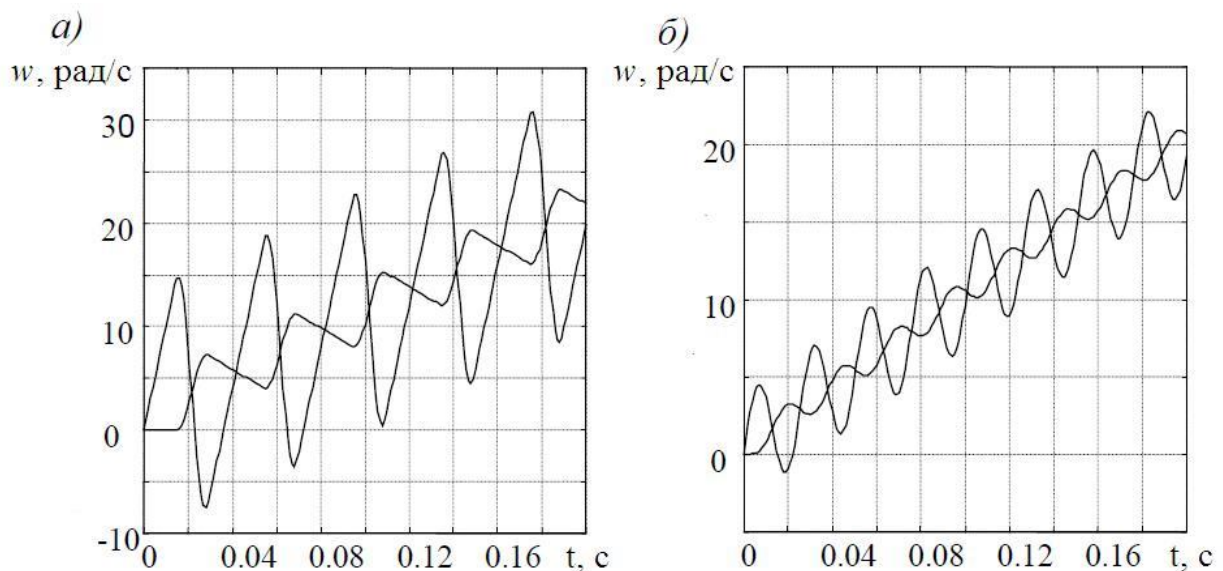


Рисунок 3.8 – Структурна схема двомасової системи з урахуванням зазору

Розгляд системи передачі обертання, що враховує зазор і системи, яка його не враховує має принципову відмінність (рис. 3.9).



а) з урахуванням зазору; б) без урахування зазору.

Рисунок 3.9 – Кутові швидкості першої та другої маси

3.3. Кінематична схема стрілочного переводу

3.3.1. Структурна схема стрілочного електропривода

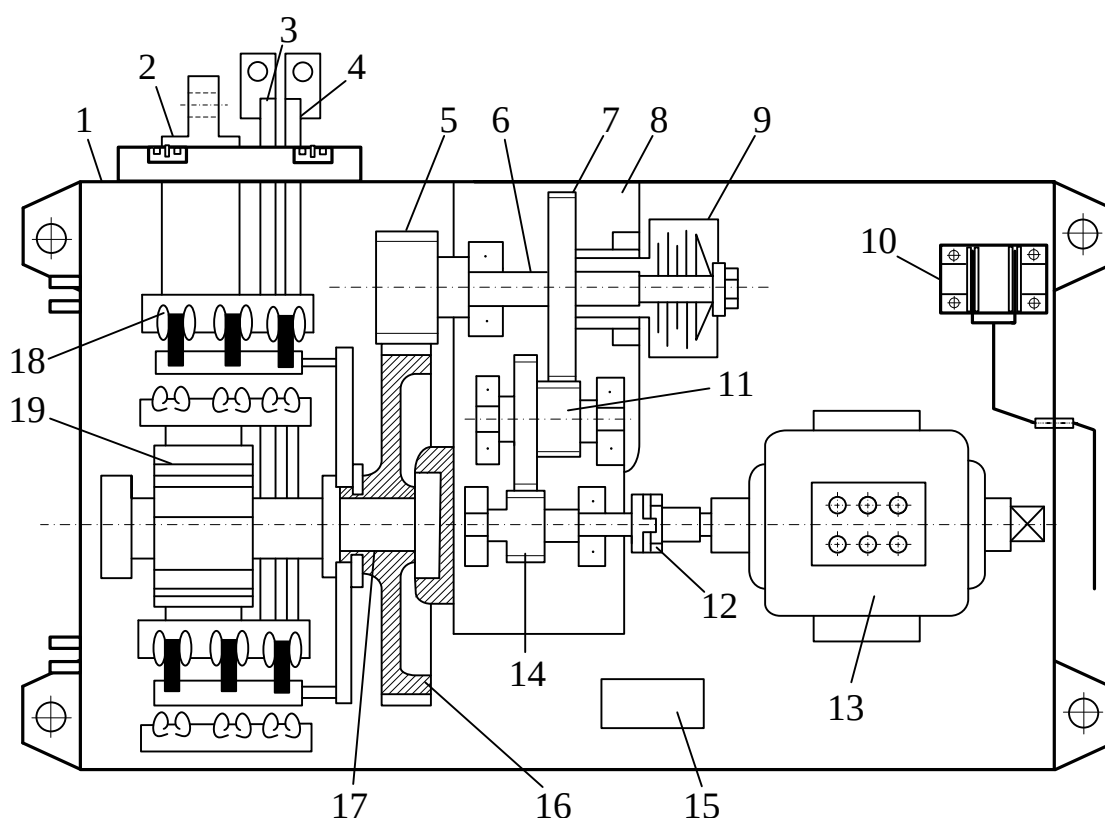
Не зважаючи на різноманіття конструкцій електромеханічних стрілочних електроприводів їх структурні схеми ідентичні (рис. 3.10) [20, 58, 90, 91, 101-, 106, 111, 130]. Це пояснюється тим, що будь-який пристрій, що здійснює перевід стрілочних гостряків, повинен мати чотири режими роботи:

- робочий, при якому стрілочний електропривод забезпечує переміщення гостряків з нормованим зусиллям, що досягає 6 кН;
- контрольний (статичний), коли здійснено механічне замикання гостряків в крайньому положенні із зусиллям, що виключає їх відхід при проходженні потягу, і є надійний електричний контроль щільного прилягання одного гостряка до рамної рейки і відведення іншого гостряка від рамної рейки;
- динамічний, коли стрілочний електропривод і елементи його кріплення до стрілочного переводу (стрілочна гарнітура) сприймають динамічні дії рухомого складу, при яких не повинні порушуватися взаємозв'язки функціональних вузлів стрілочного електропривода і відбуватися залишкові деформації, тобто повинна забезпечуватися стійкість системи "стрілочний електропривод – стрілочний перевід";
- взрізу стрілки рухомим складом, в результаті якого порушується контрольний режим і виключається можливість виконання робочого режиму.

Стрілочний електроприводи мають однакову структуру, до якої належать: джерело механічної енергії – електродвигун; підсилювач крутного моменту електродвигуна і перетворювач його обертального руху в поступальний рух перекладних тяг – редуктор; фрикційне зчеплення (фрикціон) – гальмо, яке забезпечує захист електродвигуна від перевантажень і гальмування обертових частин привода в кінці переведення стрілки; блок контролю положення стрілки і підготовки кола реверсування привода і включення привода спареної стрілки – автоперемикач.

В робочому режимі обертаючий момент від електродвигуна 13 передається че-

рез фрикційну муфту 9 до шестерень редуктора 8, який обертає головний вал 17 з меншою швидкістю і в багато разів збільшеним моментом [15, 25, 110]. У взрізних приводів на головному валу 17 може знаходитися взрізний пристрій, здійснюючий роз'єднання валу при взрізі стрілки, коли зусилля взрізу досягає певного значення. Головний вал 17 забезпечує переміщення робочого шибера 2 через замикаючий механізм, який виконується в різних варіантах, наприклад у вигляді циліндрової передачі з провідною шестернею особливої конфігурації із замикаючим зубом 19. Після закінчення переводу стрілки, контакти автоперемикача 18 під дією контрольних лінійок 3 і замикаючого механізму 19 змінюють свій стан, і електродвигун 13 відключається, а контрольний коло електропривода замикається.



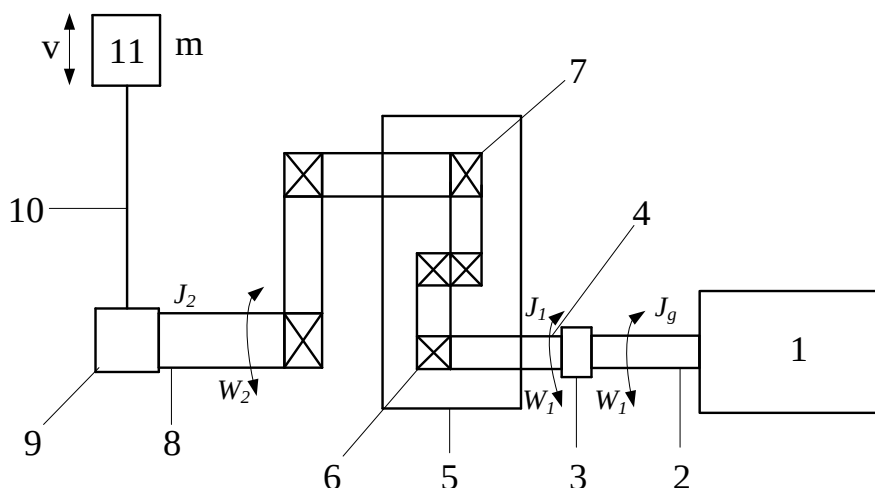
1 – корпус; 2 – шибера; 3,4 – контрольні лінійки; 5 – шестерня редуктора; 6 – вал; 7 – шестерня редуктора 8 – редуктор; 9 – фрикційна муфта; 10 – блокуюча заслінка з контактом; 11, 14 – шестерні; 12 – вирівнююча муфта щеплення; 13 – електродвигун; 15 – обігрівач; 16 – зубчасте колесо з упором; 17 – головний вал; 18 – блок автоперемикача; 19 – шибера на шестерню.

Рисунок 3.10 – Структурна схема стрілочного електропривода

3.3.2. Представлення стрілочного переводу у вигляді механічної системи

Приведемо математичне описання руху механічних частин стрілочного переводу та наведемо спосіб отримання сумарного моменту інерції вала двигуна та навантаження.

На основі приведеної вище структурної схеми стрілочного електропривода (рис. 3.10) представимо стрілку як механічну систему.



1 – електродвигун; 2 – вал двигуна; 3 – з'єднувальна муфта; 4 – редуктор; 5,6 – мала та велика шестерні редуктора; 7 – головний вал; 8 – шиберна шестерня; 9 – виконавчий орган (з приєднаною робочою тягою); 10 – гостряки стрілки.

Рисунок 3.11 – Кінематична схема стрілочного електропривода

На кінематичній схемі стрілочного приводу схематично зображений електродвигун 1 (рис. 3.11), який перетворює підведену електричну енергію в механічну, приводячи в рух вал 2 з кутовою швидкістю W_1 та обертальним моментом M . Вал 2 має власні фізичні параметри, від яких залежить момент інерції J_g . Через з'єднувальну муфту 3 вал редуктора 4 з жорстко насадженою малою шестернею 6, який має власний момент інерції J_1 , обертається з кутовою швидкістю W_1 і передає обертальний рух на велику шестерню 7 редуктора 5. Обертальний рух передається з редуктора на головний вал 8, примушуючи його обертається з кутовою швидкістю W_2 . Головний вал 8 має власний момент інерції, який позначено J_2 . Зубці шиберної шестерні 9, яка має жорстке з'єднання з головним валом 8, входячи в щеплення з зубцями шибера 10, примушують його пересувати разом із робочою тягою гостряки стрілки 11 і таким чином відбувається перевід стрілки.

3.3.3. Рівняння руху стрілочного переводу

У механічному русі стрілочного переводу бере участь рухома частина електродвигуна, елементи передатного пристрою (редуктор) та шибєр, який є виконавчим органом [21, 29, 39].

Поступальний рух стрілочного переводу можна записати у вигляді виразу для знаходження сили, яку розвиває електропривод при виконанні переводу, за II законом Ньютона [111]:

$$F = m \frac{dv}{dt} + v \frac{dm}{dt}, \quad (3.18)$$

де m – маса гостряків; $\frac{dv}{dt}$ – прискорення переміщення гостряків; $m \frac{dv}{dt}$ – сила, яку розвиває привод при переводі; v – швидкість поступального руху тіла; $\frac{dm}{dt}$ – зміна питомої маси рухомої частини при виконанні переводу за рахунок поступового включення в роботу більшої кількості вузлів; $v \frac{dm}{dt}$ – інерційність системи для поступального руху.

Обертний рух СЕП має параметри аналогічні до параметрів формули (3.18) і описується рівнянням:

$$M = J \frac{dW}{dt} + W \frac{dJ}{dt}, \quad (3.19)$$

де J – момент інерції; $\frac{dW}{dt}$ – прискорення обертального руху; $J \frac{dW}{dt}$ – момент, який необхідно розвинути, щоб перевести стрілку; W – кутова швидкість руху; $\frac{dJ}{dt}$ – зміна питомого моменту інерції рухомої частини при виконанні переводу за рахунок поступового включення в роботу більшої кількості вузлів; $W \frac{dJ}{dt}$ – інерційність системи для обертального руху.

3.3.4. Одномасова схема

Для спрощення розрахунків і приведення до однієї формули представимо кінематичну схему стрілочного переводу у найпростішому вигляді де будуть виконуватися два припущення, що всі елементи в схемі мають жорсткі з'єднання між собою і між ними немає зазору. Це спрощення схеми не змінює за суттю кінематичну схему і дозволяє розраховувати її як одно масову приведену до двигуна 1. В даному випадку приведені значення моменту інерції, обертального моменту та кутової швидкості обертання вала двигуна запишуться у вигляді J , M , W відповідно [88, 89, 109].

Враховуючи те, що енергія, яка необхідна для переведення стрілки однакова для кінематичної схеми стрілочного електропривода (рис. 3.4) та спрощеної схеми механічної частини електропривода (рис. 3.5), то відповідно до виразу (3.19) запишемо наступне рівняння:

$$\frac{J \cdot W^2}{2} = \frac{J_g \cdot W^2}{2} + \frac{J_1 \cdot W^2}{2} + \frac{J_2 \cdot W_2^2}{2} + \frac{m \cdot v^2}{2}, \quad (3.20)$$

де $\frac{m \cdot v^2}{2}$ – кінетична енергія переведення стрілочних гостряків (m (кг) – маса гостряків, v (м/с) – швидкість пересування гостряків).

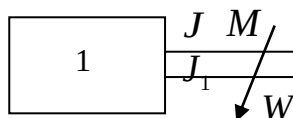


Рисунок 3.12 – Спрощена кінематична схема механічної частини електропривода

Загальне передатне число редуктора звичайного стрілочного електропривода дорівнює 70,5. Для спрощення розрахунків приймаємо кількість ступенів редуктора замість 4 рівним 1. Тоді формула для визначення зведеного передатного числа редуктора, яке враховує усі каскади редуктора, має вигляд:

$$k = \frac{Z_2}{Z_1} = \frac{W}{W_2}, \quad (3.21)$$

де Z_2 – число зубців великої шестерні; Z_1 – число зубців малої шестерні.

З даної формули виразимо W_2 :

$$W_2 = \frac{W}{k}. \quad (3.22)$$

Підставимо отримане значення W_2 в формулу (3.20):

$$\frac{J \cdot W^2}{2} = \frac{J_g \cdot W^2}{2} + \frac{J_1 \cdot W^2}{2} + \frac{J_2 \cdot W^2}{2 \cdot k^2} + \frac{m \cdot v^2}{2}. \quad (3.23)$$

Скоротивши обидві частини виразу (3.23) на $\frac{W^2}{2}$ отримаємо формулу для визначення сумарного моменту інерції вала двигуна та навантаження:

$$J = J_g + J_1 + \frac{J_2}{k^2} + \frac{m \cdot v^2}{W^2}. \quad (3.24)$$

Останнім доданком у виразі (3.24) є радіус приведення:

$$r^2 = \frac{m \cdot v^2}{W^2}. \quad (3.25)$$

Динамічний момент інерції валу визначається за формулою [89]:

$$J_g = (0,55 \div 0,65) \cdot D_a^4 \cdot (l_a + 0,3 \cdot D_a + 0,75 \cdot P_n) \cdot 10^{-12}, \quad (3.26)$$

де l_a (мм) – довжина осердя ротора (стальної клітки); D_a (мм) – діаметр ротора; P_1 (кВт) – номінальна корисна потужність, яка витрачається на виконання роботи.

Момент інерції J_1 , J_2 для обох валів другого та третього доданків (3.24) можна визначити з виразу [13]:

$$J_a = \frac{1}{2} \cdot m \cdot r^2, \quad (3.27)$$

де m – маса вала, кг; r – радіус поперечного перерізу вала, м.

Кутову швидкість обертання вала двигуна можна знайти із співвідношення:

$$W = \frac{n_\zeta \cdot 2 \cdot \pi}{t}, \quad (3.28)$$

де n_ζ (мм) – загальна кількість обертів вала.

Швидкість пересування гостриків можна визначити як відношення пройденого гостриками шляху до часу їх руху, тобто скориставшись класичною формулою механіки:

$$v = \frac{S}{t}, \quad (3.29)$$

де S (м/с) – відстань, на яку пересуваються гостряки при переведенні стрілки, t (с) – час переведення стрілки.

3.4. Імітаційна модель стрілочного переводу

3.4.1. Модель для дослідження роботи стрілочного переводу

Для розгляду стрілочного електродвигуна змінного струму в якості об'єкта діагностування побудуємо за його власними параметрами і характеристиками, які описують його стан, математичну модель з урахуванням зовнішніх параметрів, які є вхідними величинами. Моделювання проведемо в середовищі Simulink пакету MATLAB. За відомими внутрішніми параметрами об'єкта досліджень вивчимо режими роботи і реакцію стрілочного електродвигуна змінного струму на зовнішні впливи за допомогою аналізу роботи його математичної моделі.

Для створення математичної моделі стрілочного переводу скористаємося основними параметрами і характеристиками стрілочного електродвигуна змінного струму наведеними вище..

Побудуємо математичну модель стрілочного переводу в програмному середовищі Simulink пакета MATLAB [15, 122, 127]. Модель асинхронної машини включає в себе модель електричної частини, представленій моделлю простору станів четвертого порядку, і модель механічної частини у вигляді системи другого порядку. Для побудови моделі (рис. 3.13) скористаємося узагальненою моделлю віртуальної установки для дослідження асинхронної машини, яка містить [25, 110]: джерело змінної трифазної напруги Three-Phase Programmable Voltage Source з бібліотеки Power System Blockset/Extras/Electrical Sources; вимірювач трифазної напруги та струму Three-Phase VI Measurement (бібліотека Power System Blockset/Extras/Measurement); досліджувана трифазна асинхронна машина Asynchronous Machine (бібліотека Power System Blockset/Extras/Machines); для вимірювання активної та реактивної потужності в схемі використовується стандартний блок Active & Reactive Power, що входить в розділ SimPowerSystems/ExtraLibrary/Measurements; блок Display для кількісного представлення виміряних потужностей P_1 і Q_1 ; блок Scope для спостереження за струмами ротора і статора, а також швидкості і моменту асинхронної машини (голо-

вна бібліотека Simulink/Sinks); блок Moment для завдання механічного моменту на валу машини (головна бібліотека Simulink/Source); блок Machines Measurement Demux, який призначений для вилучення змінних стану з вектора вимірюваних змінних електричної машини; блок Current Measurement з бібліотеки SimPowerSystems/Measurements виконує вимір миттєвого значення струму, що протікає через сполучну лінію (провід); блок RMS з бібліотеки SimPowerSystems/Extra Library/Measurements обчислює справжнє значення гармонійної складової або постійного струму; блок Display1 для кількісного представлення швидкості машини, електромагнітного моменту і струму статора (головна бібліотека Simulink/Sinks); блок Mux, що об'єднує три сигнали в один векторний (з головної бібліотеки Simulink/Signal & System); блок Powergui, розташований в бібліотеці SimPowerSystems, є інструментом графічного інтерфейсу користувача і дозволяє виконувати різні завдання.

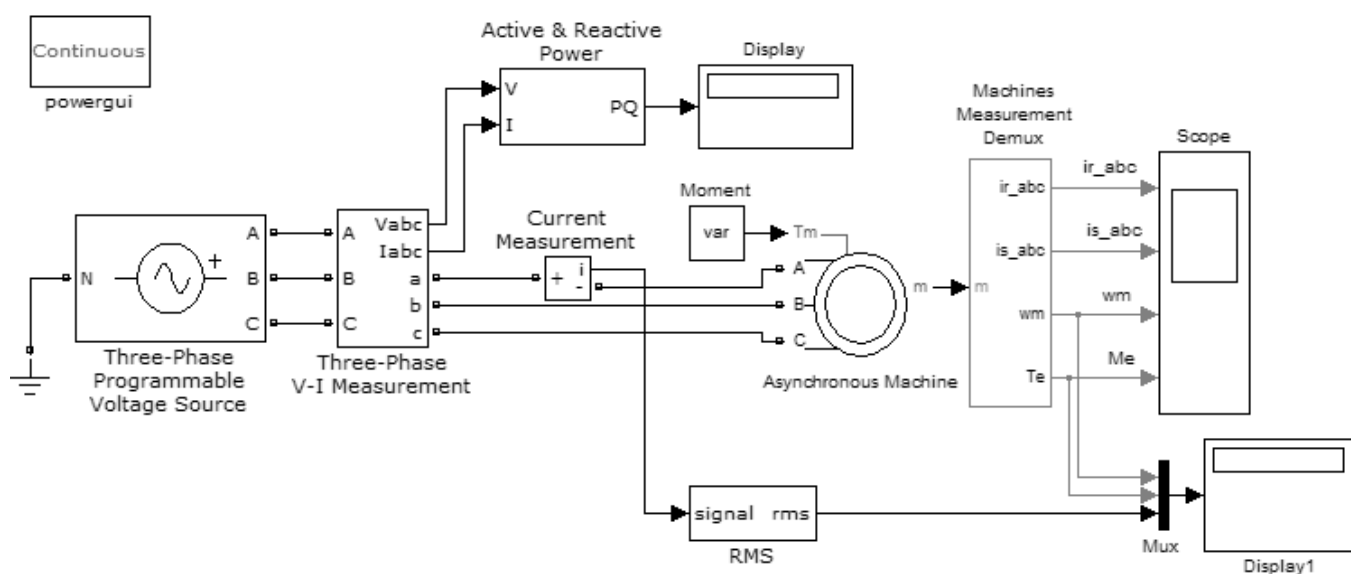


Рисунок 3.13 – Модель установки для дослідження роботи стрілочного переводу

Блок Asynchronous Machine моделює асинхронну машину в руховому або генераторному режимах. Режим роботи визначається знаком електромагнітного моменту машини.

Порти моделі A, B і C є виводами обмотки статора машини, а порти a, b і c – обмотки ротора машини. Порт Tm призначений для подачі моменту опору руху, який здійснюється за допомогою блоку Moment. На вихідному порту m формується векто-

рний сигнал, що складається з 21 елемента: струмів, потоків і напружень ротора і статора в нерухомій і обертається системі координат, електромагнітного моменту, кутової частоти обертання валу, а також його кутового положення. Даний векторний сигнал розкладається на окремі складові за допомогою блоку Machines Measurement Demux і подається на Scope для спостереження часових змін значень струмів ротора і статора, а також швидкості і моменту асинхронної машини [26, 119, 121].

Параметри асинхронної машини частково беруться з паспортних даних стрілочного електродвигуна змінного струму типу МСТ, а частково розраховуються на підставі цих паспортних даних.

Точний розрахунок параметрів схеми заміщення асинхронної машини на підставі її паспортних даних є досить важким завданням, оскільки її момент пов'язаний з параметрами нелінійною залежністю. Крім того, сама електрична машина є по суті, системою зі змінними параметрами.

Тепер, коли модель вже побудована, необхідно ввести значення параметрів в поля налаштувань блоків. Для цього необхідно розрахувати ці параметри, користуючись основними законами і правилами розрахунку електричних машин.

Для того, щоб заповнити усі поля налаштувань у властивостях блоків моделі (рис. 3.13), необхідно провести додатковий розрахунок параметрів математичної моделі стрілочного електродвигуна змінного струму типу МСТ. Визначимо параметри схеми заміщення асинхронної машини за її паспортними даними. Оскільки робота будь-якого асинхронного двигуна залежить від схеми з'єднання його обмоток, то спочатку визначимо, що обмотки статора стрілочного електродвигуна типу МСТ-0,3 включені за схемою зірка і всі відповідні паспортні дані будемо приймати щодо даного способу включення обмоток.

3.4.2. Параметри моделі стрілочного переводу

Приведемо формули для обчислення значень параметрів математичної моделі. Після цього внесемо отримані значення в поля налаштувань відповідних блоків моделі [26, 27].

Номінальне ковзання визначається з виразу:

$$s_i = \frac{n_s - n_i}{n_s}, \quad (3.30)$$

де n_s – синхронна швидкість (швидкість обертання магнітного поля), об/хв; n_n – номінальна швидкість обертання вала двигуна, об/хв. Стрілочні електродвигуни серії МСТ виконані з підвищеним ковзанням, що досягає при номінальному навантаженні 18%.

Критичне ковзання можна знайти з формули:

$$s_{\hat{e}} = (m_{\hat{e}} + \sqrt{m_{\hat{e}}^2 - 1}) \cdot s_i, \quad (3.31)$$

де m_k – відношення моменту короткого замикання (пускового) до номінального моменту; s_n – номінальне ковзання.

У свою чергу коефіцієнт m_k визначається зі співвідношення:

$$m_{\hat{e}} = \frac{M_{\hat{e}}}{M_i}, \quad (3.32)$$

в якому M_k и M_n – момент короткого замикання (під час пуску) и номінальний момент відповідно.

Конструктивний коефіцієнт можна визначити скориставшись виразом:

$$c_1 = 1 + \frac{L_{ls}}{L_m}, \quad (3.33)$$

де L_{ls} – індуктивність розсіювання статора і ротора, Гн; L_m – взаємодукція між статором і ротором, Гн.

Формула для визначення коефіцієнта в'язкого тертя має наступний вигляд:

$$B_m = \frac{\Delta P_m}{(2 \cdot \pi \cdot n_i / 60)^2}, \quad (3.34)$$

де ΔP_m – механічні втрати, Вт; $\pi=3,14$ – математична константа; n_n – номінальна швидкість обертання.

У рівнянні (3.34) механічні втрати ΔP_m , що представляють собою тертя в підшипниках і втрати на вентиляцію машин, визначаються з рівняння:

$$\Delta P_m = \sqrt{3} \cdot I_i \cdot U_i \cdot \cos \varphi \cdot \eta - P_i, \quad (3.35)$$

де I_n – струм в колі асинхронного двигуна в режимі роботи на номінальне навантаження, А; U_n – напруга на затискачах асинхронного двигуна в режимі роботи на

номінальне навантаження, В; $\cos\varphi$ – коефіцієнт потужності асинхронного двигуна; η – КПД асинхронного двигуна; P_n – потужність, яку необхідно розвинути асинхронному двигуну для подолання сили опору номінального навантаження, Вт.

Опір статора можна визначити з формули:

$$R_s = \frac{3}{2} \cdot \frac{(U_i / \sqrt{3})^2 \cdot (1 - s_i)}{c_1(1 + c_1 / s_e) \cdot M_e \cdot (P_i + \Delta P_m)}, \quad (3.36)$$

де U_n – напруга на затискачах асинхронного двигуна в режимі роботи на номінальне навантаження, В; s_n – номінальне ковзання; c_1 – конструктивний коефіцієнт; s_k – критичне ковзання; M_k – момент короткого замикання (під час пуску); P_n – потужність, яку необхідно розвинути асинхронному двигуну для подолання сили опору номінального навантаження, Вт; ΔP_m – механічні втрати, Вт.

Опір ротора можна визначити з формули:

$$R_r = \frac{1}{3} \cdot \frac{(P_i + \Delta P_m)}{(1 - s_i) \cdot i_e^2 \cdot I_i^2}, \quad (3.37)$$

де P_n – потужність, яку необхідно розвинути асинхронному двигуну для подолання сили опору номінального навантаження, Вт; ΔP_m – механічні втрати, Вт; s_n – номінальне ковзання; i_k – відношення струму короткого замикання до номінального струму; I_n – струм в колі асинхронного двигуна в режимі роботи на номінальне навантаження, А.

Коефіцієнт i_k у свою чергу визначається зі співвідношення:

$$i_e = \frac{I_e}{I_i}, \quad (3.38)$$

де I_k – струм короткого замикання (пусковий), А; I_n – номінальний струм (струм в колі асинхронного двигуна в режимі роботи на номінальне навантаження), А.

Індуктивність статора і ротора визначається за такою формулою:

$$L_s \cong L_r = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_i} \cdot \frac{U_i / \sqrt{3}}{I_i \cdot [\sqrt{1 - (\cos\varphi)^2} - \cos\varphi \cdot s_i / s_e]}, \quad (3.39)$$

де $\pi=3,14$ – математична константа; f_n – частота струму в колі асинхронного двигуна при номінальному навантаженні на валу; U_n – напруга на затискачах асинхронного двигуна в режимі роботи на номінальне навантаження, В; I_n – струм в колі аси-

асинхронного двигуна в режимі роботи на номінальне навантаження, А; $\cos\varphi$ – коефіцієнт потужності асинхронного двигуна; s_n – номінальне ковзання; s_k – критичне ковзання.

Індуктивність розсіювання статора і ротора можна визначити з виразу:

$$L_{ls} \cong L_{lr} = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot f_i} \cdot \sqrt{\left(\frac{U_i / \sqrt{3}}{i_e \cdot I_i}\right)^2 - (R_s + R_r)^2}, \quad (3.40)$$

де $\pi=3,14$ – математична константа; f_n – частота струму в колі асинхронного двигуна при номінальному навантаженні на валу, Гц; U_n – напруга на затискачах асинхронного двигуна в режимі роботи на номінальне навантаження, В; i_k – ставлення струму короткого замикання до номінального струму; I_n – струм в колі асинхронного двигуна в режимі роботи на номінальне навантаження, А; R_s – опір обмотки статора, Ом; R_r – опір обмотки ротора, Ом.

Взаємоіндукції між обмотками статора і ротора можна знайти з виразу:

$$L_m = L_s - L_{ls}, \quad (3.41)$$

де L_s – індуктивність статора, Гн; L_{ls} – індуктивність розсіювання статора, Гн.

3.5. Розрахунок параметрів моделі

3.5.1. Визначення сумарного моменту інерції вала двигуна та навантаження

Підставимо значення діаметру $D_a = 70$ мм та довжини осердя ротора $l_a = 100$ мм, а також значення номінальної корисної потужності $P_1 = 0,3$ кВт до формули (3.26) та, враховуючи невеликі розміри машини, виконаємо обчислення для найменшого значення першого коефіцієнту, тобто приймаємо перший коефіцієнт рівним 0,55:

$$J_g = 0,55 \cdot 70^4 \cdot (100 + 0,3 \cdot 70 + 0,75 \cdot 0,3) \cdot 10^{-12} = 0,0016 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Різні типи стрілочних електроприводів мають різні значення внутрішніх параметрів, але усі вони мають невеликий розкид. Приймаємо для розрахунків моменту інерції за формулою (3.27) масу вала редуктора $m_1 = 0,5$ кг, головного вала

$m_2 = 5$ кг, радіус поперечного перерізу вала редуктора $r_1 = 0,008$ м, радіус поперечного перерізу головного вала $r_2 = 0,025$ м. Підставивши ці значення в формулу розрахунку моменту інерції (3.27) отримаємо наступні значення:

$$J_1 = \frac{1}{2} \cdot 0,5 \cdot 0,008^2 = 0,000016 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

$$J_2 = \frac{1}{2} \cdot 5 \cdot 0,025^2 = 0,0015625 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Для подальших розрахунків а моделювання приймаємо за вихідний поодинокий стрілочний перевід з маркою хрестовини 1/11 та рейками типу Р65. Гостряки стрілки з даною маркою хрестовини мають довжину 11 м, а маса погонного метру рейок типу Р65 складає близько 65 кг. Враховуючи нестандартний переріз рейок гостряків, приймаємо для обчислень маси гостряків довжину кожного гостряка рівною довжині звичайної рейки довжиною 10 м. Отже загальна маса гостряків буде дорівнювати добутку загальної довжини обох гостряків на масу погонного метру еквівалентної довжини звичайної рейки, тобто $m = 2 \cdot 10 \cdot 65 = 1300$ кг.

В середньому переведення централізованої стрілки з електроприводом змінного струму триває близько $t = 5$ с, при цьому гостряки стрілки пересуваються на відстань $S = 0,152$ м, а вал двигуна здійснює загальну кількість обертів близько $n_{\zeta} = 60$.

Тож, знайдемо кутову швидкість обертання вала двигуна за формулою (3.28):

$$W = \frac{60 \cdot 2 \cdot 3,14}{5} = 75,36 \text{ рад/с.}$$

Швидкість пересування гостряків визначимо з формули (3.29):

$$v = \frac{1,52}{5} = 0,304 \text{ м/с.}$$

За формулою (3.24) та на основі знайдених значень обчислимо результуючий сумарний момент інерції вала двигуна та навантаження:

$$J = 0,0016 + 0,000016 + \frac{0,0015625}{70,5^2} + \frac{1300 \cdot 0,76^2}{75,36^2} = 0,133 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

3.5.2. Визначення параметрів моделі стрілочного переводу

Відношення пускового і номінального моментів являють собою пускову характеристику, яка для двигуна типу МСТ-0,3 становить 2,5. При відомих складових формули (3.31) обчислимо тепер значення критичного ковзання:

$$s_{\hat{e}} = (2,5 + \sqrt{2,5 - 1}) \cdot 0,18 = 0,67.$$

Конструктивний коефіцієнт спочатку задається в діапазоні від 1,02 до 1,05 для попереднього розрахунку параметрів схеми заміщення. Менші значення приймаються для машин більшої потужності. Оскільки розглядається в даному випадку асинхронна машина малої потужності, то приймаємо для неї початкове більше значення конструктивного коефіцієнта і вважаємо, що $c_1 = 1,05$.

Виконаємо розрахунок механічних втрат ΔP_m відповідно до виразу (3.35), підставивши замість змінних і коефіцієнтів їх відповідні відомі значення: $\pi = 3,14$, $I_n = 2,1$ А, $U_n = 190$ В, $\cos\varphi = 0,72$, $\eta = 0,66$, $P_n = 300$ Вт. В такому випадку даний вираз прийме наступний вигляд:

$$\Delta P_m = \sqrt{3} \cdot 2,1 \cdot 190 \cdot 0,72 \cdot 0,66 - 300 = 28,41 \text{ Вт.}$$

Підставимо знайдене значення механічних втрат і відоме значення номінальної швидкості обертання двигуна $n_n = 850 \pm 5\%$ об/хв у формулу для визначення коефіцієнта в'язкого тертя (3.31) і визначимо його чисельне значення:

$$B_m = \frac{28,41}{(2 \cdot 3,14 \cdot 850 / 60)^2} = 0,0036 \text{ Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с.}$$

У формулі (3.36) поки залишається невідомим тільки значення моменту короткого замикання M_k , яке можна знайти з формули (3.32). Перепишемо вираз (3.32) щодо моменту короткого замикання M_k враховуючи, що значення коефіцієнта $m_k = 2,5$ і моменту на валу двигуна в режимі номінального навантаження $M_n = 3,43$ Н·м відомі, і визначимо його значення:

$$M_{\hat{e}} = 3,43 \cdot 2,5 = 8,575.$$

Тепер, коли відомі значення всіх змінних і коефіцієнтів, які входять до складу формули визначення опору статора R_s , виконаємо розрахунок його значення відповідно до виразу (3.36), підставивши замість змінних і коефіцієнтів їх відповідні ві-

домі і знайдені раніше значення: $U_H=190$ В, $s_H=0,18$, $c_1=1,05$, $s_K=0,67$, $M_K=8,575$ Н·м, $P_H=300$ Вт, $\Delta P_m=28,41$ Вт. Вираз (3.36) у такому випадку прийме наступний вигляд:

$$R_s = \frac{3}{2} \cdot \frac{(190 / \sqrt{3})^2}{1,05 \cdot (1 + 1,05 / 0,67)} \cdot \frac{(1 - 0,18)}{8,575 \cdot (300 + 28,41)} = 1,95 \text{ Ом.}$$

Відношення величини пускового струму до величини номінального представляє собою пускову характеристику і для двигуна типу МСТ-0,3 становить 2,3. Підставивши замість коефіцієнта i_K , який можна знайти з формули (3.38), вже відоме значення пускової характеристики і виконавши розрахунок опору ротора R_r відповідно до виразу (3.37), підставивши замість змінних їх відповідні відомі і знайдені раніше значення: $P_H=300$ Вт, $\Delta P_m=28,41$ Вт, $s_H=0,18$, $i_K=2,3$, $I_H=2,1$ А, отримаємо наступне значення опору ротора:

$$R_r = \frac{1}{3} \cdot \frac{(300 + 28,41)}{(1 - 0,18) \cdot 2,3^2 \cdot 2,1^2} = 5,72 \text{ Ом.}$$

Виконаємо розрахунок індуктивності статора L_s і ротора L_r відповідно до виразу (3.39), підставивши замість змінних і коефіцієнтів їх відповідні відомі знайдені раніше значення: $\pi=3,14$, $f_H=50$ Гц, $U_H=190$ В, $I_H=2,1$ А, $\cos\varphi=0,72$, $s_H=0,18$, $s_K=0,67$. Вираз (3.39) в такому випадку прийме наступний вигляд:

$$L_s \cong L_r = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} \cdot \frac{190 / \sqrt{3}}{2,1 \cdot [\sqrt{1 - 0,72^2} - 0,72 \cdot 0,18 / 0,67]} = 0,3324 \text{ Гн.}$$

Виконаємо розрахунок індуктивності розсіювання статора L_{ls} і ротора L_{lr} відповідно до виразу (3.40), підставивши замість змінних і коефіцієнтів їх відповідні відомі і знайдені раніше значення: $\pi=3,14$, $f_H=50$ Гц, $U_H=190$ В, $I_H=2,1$ А, $i_K=2,3$, $R_s=1,95$ Ом, $R_r=5,72$ Ом. Даний вираз у такому випадку прийме наступний вигляд:

$$L_{ls} \cong L_{lr} = \frac{1}{4 \cdot 3,14 \cdot 50} \cdot \sqrt{\left(\frac{190 / \sqrt{3}}{2,3 \cdot 2,1}\right)^2 - (1,95 + 5,72)^2} = 0,034 \text{ Гн.}$$

Виконаємо розрахунок взаємоіндукції між обмотками статора і ротора відповідно до виразу (3.38), підставивши відомі значення індуктивності статора і індуктивності розсіювання статора: $L_s=0,3324$ Гн, $L_{ls}=0,034$ Гн. Вираз (3.41) в такому випадку запишеться в наступному вигляді:

$$L_m = 0,3324 - 0,034 = 0,2984 \text{ Гн.}$$

Повернемося до розрахунку конструктивного коефіцієнта c_1 за формулою (3.33). Підставимо тепер замість індуктивності розсіювання статора L_{ls} і взаємодукції L_m їх знайдені значення за формулами (3.40) і (3.41) і проведемо відповідні обчислення:

$$c_1 = 1 + \frac{0,034}{0,3324} = 1,1023.$$

Для того, щоб перевірити правильність знайденого значення конструктивного коефіцієнта необхідно перерахувати значення індуктивності розсіювання статора L_{ls} , розрахунок якого містить опір обмотки статора R_s , що враховує конструктивний коефіцієнт. Крім того, необхідно заново визначити значення взаємодукції між статором і ротором L_m , в формулу якої входить індуктивність розсіювання статора L_{ls} . Після виконання даних розрахунків, необхідно знову розрахувати за формулою (3.33) значення конструктивного коефіцієнта. Проведемо перераховані обчислення. Для того, щоб змінні відрізнялися від наведених вище, введемо в їх позначення штрих. Визначимо для початку за формулою (3.36) значення опору обмотки статора R'_s :

$$R'_s = \frac{3}{2} \cdot \frac{(190 / \sqrt{3})^2}{1,1 \cdot (1 + 1,1 / 0,67)} \cdot \frac{(1 - 0,18)}{8,575 \cdot (300 + 28,41)} = 1,81 \text{ Ом.}$$

Тепер, підставивши в формулу (3.40) нове значення опору обмотки статора R'_s , знайдемо значення індуктивності розсіювання статора L'_{ls} :

$$L'_{ls} \cong L'_{lr} = \frac{1}{4 \cdot 3,14 \cdot 50} \cdot \sqrt{\left(\frac{190 / \sqrt{3}}{2,3 \cdot 2,1}\right)^2 - (1,81 + 5,72)^2} = 0,0341 \text{ Гн.}$$

Визначимо нове значення взаємодукції межу статором і ротором L'_m з формули (3.41):

$$L'_m = 0,3324 - 0,0341 = 0,2983 \text{ Гн.}$$

Таким чином, конструктивний коефіцієнт c_1 згідно з формулою (3.33) прийме таке значення:

$$c'_1 = 1 + \frac{0,0341}{0,3324} = 1,1026.$$

Оскільки розбіжність між значеннями конструктивного коефіцієнта становить усього 0,0003 або:

$$\frac{c_1' - c}{c_1'} \cdot 100\% = \frac{1,1026 - 1,1023}{1,1023} \cdot 100\% = 0,027\%,$$

то округлимо значення конструктивного коефіцієнта і приймаємо $c_1=1,1$.

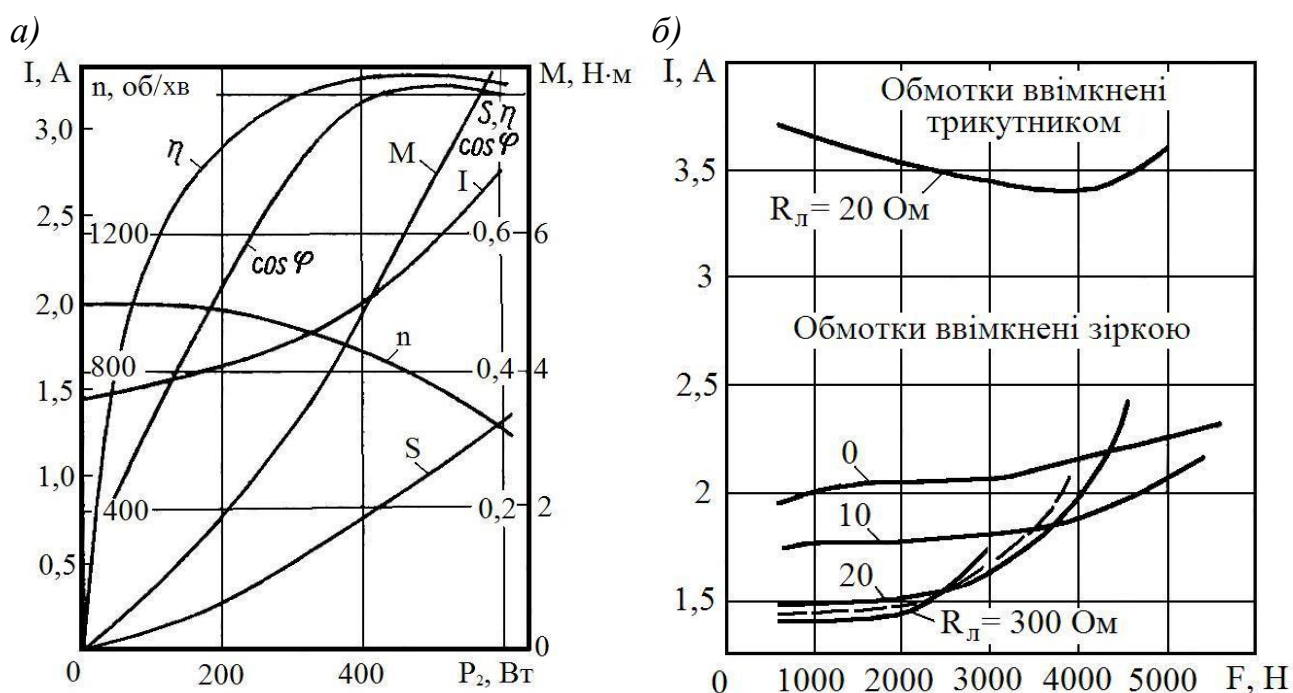
3.6. Результати моделювання. Дослідження характеристик математичної моделі стрілочних переводів

Для того, щоб перевірити відповідність характеру поведінки математичної моделі стрілочного переводу реальному аналогу, розглянемо параметри і характеристики стрілочних електродвигунів і електроприводів окремо за їх технічними даними, знятими при їх справному стані.

До характеристик електродвигуна відносяться пускові характеристики (рис. 3.14, а), які являють собою відношення величини струму в колі електродвигуна і моменту на його валу під час пуску двигуна в хід до номінальних значень цих величин при роботі електродвигуна на номінальне навантаження. Задовільний пусковий момент в електродвигуні МСТ-0,3 досягнутий підвищенням ковзання шляхом збільшення відношення активного опору клітки ротора до індуктивного двигуна. Практичне підвищення величини відношення активного опору ротора до індуктивному опору статора і ротора здійснено збільшенням перерізів сердечників статора і ротора і зменшенням перетинів стрижнів ротора. Електродвигун типу МСТ-0,3 відрізняється невисокою кратністю пускового струму і задовільною кратністю пускового моменту, які знаходяться на рівні $I_{\text{п}}/I_{\text{н}}=2,3$ і $M_{\text{п}}/M_{\text{н}}=2,5$ відповідно [92, 99, 100]. Досягнення таких пускових характеристик дозволяє використовувати пряме включення двигуна в мережу при номінальній напрузі. Задовільний пусковий момент досягнуто підвищенням ковзання шляхом збільшення відношення активного опору клітки ротора до індуктивного двигуна. Для збільшення пускового моменту проведено підвищення ковзання, яке при номінальному навантаженні досягає 18%.

До робочих характеристик електродвигуна типу МСТ-0,3 при включенні зіркою належить швидкісна характеристика $n = f(P_2)$, яка є жорсткою і являє собою криву,

слабо нахилену до осі абсцис. Характеристика моменту $M = f(P_2)$ являє собою криву, кривизна якої визначається швидкісною характеристикою. Коефіцієнт потужності $\cos\varphi = f(P_2)$ швидко зростає при збільшенні навантаження і при значеннях P_2 , дещо більших за номінальну потужність, досягає максимуму. Так як асинхронний двигун споживає значний струм намагнічення, його $\cos\varphi$ завжди менше одиниці. Крива ККД $\eta = f(P_2)$ має звичайний характер. Вона швидко зростає із збільшенням навантаження приблизно до половини номінальної і починає спадати при подальшому збільшенні навантаження.



а) робочі характеристики електродвигуна типу МСТ-0,3; б) навантажувальні криві електропривода типу СП-6.

Рисунок 3.14 – Технічні показники електродвигунів та електропривода

За методикою розрахунку [90, 91, 92] зусилля переводу стрілки залежить від ваги частин стрілки, що переміщуються, типу рейок, конструкції кореневого стику, довжини гостряків, місця закріплення переводних тяг і коефіцієнта тертя гостряків об подушки, який може коливатися в межах від 0,2 до 0,3 і залежить від стану стрілки, якості змащення стрілочних подушок, чистоти обробки їх поверхонь, а також підшов гостряків і других факторів.

Результати вимірювань зусилля переводу стрілок різних марок (табл. 3.1) виконувались тензометричним і динамометричними методами [90, 91, 92]. Як витікає з

таблиці 1, переводне зусилля стрілок однієї і тієї ж марки коливається в великих межах. Однак нормою є значення зусиль, обмежені в проміжку від мінімально виміряних до середньоарифметичних.

Таблиця 3.1 – Зусилля переводу стрілок різних марок

Тип стрілочного переводу		Вид кореневого кріплення	Зусилля переводу стрілки, Н				Стан стрілки
Тип рельса	Марка хрестовини		Мінімальне	Максимальне	Середньо-арифметичне	Максимально вирогідне	
P43	1/9	Шкворневе	660	1280	970	1210	змащена
	1/11		860	1540	1190	1470	не змащена
P43	1/9	Вкладишно-накладочне	750	1520	1140	1520	змащена
	1/11		1040	1850	1360	1850	не змащена
P50	1/9		800	1680	1190	1550	змащена
	1/11		1100	2400	1520	2130	не змащена
P65	1/9		1060	2180	1650	2150	змащена
	1/11		1720	2620	2120	2490	не змащена
P65	1/11*	Накладочне (гнучкий гостряк)	—	2950	—	—	змащена
P50	1/18		1880	3020	2330	3080	змащена
P65	1/18		—	3500	—	—	змащена
P65	1/22		—	4750	—	—	змащена

Примітка: * Зусилля переводу рухомого осердя хрестовини 3000 Н.

Тепер порівняємо робочі параметри та характеристики реальних стрілочних переводів з параметрами та характеристиками моделі (рис. 3.13).

Розроблена математична модель на основі реальних параметрів діючих поодиноких стрілочних переводів з маркою хрестовини 1/11 і типом рейок P65, на яких встановлено стрілочний електропривод СП-6 з двигуном МСТ-0,3. Приведено відповідний розрахунок електричних та механічних параметрів. Для цього механічну частину стрілки приведено до вигляду одномасової схеми, в результаті чого отримано сумарний момент інерції вала двигуна стрілочного електропривода та прикладеного до нього навантаження. Модель реалізовано в середовищі Simulink пакету MATLAB. Проведено моделювання з аналізом отриманих результатів. Одержано залежності швидкості обертання вала двигуна, струму в обмотках і моменту на валу від характеру навантаження [4, 33, 42].

Робочі характеристики (рис. 3.15), зняті під час роботи моделі, відповідають навантаженню, що формується як механічний момент на валу T_m і задається змінною

var в блоці Moment. Опір руху прирівняний до номінального моменту на валу двигуна і заданий рівним $3,43 \text{ Н}\cdot\text{м}$.

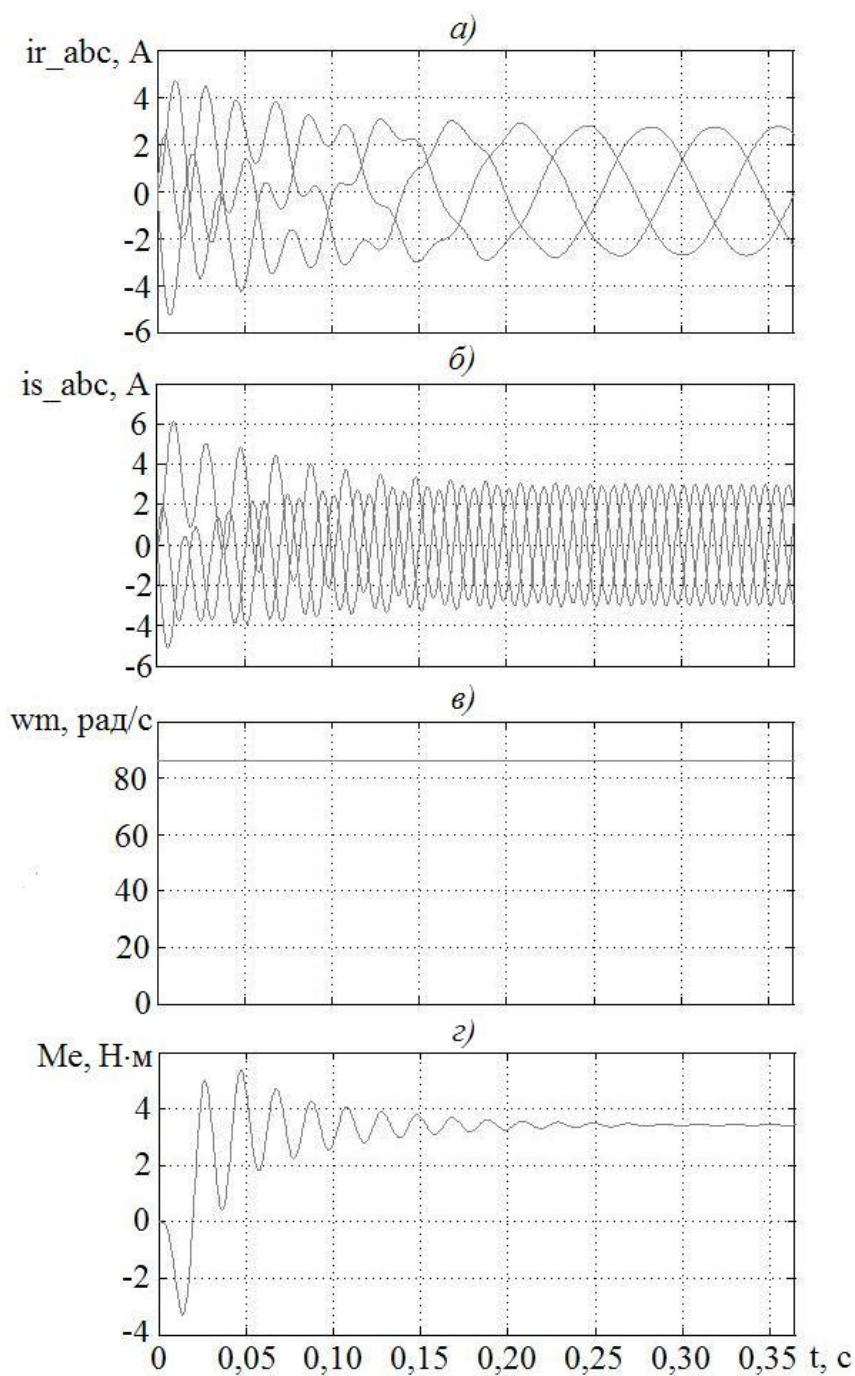
З робочих характеристик видно, що струми обмотки статора і ротора (рис. 3.15, *а, б*) не перевищують $2,5 \text{ А}$, а діюче значення струму у фазах А, В і С при цьому становить $2,1 \text{ А}$. Кутова швидкість обертання валу двигуна (рис. 3.15, *в*) досягає близько 89 рад/с , що становить 850 об/хв . Електромагнітний обертаючий момент створюваний моделлю асинхронної машини на валу наближається до $3,5 \text{ Н}\cdot\text{м}$. Отримані результати практично не відрізняються від паспортних даних стрілочного електродвигуна змінного струму МСТ-0,3 та реальних технічних характеристик [92].

Для того, щоб досконаліше визначити адекватність роботи моделі проведемо декілька дослідів та проаналізуємо її реакцію в різних умовах експлуатації стрілочних переводів.

Кожного тижня відбувається перевірка стрілочних переводів на відповідність зазору між гостряком та рамною рейкою технічним вимогам до стрілочних переводів для збереження безпеки перевізного процесу [85]. При закладенні шаблону товщиною 2 мм стрілка має замикатися, а при закладенні шаблону товщиною 4 мм замикатися не повинна. При цьому двигун працює на фрикцію. За нормами утримання стрілочних переводів струм фрикції не має перевищувати $25\text{-}30 \%$ від номінального струму переводу стрілки. Вимірюючи, записуючи та зберігаючи значення струму роботи стрілки на фрикцію можна відстежувати послаблення пружини фрикційного механізму та найшвидшим чином усувати його.

Для моделювання роботи електричного двигуна на фрикцію (рис. 3.16) за допомогою моделі установки для дослідження роботи стрілочного переводу (рис. 3.13) в блоці Moment задається значення опору руху вала електродвигуна більше від нормального режиму роботи на $25\text{-}30 \%$ наприкінці переводу стрілки.

З отриманих результатів моделювання видно, що реакцією моделі на збільшення опору руху стало збільшення обертаючого моменту на валу електродвигуна (рис. 3.16, *г*) та підвищення значення струму в його обмотці (рис. 3.15, *б*) аналогічне до того, яке спостерігалось при реальних вимірах на діючих справних стрілочних переводах (рис. 2.5).

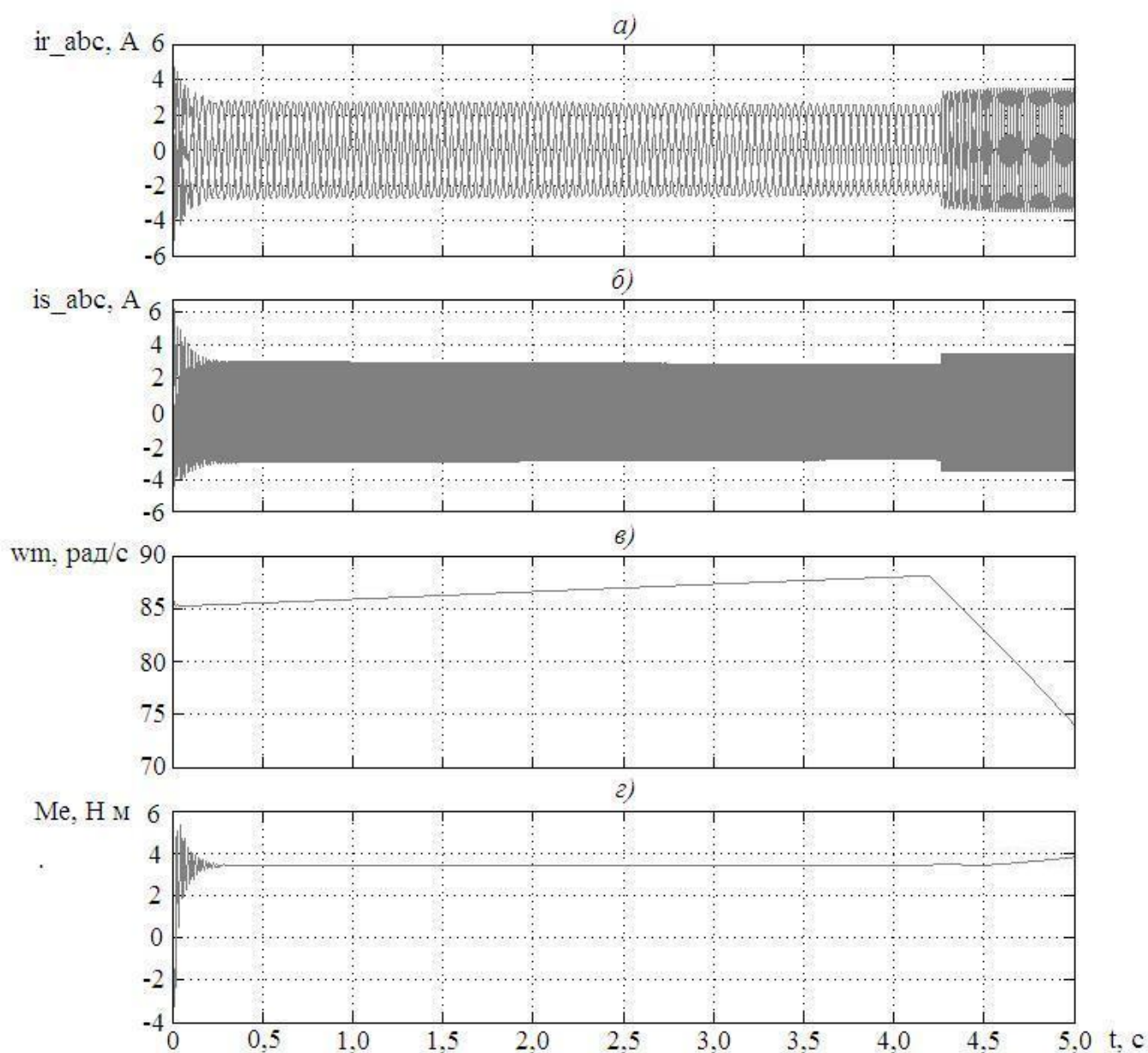


а) струми обмотки ротора; б) струми статора; в) кутова частота обертання ротора;
г) електромагнітний момент.

Рисунок 3.15 – Робочі характеристики моделі при номінальному навантаженні

До порушень в роботі стрілочних переводів, які не перевіряються на даний час точними вимірювальними методами і які можуть виникати з плином часу, відноситься упор кореня гостряка. Пружинність гостряків виникає при відсутності повітряного зазору в кріпленні гостряка з рейкою і спричиняє додаткове навантаження на стрілочний електропривод в кінці переводу. На даний час ця несправність перевіря-

ється працівниками колійного господарства разом із працівниками служби сигналізації та зв'язку візуальним спостереженням, а тому може бути виявлена лише під час планового огляду. Потрібно збільшити рівень контролю за даним параметром, оскільки у разі не усунення його на початковій стадії розвитку окрім додаткового навантаження на двигун електропривода він може спричинити порушення шаблону руху потягів.



а) струми обмотки ротора; б) струми статора; в) кутова частота обертання ротора;
г) електромагнітний момент.

Рисунок 3.16 – Робочі характеристики моделі при роботі на фрикцію

При моделюванні роботи стрілочного електропривода з переводу стрілки при пружинності гостряків в кінці переводу стрілки виникає додаткова сила, яка при подальшому поступовому русі збільшується за законом Гука пропорційно переміщенню. Для того, щоб задати в моделі умови збільшення навантаження згідно з переміщенням, до діючого моменту на валу двигуна додавався послідовно зростаючий момент (рис. 3.17).

Реакцією моделі на збільшення опору руху через пружність гостряків стало збільшення обертаючого моменту на валу електродвигуна (рис. 3.17, *г*) та поступове збільшення значення струму в його обмотці (рис. 3.17, *б*) аналогічне до того, яке спостерігалось при реальних вимірах на діючих справних стрілочних переводах (рис. 2.15).

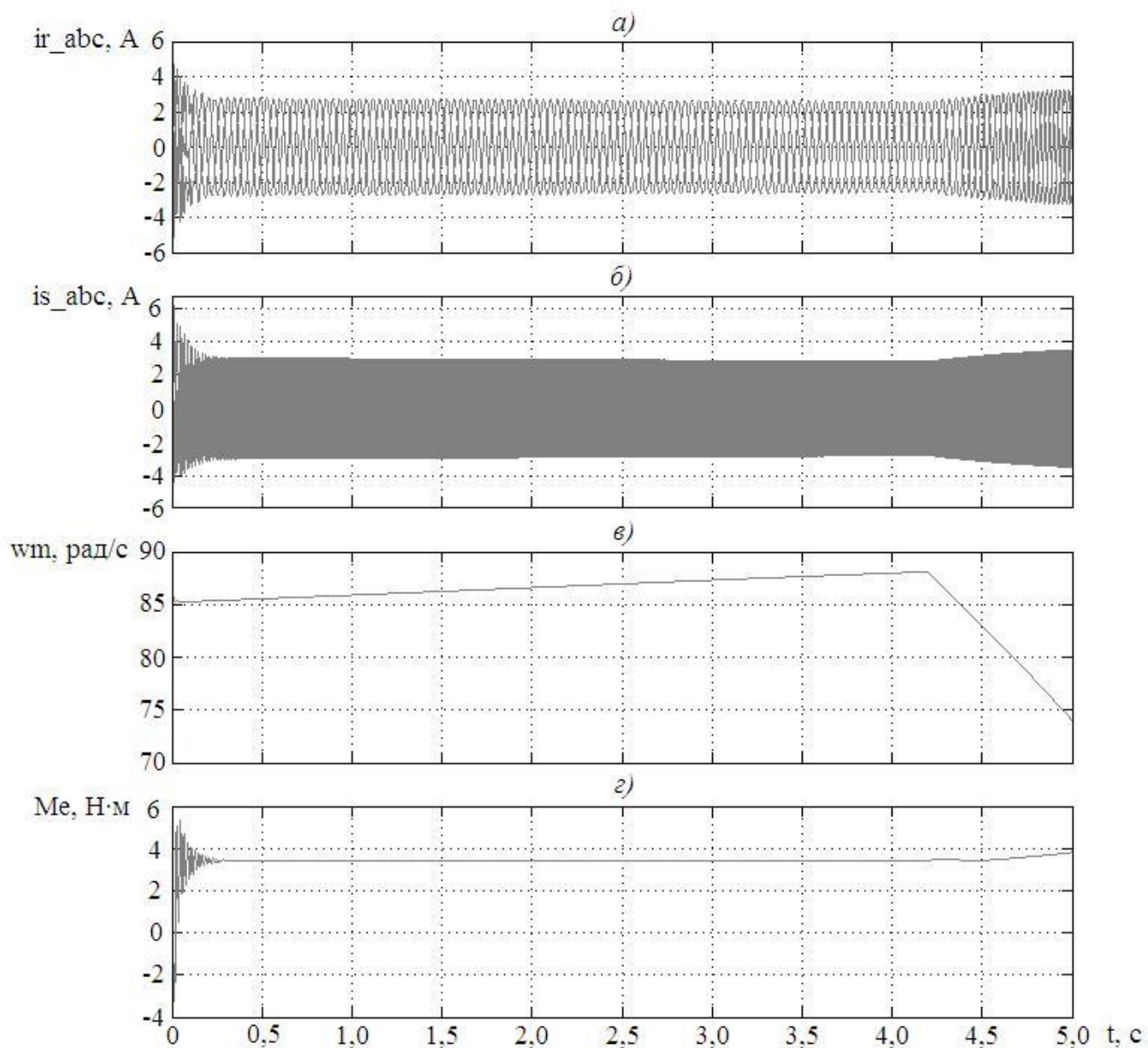
Свідченням відповідності моделі реальному аналогу є те, що реакція в обох випадках на зміну навантаження на валу двигуна є різною. При роботі електродвигуна на фрикцію струм статора, який легко вимірювати, змінюється стрибкоподібно (рис. 3.16, *б*), а при наявності пружинності гостряка – струм змінюється поступово (рис. 3.17, *б*).

Фазу, що має замикання, можна знайти за несиметрією споживаного струму з мережі. При з'єднанні обмотки електродвигуна зіркою у фазі, що має замикання, струм буде більше, ніж у двох інших фазах. При з'єднанні обмотки електродвигуна трикутником у двох фазах мережі, до яких приєднана дефектна фаза, струми будуть більше, ніж у третій фазі. Дослід визначення дефектної фази рекомендується проводити при зниженій напрузі ($1/3 - 1/4$ номінальної), ротор може обертатися або бути загальмованим.

При виконанні дослідів на створеній моделі було визначено можливість задавання перекосу фаз через різницю їх опорів (рис. 3.18). За результатами моделювання можна з впевненістю сказати, що в роботі моделі помітне збільшення амплітуди струму однієї з фаз живлення (рис. 3.1, *г*), що вказує на пошкодження однієї з фаз статора.

Фаза, що має замикання, може бути визначена і за значенням її опору постійному струму, вимірюваного мостом або за методом амперметра-вольтметра, менший

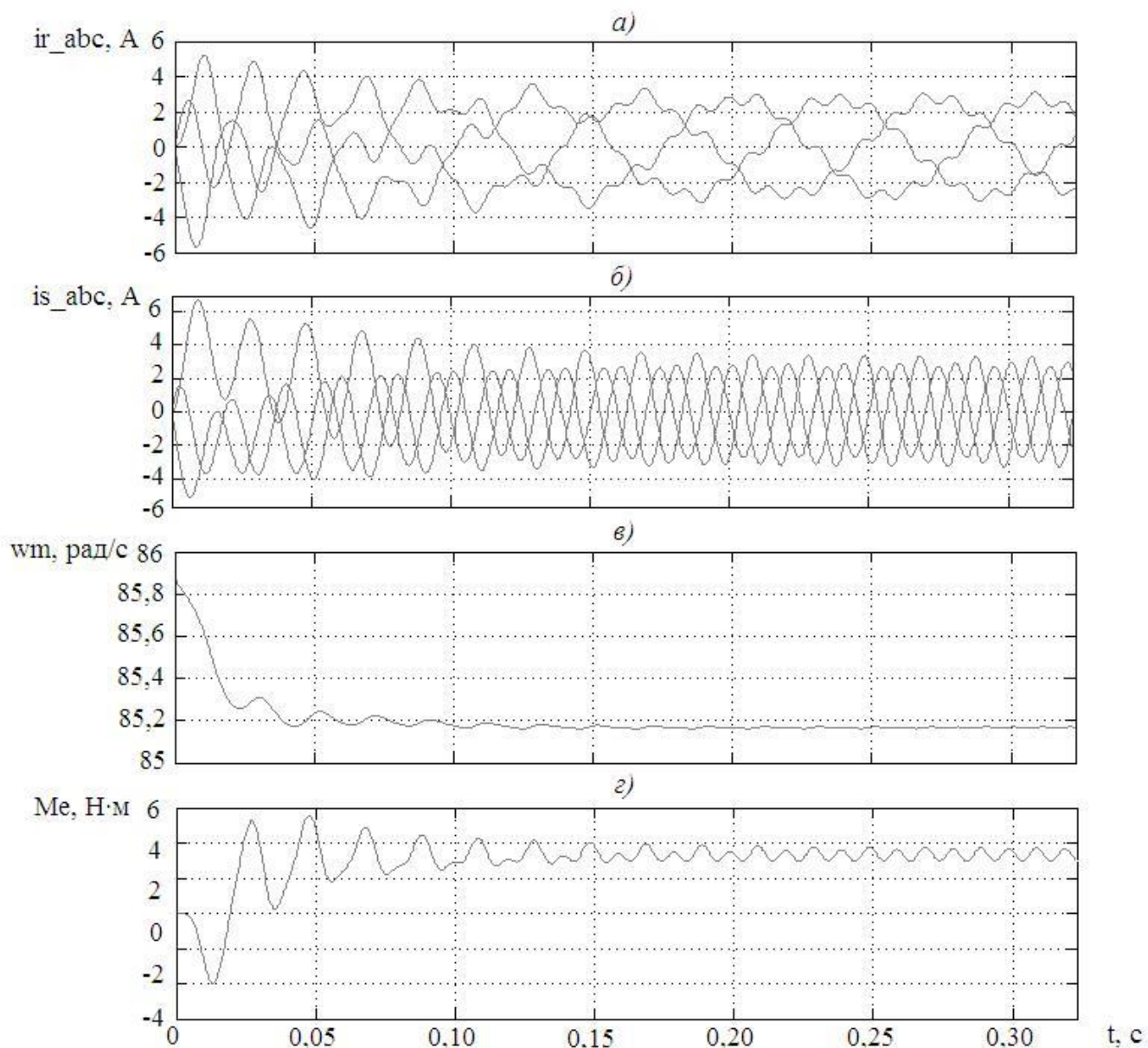
опір матиме фаза з замиканням. Якщо ж немає можливості роз'єднати фази, то проводять вимірювання трьох міжфазних опорів [51, 66].



а) струми обмотки ротора; б) струми статора; в) кутова частота обертання ротора;
г) електромагнітний момент.

Рисунок 3.17 – Робочі характеристики моделі при упорі кореня гостряка

У випадку з'єднання фаз електродвигуна зіркою найбільшим буде міжфазовий опір, вимірюваний на кінцях фаз, що не мають замикань, два інших опору будуть рівні між собою і будуть менше першого. У випадку з'єднання фаз електродвигуна трикутником найменший опір буде на кінцях фази, що має замикання, два інших вимірювання дадуть великі значення опору, причому обидва вони будуть однакові.



а) струми обмотки ротора; б) струми статора; в) кутова частота обертання ротора;
г) електромагнітний момент.

Рисунок 3.18 – Робочі характеристики моделі при КЗ в одній з фаз

Котушкові групи або котушки, що мають замикання, можуть бути знайдені при живленні змінним струмом всієї її обмотки або тільки дефектної фази по нагріванню, або за значенням падіння напруги на їх кінцях. Котушкові групи або котушки, що мають замикання, будуть сильно нагріті і мати менше падіння напруги (при вимірюванні напруги зручно користуватися гострими щупами, якими проколюють ізоляцію

сполучних проводів). У цьому випадку, так само як і вище, дефектні котушки можна знайти за значенням опору постійному струму [51, 66].

3.7. Висновки

Удосконалено математичну модель стрілочного електропривода з асинхронним електродвигуном та її комп'ютерна реалізація в оболонці Simulink пакету MATLAB в умовах експлуатації централізованих стрілок.

Оскільки результати моделювання належним чином збігаються з реальними показниками роботи стрілочного електродвигуна, тому є можливість задавати різні навантаження і вивчати реакцію моделі на них. Це дозволяє прогнозувати поведінку і характер зміни струму в колі електродвигуна, як в нормальному режимі роботи, так і при відхиленнях від норми роботи стрілочного переводу.

Вимірювання значень струмових кривих в реальних умовах експлуатації стрілочних переводів з електроприводами змінного струму задача важлива, але досить складна, оскільки досить важко, а іноді і зовсім неможливо штучно створити деякі пошкодження на практиці, які можна потім буде усунути без наслідків. Тому достатньої кількості експериментів, які б охопили усі можливі види несправностей, провести на діючих стрілках неможливо. Їх можливо втілити в життя лише за допомогою створеної моделі завдяки виконанню експериментальних досліджень у віртуальному просторі.

Робота стрілочного електропривода описується системою рівнянь (3.1), яка має досить складне рішення. Крім того, при зміні хоча б одного з параметрів систему необхідно вирішувати знову. Тобто, приймаючи до розрахунку стрілочний електропривод іншого типу, стрілочний електродвигун або стрілку, необхідно знову шукати корені рівнянь. Для того, щоб уникнути цього, була створена імітаційна модель стрілочного переводу змінного струму, параметрами якої прийняті паспортні дані електричної машини, електропривода, стрілки та отримані розрахунковим шляхом інші фізичні параметри стрілочного переводу. Результати вимірювань та робочі характеристики моделі не відрізняються від робочих характеристик реального аналогу, оскільки реакція моделі в повній мірі відповідає змінам на умови експлуатації

реального аналога. Порівняння експериментальних даних, отриманих при вимірюваннях струму переводу діючих стрілок, з експериментальними результатами математичного моделювання показало задовільний збіг.

Визначено, що зі збільшенням навантаження на валу двигуна на 25 %, реакцією моделі є збільшення електромагнітного моменту машини з 3,25 Н·м до 4 Н·м і фактична зміна струму з 2,1 А до 2,75 А. Встановлена залежність нерівності струмів у фазах та моменту на валу діючих електроприводів та математичної моделі від короткого замикання у фазі статора, яке призводить появи пульсуючого обертання.

Розрахунки, які було проведено при складанні моделі, будуть використані в подальшому для роботи з імітаційною моделлю при дослідженні роботи стрілочних переводів.

Дана математична модель відповідає всім вимогам по моделюванню об'єктів і побудована з метою проведення віртуальних випробувань для створення бази діагностичних ознак.

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБКА ЗАСОБІВ ТА МЕТОДІВ ДІАГНОСТУВАННЯ СТРІЛОЧНИХ ПЕРЕВОДІВ

4.1. Принципи побудови системи технічного діагностування стану стрілочних переводів

4.1.1. Передумови створення систем технічного діагностування стрілочних переводів

З підвищенням швидкостей руху поїздів у працівників залишається значно менше часу на усунення пошкоджень. У зв'язку з тим, що даний час можна розділити на проміжок часу від моменту появи несправності до моменту інформування про нього відповідного співробітника, час прибуття, пошук пошкодження і власне його усунення, то, зменшивши хоч одне зі складових, є можливість скоротити загальну його тривалість. Оскільки вплинути на час, необхідний для прибуття співробітника на місце пошкодження, складно, а повна заміна обладнання потребує значних капіталовкладень, що не завжди відповідає можливостям і є раціональним підходом, то залишається можливість виграти час на етапі встановлення факту появи пошкодження і скоротити час пошуку пошкодження, яке стало причиною відмови. Зробити це можна за допомогою автоматизації системи діагностування стрілочних переводів.

Автоматизація процесу діагностування крім того, що дозволить в режимі реального часу збирати дані про стан стрілок, які знаходяться на віддаленні від поста електричної централізації, і у разі зміни значень відповідних показників видавати повідомлення про відмовній або передвідмовний стан, запобігаючи тим самим затримки поїздів з вини ушкоджень стрілочного переводу, але також і зможе забезпечити усунення часового проміжку від появи несправності до надходження про неї інформації до компетентних співробітників. А закладені в дану систему основні типи відмов і причини їх появи дадуть можливість проведення визначення їх на діючих пристроях. При появі пошкодження така система не тільки зможе його визначити, але й видати рекомендації по способу його усунення, інструменту, деталям і ви-

мірювальним приладам, які потрібно взяти з собою, висуваючись на об'єкт з пошкодженням, а також автоматично виконувати запис в електронному журналі про появу несправності [36].

Незважаючи на відмінності, кожен стрілочний електропривод має одні й ті ж функціональні вузли. Тому встановлені діагностичні ознаки для одного типу стрілочного переводу, на якому встановлений конкретний тип стрілочного електропривода, будуть справедливі і для інших випадків [28, 64, 75, 107].

4.1.2. Принципи та основи впровадження системи автоматизованого технічного діагностування стрілочних переводів

Технічна система, яка може перебувати, принаймні, у двох взаємовиключних і різних станах (працездатному й непрацездатному) та яка задовольняє двом умовам: може розглядатися як об'єкт діагностування [28, 75, 107]. Для характеристики станів стрілочного переводу виділяють чотири види: справний, несправний, працездатний й непрацездатний. Таким чином, стрілочний перевід в повній мірі відповідає цим вимогам, тобто може бути представленим у якості об'єкту технічної діагностики. Стрілку називають справною, якщо усі її параметри відповідають нормам технічного утримання [45-48, 85, 87]. Вихід за межі хоча б одного з параметрів означає, що стрілка несправна. Стрілочний перевід перебуває в працездатному стані, якщо він правильно виконує задані функції, а його основні параметри перебувають у межах заданої норми. Стрілка потрапляє в множину непрацездатних станів, якщо виходить хоча б один параметр з заданої норми.

Стрілочні переводи конструюються таким чином, щоб при всіх найбільш імовірних відмовах їх елементів не відбувався перехід з множини справних станів в множину відмов, а система переходила б у множину несправних але працездатних станів. У цьому випадку стрілка продовжує виконувати свої основні функції, але є можливість визначити несправність і усунути її, тим самим попередивши втрату стрілкою працездатності [65].

На даний час системи електричної централізації мають вже вбудований функціональний контроль чотирьох положень стрілочного переводу – нормальне (плюсо-

ве), переведене (мінусове), проміжне (середнє) і взрізу. Контроль параметрів стрілочного переводу здійснюється при профілактичних вимірах і при періодичній заміні апаратури, тому засоби технічного діагностування стрілки повинні містити функціональний контроль чотирьох положень і автоматичний контроль таких параметрів, як час переведення стрілки, контроль за струмом стрілочного двигуна.

Для діагностування стану стрілочного переводу використаємо часові та частотні залежності струму переводу стрілки. Часова залежність струму переводу стрілки має складну форму, на яку впливає значна кількість як заздалегідь відомих таких факторів, як тип стрілочного переводу та тип електродвигуна, так і випадкових факторів викликаних погодними умовами та умовами утримання. Діагностування стрілочних переводів полягає в застосовуванні тільки функціонального діагнозу, при якому на об'єкт надходять тільки робочі впливи, передбачені алгоритмом функціонування стрілочного переводу. Діагностування відбувається в процесі функціонування стрілочного переводу без втручання в його роботу, при чому перевіряється правильність функціонування й відбувається пошук несправностей, що порушують роботу об'єкта. Процедура діагностування зводиться до порівняння роботи ідеального пристрою і реального пристрою. У випадку діагностування стану стрілочних переводів під роботою ідеального пристрою будемо розуміти струму переведення стрілки, яка заходиться у справному стані, а під роботою реального пристрою – струм стрілки, стан якої діагностується

Автоматизація діагностування стрілочного переводу є актуальною задачею [38]. Автоматизація методу дистанційного діагностування стрілочного переводу зводиться до визначення ознак його справного і несправного станів для подальшого порівняння їх в процесі експлуатації з даними, одержаними з працюючих стрілок. При цьому проводиться порівняння значень за кількома показниками струмової кривої робочого кола, обраного в якості зразка електродвигуна, і досліджуваного. Серед таких показників особливе значення мають амплітуда і тривалість переводу, за якими можна встановити наявність перешкод руху гостряків внаслідок попадання сторонніх предметів між гостряком і рамною рейкою, або з причини забруднення при русі стрілки, ускладнень в механічній передачі зусилля переведення стрілки, а

також люфтів в місцях з'єднання і неправильного регулювання вузлів в місцях кріплення.. За результатами вимірювань і проведення визначення відповідності параметрів нормативним значенням створюються умови для прогнозування його подальшого стану.

Отже, технічні засоби діагностування стрілочного переводу повинні бути пасивними, автоматизованими, містити в собі параметричний функціональний контроль, виконувати функції визначення справності, працездатності й прогнозування відмов стрілки.

4.2. Основні положення функціонування системи автоматизованого діагностування стрілочних переводів

4.2.1. Розробка алгоритму пошуку несправностей стрілочних переводів з електроприводом змінного струму

Разом з несправностями стрілочного переводу в експлуатації можуть мати місце і відмови в схемі керування стрілкою [36, 37, 44, 83, 84]. На відміну від несправностей самого електропривода і переводу відмови електричної схеми потребують для свого відшукування попереднього аналізу схеми. Такий аналіз зручно приводити, використовуючи інформаційну схему пошуку несправностей (рис. 4.1).

За принципом, представленим у даній схемі, має функціонувати система діагностування стрілочних переводів, що розроблюється. В такому випадку вона може використовуватись не лише у якості фіксуючої і аналізуючої автоматизованої системи, але й як порадник для працівника. Це дозволить сповіщати відповідального співробітника про дійсний поточний стан та своєчасно інформувати його про раптово виникаючі відмови та їх поступове утворення.

При використанні алгоритму роботи інформаційної схеми, деякі несправності система може знаходити та визначати сама. При виникненні раптової відмови працівник не завжди може зорієнтуватися в причинах виходу з ладу стрілки і правильно провести пошук та усунення несправності, що в свою чергу призводить до збільшення тривалості пошуку несправності. Скориставшись порадами системи діагностування працівник зможе на багато швидше відновлювати працездатність системи.

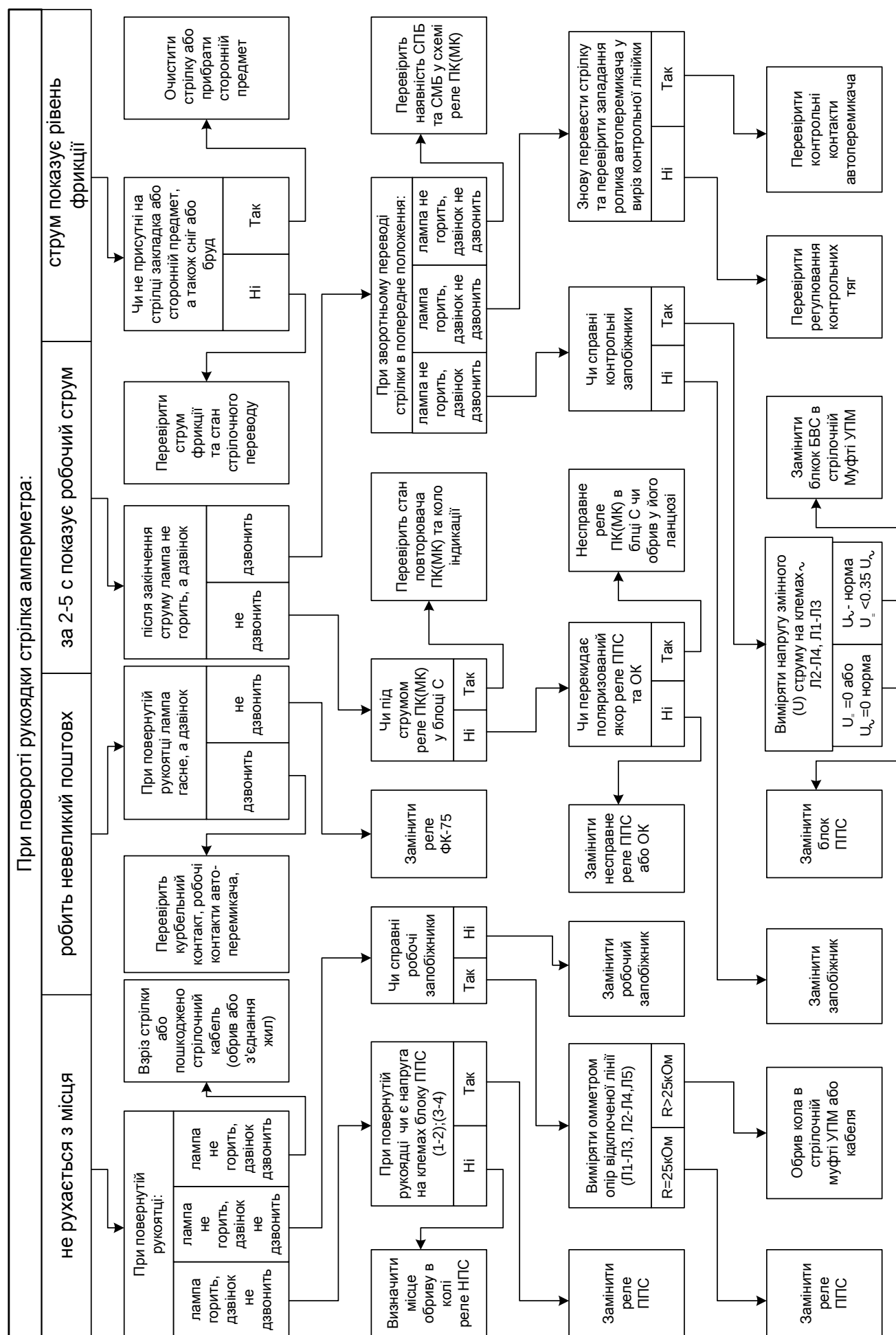


Рисунок 4.1 – Інформаційна схема пошуку несправностей в стрілочному переводі з п'ятипрвідною схемою керування

При використанні електронного журналу виконаних робіт, де фіксуються результати перевірок, зникає необхідність особистого запису працівником струму нормального переведення стрілки та струму роботи на фрикцію при переведенні в обидва боки в Журнал технічної перевірки пристроїв сигналізації, централізації та блокування форми ШУ-64, оскільки всі записи здійснюються автоматично.

Таким чином, система діагностування та контролю стрілочних переводів при використанні її в якості порадики для електромеханіка з веденням автоматизованого електронного журналу є досить актуальним питанням, оскільки її впровадження дозволить вести електронну документацію, куди в автоматичному режимі будуть записуватися дані про всі стрілки поста електричної централізації. Це дозволить об'єктивно відстежувати дані про роботу стрілочних переводів шляхом централізованого збору, обробки та аналізу інформації з коректними і точними даними про кількість та якість пошкоджень та унеможливить факти їх приховання працівниками.

4.2.2. Структура та принцип функціонування системи пошуку пошкоджень

Для того, щоб контролювати і визначати стан стрілочних переводів взагалі та усіх його елементів окремо, немає необхідності встановлювати індивідуальний датчик на кожен конкретний контакт, клему, реле, перемикач, що ускладнило б систему великим числом додаткових жил кабелю та взаємозалежностей. Крім того, це призвело б до невиправданого значного підвищення собівартості всієї системи.

Система дистанційного діагностування і контролю параметрів стрілочних переводів (рис. 4.2) здатна виконувати вимірювання значень струмів в робочих колах електроприводів за допомогою лише одного під'єднання до вимірювального шунта TT в панелі живлення стрілочних приводів ($TT4$ на рис. 2.3).

Після спрацьовування поляризованого пускового реле по шунту починає протікати робочий струм, падіння напруги на якому подається на АЦП і в цифровому вигляді потрапляє до персонального комп'ютера. В комп'ютері крива струму порівнюється з зразковою кривою і по результатах цього порівняння ви-

носиться рішення про поточний стан стрілочного переводу. Криві зберігаються в пам'яті комп'ютера на протязі встановленої кількості днів, що дає змогу відстежувати розвиток поступових відмов та на їх підставі робити висновок про працездатність чи непрацездатність стрілочних переводів, а також прогнозувати час досягнення відмовою критичного значення.

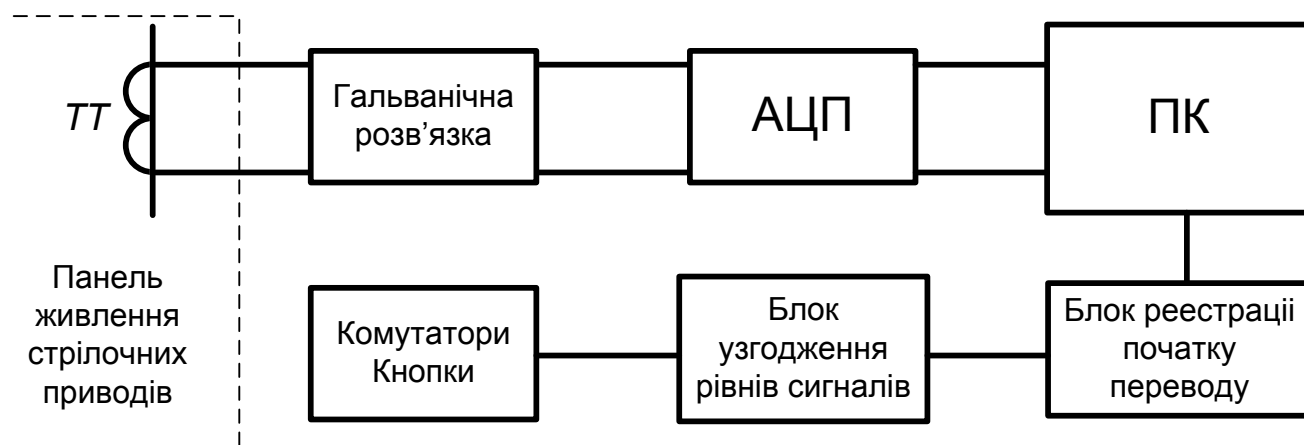


Рисунок 4.2 – Структурна схема системи діагностування та контролю стрілочних переводів

В ручному режимі керування стрілками на малих станціях перевід стрілки починається з повороту стрілочного комутатора, який під'єднується до системи автоматизованої діагностики стрілочного переводу, що і є керуючим сигналом початку запису кривої струму переведення стрілки. При застосуванні системи в електричній централізації великих станцій, керування на яких відбувається за допомогою системи блочної маршрутно-релейної централізації або іншої системи, яка працює за принципом задавання маршруту за допомогою натискання двох кнопок, принцип функціонування системи діагностування та контролю стрілочних переводів відрізняється.

При маршрутному наборі, на відміну від ручного, стрілки по встановленому маршруту переводяться автоматично за допомогою керуючих реле плюсового та мінусового положення, і відповідно стрілочні комутатори не використовуються. Для початку запису необхідно зафіксувати натискання поїзних та маневрових кнопок черговим по станції. Після реєстрації натискання кнопок початку та кінця маршруту, ця інформація через блоки узгодження та реєстрації потрапляє в обчислювальну

машину, де за натиснутими кнопками на підставі таблиці істинності визначить, які саме стрілки зараз будуть переводитися і в якій послідовності.

Комутатор підключений до блоку узгодження рівнів сигналів, з виходу якого сигнал подається до блоку реєстрації початку переводу стрілок. За індивідуального переведення кожної окремої стрілки при встановленні маршруту та при перевірці стрілок на щільність прилягання перевід стрілки фіксуватиметься по алгоритму, який використовується для електричної централізації малих станцій.

При переведенні декількох стрілок одночасно фіксується значення загального струму на вимірювальному шунті. В залежності від того, як налаштована на станції система живлення стрілочних електроприводів, запис буде містити або окремі криві струму переведення стрілок при почерговому маршрутному переведенні, або сумарний сигнал, отриманий при одночасному живленні відразу декількох стрілок, що має місце на великих станціях при організації живлення стрілочних електроприводів окремими групами, пучками, для скорочення часу завдання маршруту шляхом їх одночасного переведення. При цьому за часовою залежністю визначення стану стрілочних переводів буде практично неможливим, через поєднання амплітудних значень струму усіх стрілок, що переводилися одночасно, і перекриття часу переведення всіх стрілок часом найдовшого переведення. За спектральним же аналізом визначення стану стрілочних переводів залишиться можливим лише без прив'язки до конкретної стрілки. У разі появи в спектрі діагностичних ознак порушень справної роботи їх можна буде без ускладнень виявити і віднести за тими стрілками, які переводилися одночасно. Визначення належності порушень у спектрі буде відбуватися шляхом подальшого індивідуального аналізу для кожної стрілки з числа переведених одночасно.

4.2.3. Принцип та послідовність визначення пошкоджень складових елементів стрілочних переводів

Процес визначення несправностей елементів стрілочних переводів представляє собою алгоритм (рис. 4.3), в основі якого закладено три основні ознаки кривої струму переведення стрілок: час переведення стрілки, амплітуда та спектральний склад

струмової кривої. Розглянемо принцип функціонування системи пошуку несправностей опираючись на розглянуті раніше ознаки дефектів.

Якщо час, за який переводиться стрілка, відповідає нормативним показникам для даного типу стрілочного електропривода з даним електродвигуна, встановленому на ньому, то можна зробити попередній висновок, що умови утримання стрілочного переводу відповідають технічним вимогам [45, 46, 87], він налаштований та відрегульований правильно і знаходиться у справному стані. Відповідно, якщо час переведення стрілки збільшився з будь-яких причин, то це свідчить про наявність недоліків в роботі стрілочного переводу.

Аналіз кривої струму проводиться для всієї кривої струму, так і при необхідності окремо для кожної з трьох ділянок. Прийняття рішення про відсутність чи наявність недоліків в роботі стрілочного переводу відбувається на підставі порівняння отриманих даних при переводі стрілки спочатку для усієї часової залежності з нормованим значенням, а потім, у випадку знаходження розбіжностей, стосовно кожного етапу переводу окремо.

Порядок роботи алгоритму з перевірки стану стрілочних переводів за часом переведення наступний. Якщо загальний час переведення стрілки відповідає встановленим нормативним значенням, тоді немає необхідності перевіряти криву струму по частинам і виконується перехід до наступного блоку аналізу стану стрілочного переводу за струмом. В іншому випадку крива струму розбивається на ділянки і відповідності до робочого ходу і аналізується по частинам. Діагностування проходить у порядку почергового аналізу починаючи з першої пускової ділянки, яка продовжується від моменту подачі живлення на електродвигун на початку переводу і триває до розмикання стрілки. Для цього етапу переводу характерним є зрушення з місця електродвигуном механізму передачі руху до шибера.

На другому етапі перевірки аналізується тривалість переводу стрілки під час переведення гостряків, який починається амплітудним сплеском струму після розмикання стрілки і закінчується різким зменшенням струму наприкінці переводу при розмиканні контактів автоперемикача. В цей проміжок часу електродвигун приводить в рух гостряки з одного крайнього положення в інше, а тому до сигналу кривої

струму додаються складові, які вносить рух гостряків по башмакам та вузли кріплення. Для цього інтервалу часу характерна присутність вкінці переводу залишкового обертового електромагнітного поля від збуджених обмоток електродвигуна.

Після проведення перевірки на відповідність часу переведення стрілки нормативному значенню слід перейти до визначення відповідності амплітудних величин струмової кривої до нормативних значень еталонного сигналу. Встановлення відповідності нормативним значенням кривої струму буде виконуватись шляхом визначення ступеня наближення досліджуваного сигналу до еталонного і прийняття рішення на підставі значень величин відхилень між ними на кожній з трьох часових ділянок. Перевірка відбувається за тими ж принципами, що і для визначення відповідності часу переводу нормативним значенням. Спочатку аналізується весь сигнал повністю і, якщо в амплітуді струму переведення немає істотних відхилень від еталонних значень, то поетапне діагностування стану стрілочних переводів за струмом не проводиться, а відразу за алгоритмом відбувається перехід на спектральний аналіз.

Наступним етапом перевірки стану стрілочного переводу є аналіз спектру струмової кривої, за яким визначення відбувається по всій довжині спектральної характеристики кривої струму переведення стрілки. У випадку відсутності різниці між спектрами зразкової кривої струму і кривої струму переводу стрілки, яка досліджується, алгоритм завершується, а об'єкт перевірки вважається таким, що не має несправностей за спектральним складом.

Стрілочний перевід вважається справним, якщо під час перевірки його стану за алгоритмом діагностування (рис. 4.3) відбувалися лише переходи по гілкам не підтвердження присутності відхилень від норм та показників еталонного сигналу.

Слід зауважити, що у випадку фіксації часових і амплітудних показників менших за нормовані значення, застосування діагностичних ознак виконується у тому ж порядку, що і у випадку перевищення їх.

4.3. Технічна реалізація системи автоматизованого діагностування стану стрілочних переводів

Програмний комплекс технічного діагностування поточного стану стрілочних переводів [113, 131].

Вікно програмного комплексу технічного діагностування та контролю поточного стану стрілочних переводів (рис. 4.4) складається з 5 закладок і функціональних кнопок, вікна почергового відображення кривої струму і її спектрального складу, вікон визначення номера стрілки, що переводилася, значення струму переводу при запуску її в хід і в робочому режимі, часу переводу, та складеної за цими показниками інформації визначення поточного стану стрілочного переводу, полів виведення повідомлень про відсутність чи наявності пошкоджень з визначенням його виду та порад по усуненню знайдених несправностей. В самому низу вікна розташоване інформаційне поле виведення повідомлень в хронологічному порядку їх формування про здійсненні переведення стрілок з результатами діагностування їх стану.

Система технічного діагностування стрілочних переводів обладнана календарем та годинником для формування повідомлень з зазначенням дати та часу виконання вимірювань при переведенні стрілки.

Розглянемо призначення закладок і функціональних кнопок. До закладок відносяться «Файл», «Екран», «Допомога», «Журнал» і «Довідка», які призначені для надання користувачу можливості спілкування з операційною системою, встановленою на персональному комп'ютері. Закладка «Файл» призначена для розміщення основного ділового меню користувача і складається з таких операцій, як реєстрація чергового працівника під своїм логіном і паролем, збереження або відкриття раніше збережених файлів запису кривої струму переведення стрілок, друку файлу, меню налаштувань та виходу.

Закладка «Екран» дозволяє працювати безпосередньо з графічним зображенням кривої переводу стрілки. Серед пунктів даного меню знаходиться збільшення і зменшення як окремо по кожній з осей, так і одночасно в усіх вимірах, розгортка на весь екран монітору, вмикання/вимикання міток і маркерів у вікні виведення кривої струму.

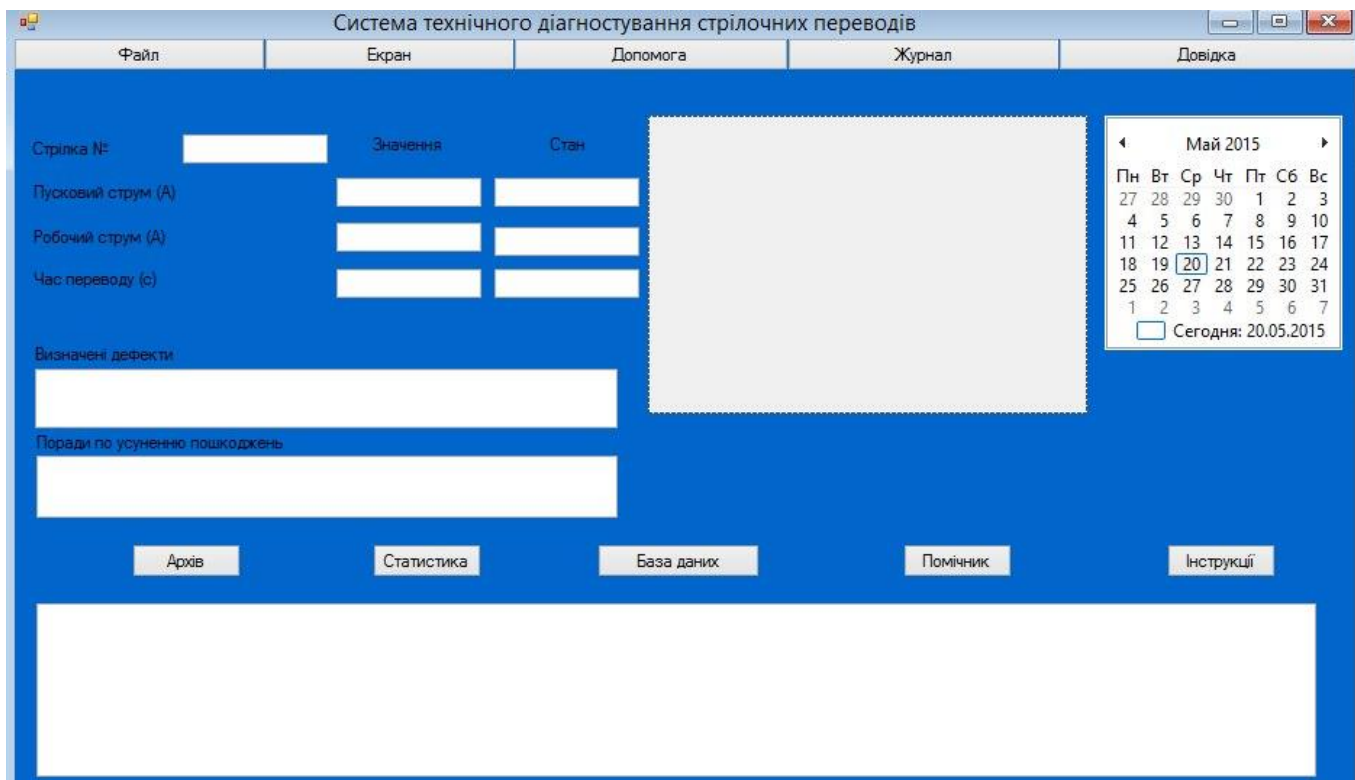


Рисунок 4.4 – Програмний комплекс технічного діагностування та контролю поточного стану стрілочних переводів

Закладка «Допомога» надає користувачу інформацію про алгоритм проведення визначання поточного стану, порядку дій з діагностування та функції, які виконує програма. В закладці «Журнал» зберігаються електронні протоколи виконання робіт на стрілочних переводах з можливістю внесення коментарів користувачем в чітко визначене поле кожного окремого випадку. До закладки «Довідка» входить інформація про рік розробки та версії програмного комплексу діагностування стрілочних переводів, авторів проекту та іншої побічної інформації.

За допомогою кнопки «Форма/Спектр» у вікні «Часова/частотна залежність струму переводу» виконується побудова форми кривої струму переводу стрілки або виводиться її спектральний склад. Кнопку «Архів» призначено для виклику збережених кривих струму переводу, де вони зберігаються по дням створення. Натискання кнопки «Статистика» призведе до появи контекстного меню з можливістю обрати вид сортування накопичених статистичних показників, серед яких кількість переводів за день, кількість порушень справної роботи стрілочних переводів, вид не-

справностей та частота їх повторення з зазначенням номерів стрілок, до яких вони належать.

За кнопкою «База даних» приховано перелік усіх стрілочних переводів із зазначенням їх типів, на яких стрілках вони встановлені, які типи електродвигунів використовуються, дата їх побудови, дата останньої заміни елементів та виконання технічного огляду і обслуговування. Дані до цього меню вносяться працівником самостійно і мають автоматично формовані посилання на записи системи про всі види маніпуляцій зі стрілочним переводом такі, як відкривання і переведення. Внесена інформація про виконання перевірок редагуванню не підлягає і зберігається в архіві кнопки «База даних».

Кнопка «Підказувач» є розширеною версією інформаційних полів «Визначені дефекти» і «Поради по усуненню пошкоджень» програмного вікна. Вона слугує для видачі детальних пояснень і у разі визначення несправностей стрілочного переводу щодо місця його виникнення, порядку дій працівника, засобів необхідних для усунення несправності та посилання на пункти інструкцій з приведенням норм параметрів, які вийшли за межі. У випадку відсутності відмов користувач все одно має можливість ознайомитися з усіма видами несправностей і шляху їх подолання, які описані у даному меню.

Кнопка «Інструкції» викликає електронні версії інструкцій з технічними нормами і вимогами з утримання і обслуговування стрілочних переводів.

Також на робоче вікно програми виводиться номер стрілки, значення її пускового струму, робочого струму і часу переводу стрілки з обов'язковою характеристикою стану за всіма трьома показниками, який може бути трьох типів: справний, невідомий, пошкодження.

Окрім інформаційних полів «Визначені дефекти» і «Поради по усуненню пошкоджень», на яких виводяться повідомлення про відсутність дефектів, можливість їх присутності чи вказується вид несправності і поради щодо боротьби з ними, програмне вікно має поле виведення подій з результатами виконаного аналізу у скороченій формі за їх хронологічним настанням.

Система функціонує наступним чином. При переведенні стрілки струмова крива знімається з вимірювального шунта в панелі живлення стрілок за допомогою АЦП і записується до пам'яті комп'ютера. Програмне забезпечення в автоматичному режимі виконує аналіз отриманих даних в часовій та частотній площинах і виводить зображення кривої струму у відповідне поле робочого вікна програми. За результатами виконаного аналізу у відповідних полях робочого вікна з'являються числові значення вимірюваних параметрів та смислові підсумкові повідомлення про стан стрілочного переводу. Над цими даними виконується статистична обробка, вони додаються в архів, формується електронний журнал і ставляться відповідні відмітки в полі меню кнопки «База даних».

4.4. Застосування технології штучних нейронних мереж для діагностування стрілочних переводів з електроприводом змінного струму

В наш час широкого розвитку і застосування набули математичні методи обробки діагностичної інформації, що базуються на застосуванні штучних нейронних мереж [8], що пояснюється великим числом переваг нейронних мереж, до яких можна віднести можливість знаходження прихованих залежностей між несправністю й формою діагностичного сигналу, прийняття рішень в умовах неповної інформації, автоматичної класифікації образів форми сигналу а також прогнозування відмов. Застосування нейронних мереж для діагностування стрілочних переводів за формою часової залежності струму в робочому колі дозволить виявляти більшість несправностей в автоматичному режимі, та своєчасно інформувати про них обслуговуючий персонал.

Для побудови автоматизованої системи контролю та діагностування стрілочних переводів по кривій струму стрілочного електродвигуна на основі застосування нейронної мережі потрібно створити модель, для якої необхідно спочатку визначити оптимальну структуру нейронної мережі. Нейронна мережа повинна виконувати задачу автоматичного визначення несправностей стрілочних переводів по заданим діагностичним ознакам. Тобто за допомогою використання штучних нейронних мереж

можна діагностувати всі відмови стрілочного переводу, для яких отримані діагностичні ознаки.

Умовно всі розглянуті вище відмови можна поділити на два типи за їх діагностичними ознаками: несправності, які визначаються за часовою залежністю струму, та несправності, які визначаються за частотною залежністю струму.

Нейронна мережа складається з найпростіших елементів штучних нейронних мереж – штучних нейронів (рис 4.5) [68, 114]. Він має групу синапсів – однонаправлених вхідних зв'язків, з'єднаних із виходами інших нейронів, а також має аксон - вихідний зв'язок даного нейрона, із яким сигнал (збудження або гальмування) надходить на синапси наступних нейронів Мережі, побудовані з таких нейронів, які можуть сформувати довільну багатомірну функцію на виході.

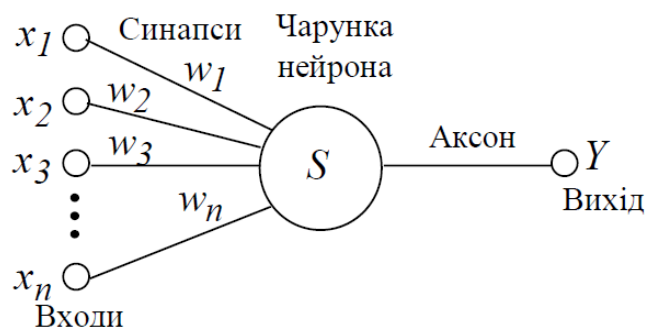


Рисунок 4.5 – Штучний нейрон

Нейрон складається з двох частин: зважений суматор й нелінійний елемент. Поточний стан нейрона визначається як зважена сума його входів, а вихід нейрона є функція його стану:

$$\begin{aligned} S &= \sum_{i=1}^n x_i \cdot w_i \quad \Gamma_H, \\ Y &= F^i(S) \end{aligned} \quad (4.1)$$

де: x_i – сукупність всіх вхідних сигналів нейрона, яка утворює вектор X ; w_i – сукупність всіх вагових коефіцієнтів, що утворює вектор синаптичних ваг w ; S – зважена сума вхідних сигналів; F – нелінійна функція, що називається функцією активації.

Нейрон має кілька вхідних сигналів X й один вихідний сигнал Y . Параметрами нейрона, що визначають його роботу, є: вектор ваг w і вид функції активації F . Ко-

жний синапс характеризується величиною синаптичного зв'язку або його ваги w , що за фізичним змістом еквівалентна електричній провідності.

Специфікою задачі визначається вибір функції активації, зручністю реалізації на комп'ютері та алгоритмом навчання і, як правило, не впливає на рішення задачі, але може збільшити або зменшити час навчання в кілька разів.

Для багат шарових перцептронів й інших мереж з безперервними сигналами дуже часто застосовується логістична функція або сигмоїд (рис. 4.6) [71, 115].

$$Y = \frac{1}{1 + e^{-\alpha \cdot x}} \text{ Гн.} \quad (4.2)$$

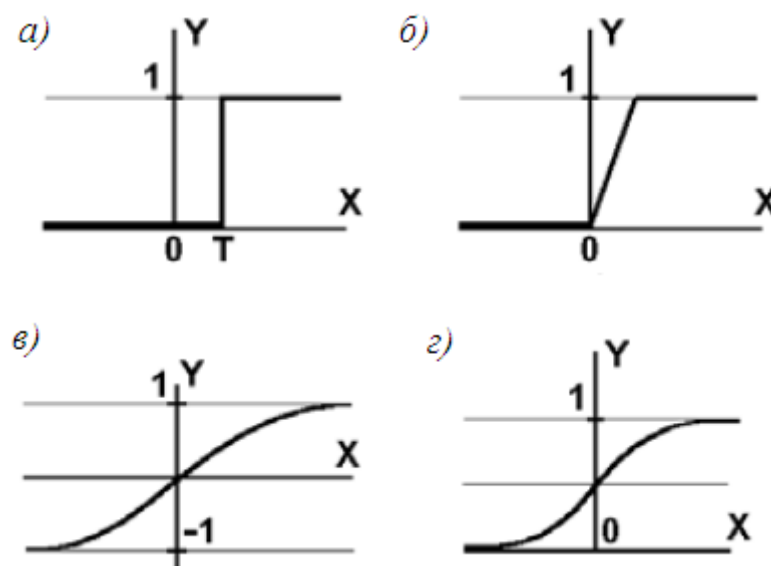
Безперервність першої похідної функції дозволяє навчати мережу градієнтними методами (наприклад, метод зворотного поширення помилки).

Для нейронних мереж властивий принцип рівнобіжної обробки сигналів, який досягається шляхом об'єднання великого числа нейронів у так називані шари і з'єднання певним чином нейронів різних шарів, а також, у деяких конфігураціях, і нейронів одного шару між собою, причому обробка взаємодії всіх нейронів ведеться шарами.

Процес функціонування нейронної мережі, тобто сутність дій, що вона здатна виконувати, залежить від величин синаптичних зв'язків, тому, задавшись певною структурою нейронної мережі, що відповідає якійсь задачі, розроблювач мережі повинний знайти найкращі значення всіх перемінних вагових коефіцієнтів (деякі синаптичні зв'язки можуть бути постійними). Цей етап називається навчанням НМ, і від того, наскільки якісно він буде виконаний, залежить здатність мережі вирішувати поставлені перед нею проблеми під час експлуатації. На етапі навчання крім параметра якості добору вагових коефіцієнтів важливу роль грає час гальмуючих параметрів. Як правило, ці два параметри зв'язані зворотною залежністю і їх доводиться вибирати на основі компромісу.

Навчання нейронної мережі може вестися з вчителем або без нього. У першому випадку мережі пред'являються значення як вхідних, так і бажаних вихідних сигналів, і вона по деякому внутрішньому алгоритму підбудовує ваги своїх синаптичних

зв'язків. В другому випадку виходи нейронні мережі формуються самостійно, а ваги змінюються по алгоритму, що враховує тільки вхідні і похідні від них сигнали.



а) функція одиночного стрибка; б) лінійний поріг; в) сигмоїд – гіперболічний тангенс; г) сигмоїд – формула.

Рисунок 4.6 – Нелінійна активаційна функція

Штучні нейрони можуть поєднуватися в мережі різним способом. Найпоширенішим видом мережі став багатошаровий перцептрон (рис. 4.7), у якому N_I нейронів представляє собою вхідний шар, N_H нейронів знаходиться у кожному прихованому шарі, N_O – кількість вихідних нейронів, X – вектор вхідних сигналів мережі, Y – вектор вихідних сигналів. Мережа складається з довільної кількості шарів нейронів. Нейрони кожного шару з'єднуються з нейронами попереднього й наступного шарів за принципом "кожний з кожним". Перший шар називається сенсорним або вхідним, внутрішні шари називаються прихованими або асоціативними, останній – вихідним. Кількість нейронів у шарах довільна.

Вхідний шар лише розподіляє вхідні сигнали і не виконує ніяких обчислень, тому його можна враховувати, а можна і не враховувати. Через N_L позначається повна кількість шарів у мережі, враховуючи вхідний.

Форма кривої струму записується в цифровому вигляді. Для цього криву часової залежності струму стрілочного двигуна знімають з вимірювального шунта панелі живлення, оцифровують за допомогою аналого-цифрового перетворювача та запи-

сують в пам'ять комп'ютера. Після запису виконують попереднє перетворення діагностичного сигналу (рис. 4.8). Після цього на входи першого шару штучних нейронних мереж можна подати цифровий сигнал, що несе інформацію про криву часової залежності струму та спектрограму. Для навчання багат шарового перцептрона необхідно сформувати навчальну вибірку із сигналів, отриманих у результаті роботи як справних стрілочних переводів так і несправних. Від якості, повноти та складу навчальної вибірки значною мірою залежать час навчання штучних нейронних мереж та вірогідність одержуваних моделей (рис. 4.9).

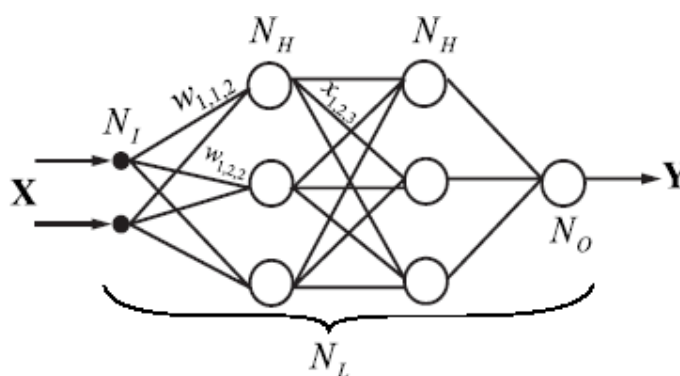


Рисунок 4.7 – Багат шаровий перцептрон

Формули, які описують роботу багат шарового перцептрона:

$$\begin{aligned} S_{ji} &= \sum x_{ijl} \cdot w_{ijl}, \\ Y_{ij} &= F^i(S_{ij}), \\ x_{ij(l+1)} &= Y_{il}, \end{aligned} \quad (4.3)$$

де індекс i – номер входу, j – номер нейрона в шарі, l – номер шару; x_{ijl} – i -й вхідний сигнал j -го нейрона в шарі l ; w_{ijl} – ваговий коефіцієнт i -го входу нейрона j -го нейрона в шарі l ; S_{jl} – сигнал S j -го нейрона в шарі l ; Y_{jl} – вихідний сигнал нейрона; θ_{jl} – граничний рівень нейрона j у шарі l .

Визначення конфігурації і параметрів багат шарового перцептрона необхідно проводити до початку навчання мережі. Для цього необхідно задати діапазони змін входів, виходів, ваги граничних рівнів, з огляду на множину значень обраної функції активації, вибрати число шарів і нейронів у шарі, присвоїти початкові значення ваговим коефіцієнтам і граничним рівням і додатковим параметрам.

Функція, яку виконує навчений двошаровий перцептрон, має вигляд:

$$y(n) = f \left[\sum_{h_1=0}^{H_1} a_{h_1} f \left[\sum_{i=0}^N a_i x_i(n) \right] \right], \quad (4.4)$$

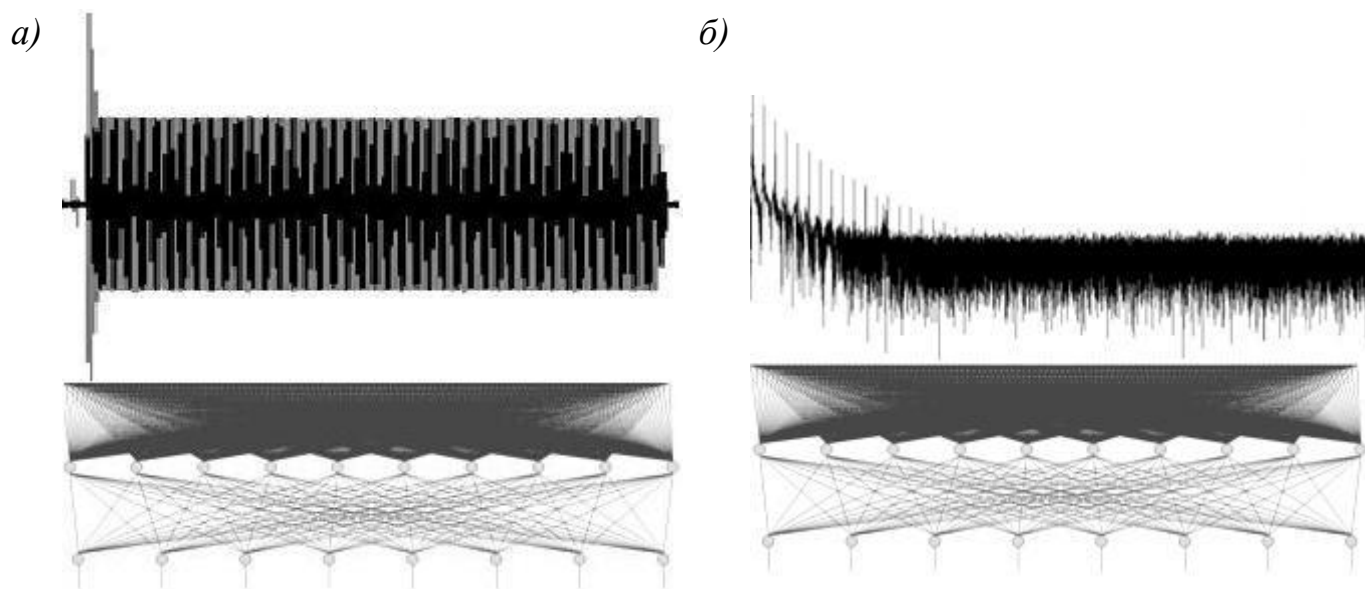
де a_i - ваговий коефіцієнт i -го входу нейрона n шару 1; a_{hi} - ваговий коефіцієнт i -го входу нейрона n шару 2; x_i - вхідні значення нейронної мережі; f - функція активації; $y(n)$ - значення виходу нейрона n ; N - розмірність вхідного сигналу.



Рисунок 4.8 – Алгоритм пошуку несправностей

Наступним етапом після закінчення навчання проводиться розпізнавання стану стрілочного переводу за формою кривої струму, що не входить до навчальної вибірки з метою тестування правильності роботи штучної нейронної мережі за алгоритмом, показаним на (рис. 4.7). Для завдання діагностичних ознак для штучної ней-

ронної мережі можна користуватись і іншими методами виявлення (нечіткі множини, вейвлет перетворення, взаємкореляційні функції і т.д.) [57].



а) для розпізнавання аномальної форми кривої струму, б) для виявлення гармонік відмов в спектрі сигналу.

Рисунок 4.9 – Штучна нейронна мережа для аналізу діагностичного сигналу

Розглянемо алгоритм навчання мережі на прикладі двошарового перцептрона (рис. 4.10). Оператори з 1 по 6 виконують присвоєння довільних значень синаптичним вагам 1 і 2 шарів нейронної мережі (n – номер нейрона у шарі, m – номер вхідного синапса (денрита) нейрона, $layer1[n,m]$ ($layer2[n,m]$) – ваговий коефіцієнт входу m нейрона n першого (другого) шару, $NQ1$, $NQ2$ – кількість нейронів відповідно у першому і другому шарі, $IQ1$, $IQ2$ – кількість вхідних синапсів нейронів першого і другого шару), потім нейронній мережі по черзі пред'являють еталонні зразки всіх вхідних і відповідних їм вихідних векторів (оператор 8), що належать до навчальної вибірки (HB_i де i – номер вибірки). Кількість циклів навчання дорівнює розмірові HB k (оператор 7). Оператори з 9 по 18 обчислюють значення аксонів нейронів 1-го і 2-го шарів багатошарового перцептрону ($axon1$, $axon2$).

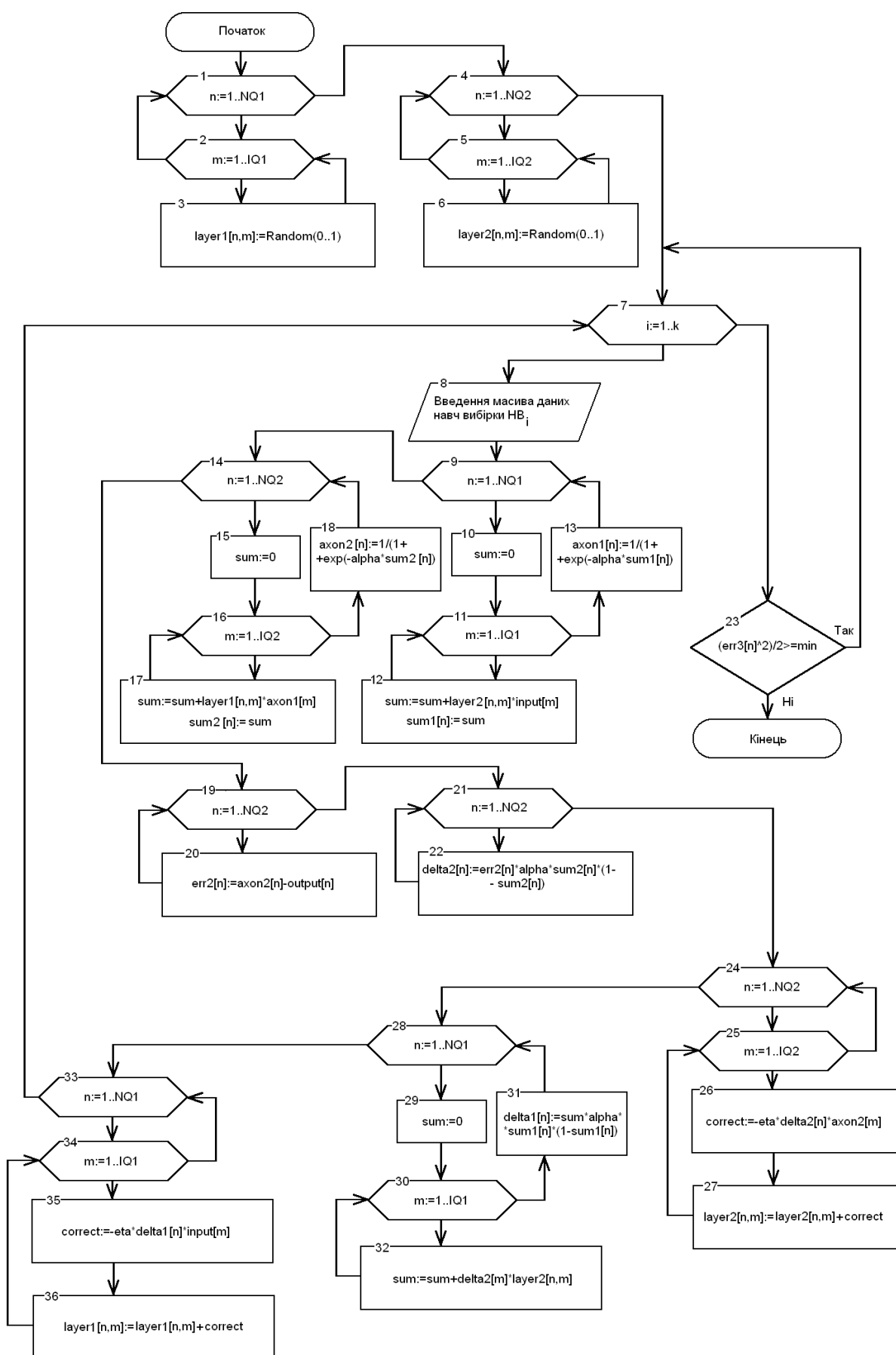


Рисунок 4.10 – Алгоритм навчання двошарового перцептрона

Далі нейронна мережа працює за алгоритмом зворотного поширення помилки. Оператори 19, 20 визначають помилку ($\text{err2}[n]$) для кожного нейрона 2-го шару 21, 22 – поправку для кожного нейрона шару 2. Оператори 24–27 коректують синоптичні ваги нейронів 2-го шару, Оператори 28-32 обчислюють поправку для кожного нейрона шару 1. Оператори 33–36 коректують синоптичні ваги нейронів 1-го шару. По закінченні циклу (оператор 7) виконується порівняння середнього квадратичного відхилення помилки з заданим значенням (min , оператор 23). Якщо відхилення менше цього значення, то навчання багатoshарового перцептронну вважається завершеним, в іншому випадку – процес повторюється [8, 114, 115].

Приклад застосування апарата штучних нейронних мереж в електроприводі наведено в додатку А [68].

4.5. Випробування системи технічного діагностування стрілочних переводів в реальних умовах експлуатації



Рисунок 4.11 – Застосування системи технічного діагностування на стрілочному електроприводі кафедри АТЗ ДІПТу

Випробування автоматизованої системи технічного діагностування стану стрілочних переводів проходили в умовах роботи стрілочних електродвигунів в режимі холостого ходу, який був отриманий шляхом видалення зрівнювальної муфти і від'єднання вала двигуна від вхідного вала редуктора на діючих стрілочних електроприводах та відокремленої роботи електропривода від стрілки (рис. 4.11) на прикладі електропривода, встановленого на кафедрі АТЗ ДПТУ, а також в умовах експлуатації стрілочних переводів на станції (рис. 4.12).

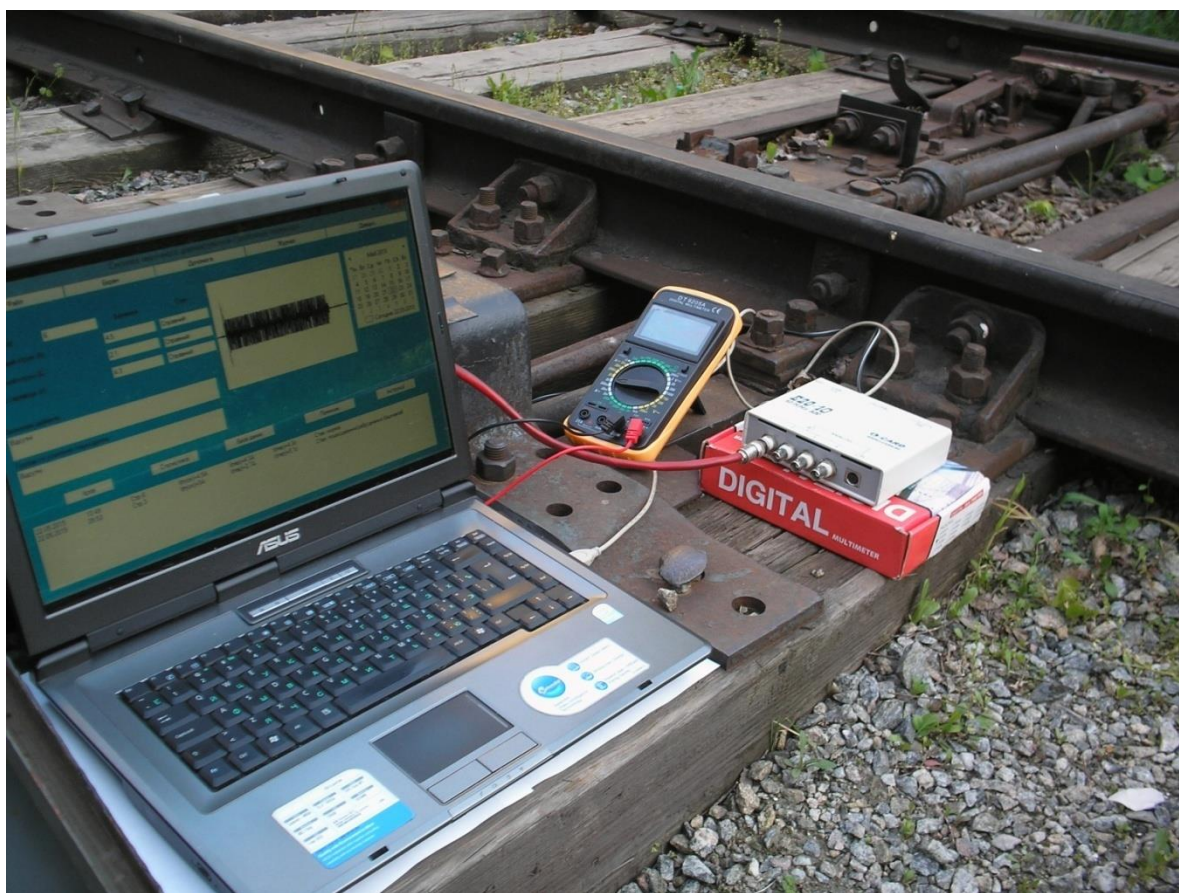


Рисунок 4.12 – Застосування системи технічного діагностування на стрілочному переводі, який знаходиться в експлуатації

При проведенні визначення станів стрілочних переводів, що знаходяться в експлуатації, за допомогою системи технічного діагностування, було підтверджено наступні недоліки в їх роботі: підвищення та нерівномірність струму двигуна через забруднення башмаків, сплески струму на початку переводу через поганий контакт автоперемикача, збільшення часу переводу стрілки через люфти в зрівнювальній муфті, та через погане закріплення електродвигуна, ознаки ексцентриситету ротора

через не співвісність вала двигуна з вхідним валом редуктора, який супроводжувався на практиці нетиповою вібрацією при роботі електродвигуна.

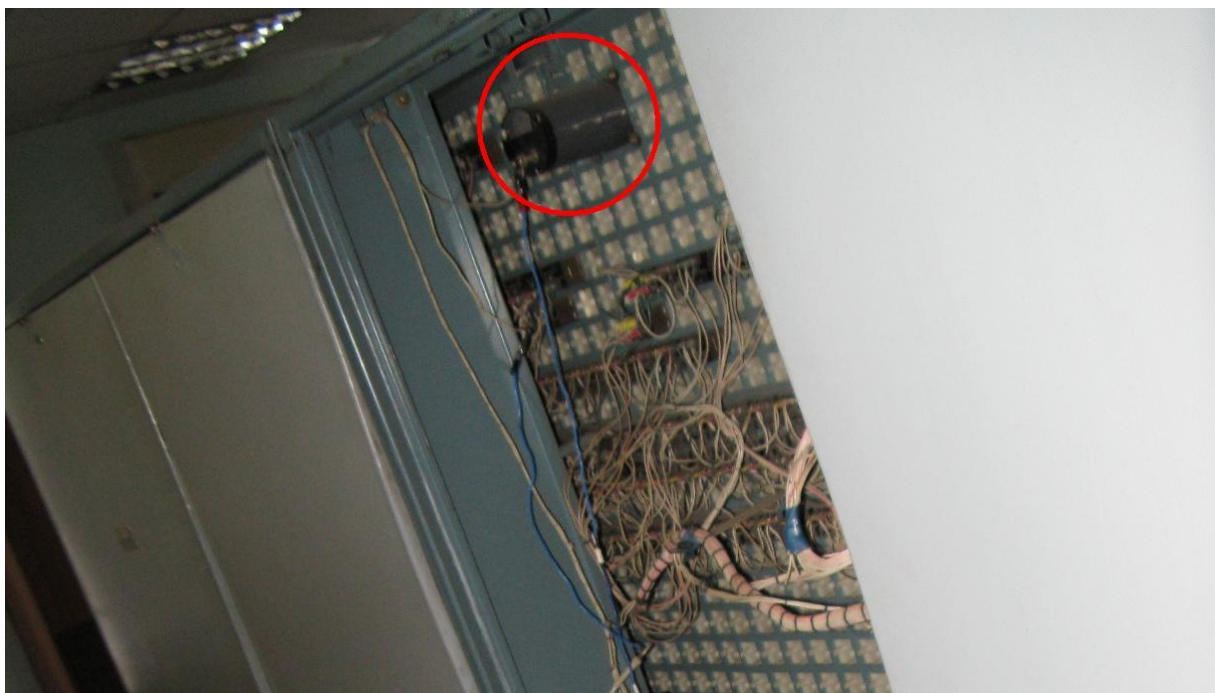


Рисунок 4.13 – Монтажна сторона виносного табло

При застосуванні системи технічного діагностування стану стрілочних переводів на посту ЕЦ виконувалось підключення АЦП як показано на схемі підключення вимірювального пристрою до схеми стрілочної панелі (рис. 2.3) для вимірювання падіння напруги на шунті амперметра, що знаходиться на виносному табло чергового по станції (рис. 4.13). Для цього за допомогою затискачів типу «крокодил» виконувалось підключення вхідного коаксіального кабелю АЦП до шунта амперметра в панелі живлення стрілок (рис. 4.14).

При визначенні стану стрілочних переводів за допомогою системи автоматизованого діагностування стану стрілочних переводів при підключенні до шунта амперметра в панелі живлення стрілок важливою задачею було встановлення залежності струму в колі живлення від віддаленості розташування стрілки. З'ясувалося, що вплив довжини з'єднувальних дротів присутній, хоч і незначний. Тому було прийнято рішення, що для кожного проведеного вимірювання нормативним значенням струму переводу стрілки вважати паспортне значення збільшене на 1 % для

кожних 100 м віддалення від поста. Проведені вимірювання підтвердили залежність збільшення струму переводу від довжини кабелю на обраному рівні.

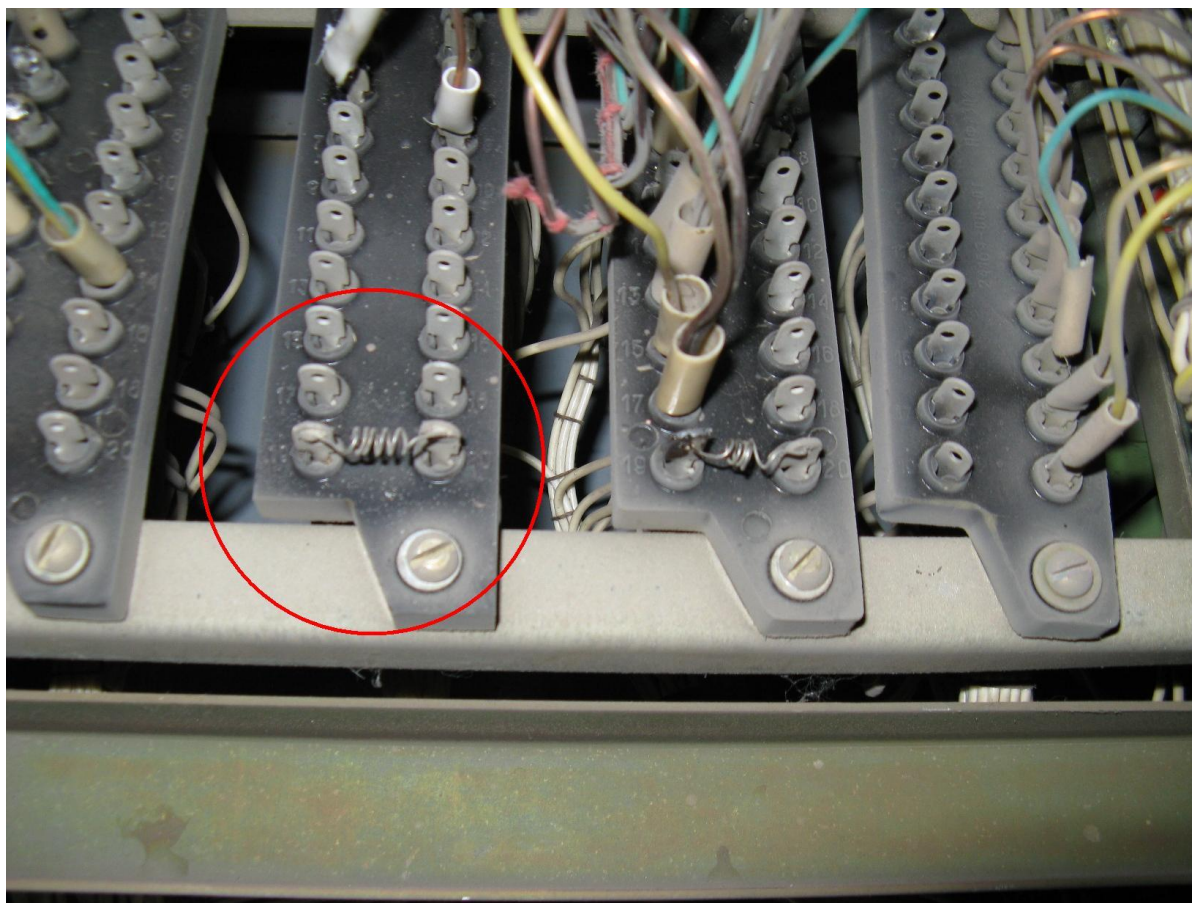


Рисунок 4.14 – Контактні колодки панелі живлення стрілок

Приклад застосування автоматизованої системи технічного діагностування стану стрілочних переводів для роботи стрілочного двигуна на фрикцію (рис. 4.15) показав, що при навмисному послабленні стопорного гвинта фрикційного зчеплення програмно-апаратний комплекс відреагував вірно. При закладці шаблону 4 мм між рамною рейкою і гостряком стрілочний електродвигун почав працювати на фрикціон зі зменшеним відносно норми значенням струму в колі живлення. Одночасно з цим у спеціально відведених полях вікна програми з'явилося повідомлення з відповідним змістом (див. рис. 4.15) виміряних параметрів та знайденою і визначеною невідповідністю нормальному переводу. Також програма надала рекомендацію зі способу усунення виявленого недоліку в роботі.

Таким чином, дослідження роботи стрілочних переводів за допомогою програмного комплексу автоматизованої системи технічного діагностування показав, що

визначення поточного стану відбувається відразу, а тому є можливість швидкого реагування на виявлений недолік та усунення його, що дозволяє попередити відмову.

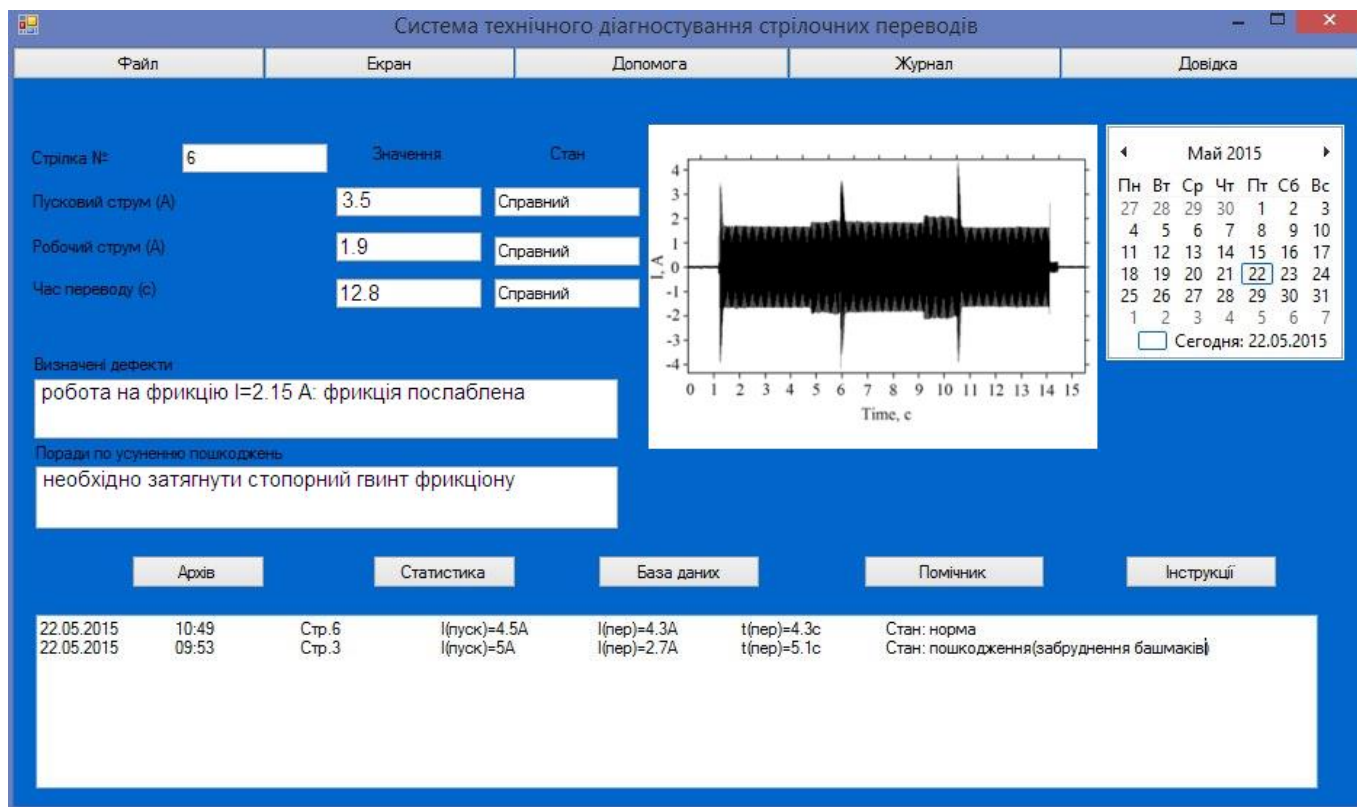


Рисунок 4.15 – Вікно системи технічного діагностування стрілочних переводів при роботі стрілки на фрикцію

4.6. Висновки

Проведені експериментальні дослідження в різних умовах станцій підтверджують справедливість і обґрунтованість суджень про можливість проводити дистанційний технічне діагностування на підставі аналізу сигналу струмової кривої, яка протікає в робочому колі стрілочного електропривода при переведенні стрілки. На основі аналізу проведених досліджень запропоновано метод удосконалення експлуатаційного обслуговування стрілочних переводів шляхом застосування системи автоматизованого діагностування їх станів. Єдність і спільність висновків, зроблених на підставі поставлених дослідів, підтверджують достовірність і закономірність отриманих результатів.

Визначення відмов в роботі стрілок можна проводити за розробленою інформаційною схемою пошуку несправностей стрілочних переводів з електроприводами змінного струму. При цьому, якщо пошук пошкоджень в схемі керування стрілкою буде ві-

дбуватися на посту ЕЦ, то для визначення ж стану стрілочного переводу необхідно знаходитись в безпосередній близькості біля нього. Таким чином, щоб усунути несправність на стрілочному переводі необхідно витратити додатковий час на прибуття до місця пошкодження і час на його обстеження. Скорочення часу на пошук несправностей вдається досягти завдяки застосуванню створеної системи автоматизованого діагностування стрілочних переводів.

Система функціонує за створеною структурною схемою, до якої входить персональний комп'ютер та працює згідно з розробленим алгоритмом визначення стану стрілочних переводів при кожному переведенні стрілки. Для цього виконується підключення до робочого кола стрілочного електропривода на вимірювальному шунті в панелі живлення стрілок.

Розроблені методика та засоби діагностування є основою системи, яка дозволяє дистанційно визначати поточний стан стрілочного переводу з усіма можливими несправностями. Дана система може визначати як поступові відмови, так і пошкодження, які виникають раптово і в режимі реального часу повідомляти про їхню появу.

Застосування системи дистанційного діагностування стану стрілочних електроприводів в автоматизованому режимі дозволить:

- економити час на пошуки несправностей, оскільки скорочується пошук причини відмови, зменшуючи таким чином загальний час на відновлення;
- видавати поради щодо дій працівника та засобів з заміни та ремонту пошкоджених елементів і обладнання;
- призведе до скорочення числа затримок поїздів, через відмови, які виникають з причин неякісного обслуговування чи поступового виходу з ладу елементів стрілочного переводу;
- значному підвищенню безпеки руху, через зменшення часу перебування обслуговуючого персоналу в зоні руху потягів.

Таким чином, отримані результатами роботи системи автоматизованого діагностування стану стрілочних переводів за струмовою кривою підтверджують значне підвищення рівня технічного обслуговування стрілок з електроприводами змінного струму завдяки своєчасному, попередньому усуненню більшості випадків виникнення їх відмов.

РОЗДІЛ 5

ЕКОНОМІЧНИЙ ЕФЕКТ ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ ДИСТАНЦІЙНОЇ ДІАГНОСТИКИ СТІЛОЧНИХ ПЕРЕВОДІВ

5.1. Оцінка економічної доцільності впровадження системи

На залізницях України в останні роки активно впроваджується швидкісний рух поїздів. При цьому велика робота проводиться в напрямку досягнення більшої економічної ефективності. У зв'язку з цим проводиться оптимізація діяльності підприємств шляхом їх реструктуризації. Але досягти високих економічних показників без розвитку матеріально-технічної бази та підвищення якості її експлуатації неможливо. Удосконалення процесу технічного обслуговування і порядку ведення господарської діяльності передбачають відмову від системи планово-попереджувального ремонту і усунення людського фактора шляхом впровадження систем, що виконують дистанційний автоматизований контроль і діагностування в режимі реального часу і дозволяють виконувати обслуговування об'єктів за їх поточним станом [98].

Економічні розрахунки від впровадження системи комплексного контролю та діагностування стрілочних переводів необхідно проводити для використання комплексу на станції при застосуванні системи електричної централізації [45, 55, 70, 86]. Доцільність впровадження нової техніки на залізничному транспорті в загальному випадку вирішується на основі розрахунку економічного ефекту, обумовленого річним обсягом робіт, виконуваних за допомогою даної техніки.

Оцінка економічної доцільності проводиться за трьома показниками: експлуатаційні витрати за рік, річний економічний ефект та строк окупності. Даними для розрахунку капітальних вкладень і експлуатаційних витрат служать конструктивні параметри та експлуатаційні показники порівнюваних варіантів техніки. Для цього застосовується стенд, який використовується у ремонтно-технологічній дільниці для виконання перевірки стану стрілочних двигунів.

Всі основні роботи з перевірки та ремонту стрілочних двигунів зосереджені в ремонтно-технологічній дільниці дистанції. На постах електричної централізації відбувається лише планова заміна двигунів та відправка їх на перевірку. Час на пере-

вірку та профілактичний огляд стрілочного двигуна з використанням стенду становлять 125 хвилин, а на ремонт двигуна з перемоткою статора до 4 годин.

За регламентом час на перевірку складається з часу визначення стану стрілочного двигуна та профілактичного обслуговування. Час на визначення стану електродвигуна складає 15 хвилин, на профілактичне обслуговування 92 хвилини, та 18 хвилин на інші потреби. Автоматизація процесу вимірів параметрів і характеристик двигунів з використанням пропонованого стенду дозволяє вимірювати весь комплекс параметрів електродвигуна за значно менший час. З урахуванням максимального часу виміру характеристик двигуна автоматизованим стендом, час на встановлення двигуна на стенд займає до 0,5 хвилини, час на вмикання двигуна на стенді з записом кривої струму та визначенням частоти обертання складає 1 хвилину, вмикання двигуна на стенді з обертанням в інший бік – 1 хвилина, вимірювання опору статора стрілочного двигуна не більше 0,25 хвилин, для виведення на екран результатів перевірки з опрацюванням їх електромеханіком не перевищує 1 хвилини, зняття електродвигуна з вимірювального стенду і – 0,5 хвилин, заповнення бірки на двигуні – 0,5 хвилини. Запис результатів в електронний журнал відбувається автоматично. Таким чином, увесь час перевірки складатиме 4,75 хвилин.

Оскільки основна кількість двигунів надходить до ремонтного цеху дільниці з відсутніми, або зовсім незначними відхиленнями параметрів від норми, то необхідності в усіх профілактичних процедурах немає. Через це з досвіду працівників виконання робіт з обстеження і обслуговування стрілочних електродвигунів змінного струму середній час на профілактичне обстеження скорочується до 40-50 хвилин. Норма ж часу на ремонт електродвигунів зменшується до 70-80 хвилин у випадку використання системи автоматизованого контролю стану електродвигуна за рахунок скорочення дій з його перевірки. Таким чином, завдяки усуненню деяких видів перевірки час на обстеження і обслуговування одного електродвигуна скорочується на 1,25 години. В межах однієї дистанції в середньому розташовується приблизно 30 станцій з середнім числом стрілок біля 50. Перевірка стану стрілочних електродвигунів змінного струму виконується один раз на п'ять років, тобто з загального числа 1500 стрілочних електродвигунів дистанції щороку необхідно перевіряти

300 шт. у випадку профілактичного обслуговування і відсутності пошкоджень. При цьому загальний час, який витрачається на перевірку в рік, скоротиться в 3 625 годин до 250 годин.

Автоматизований вимірювальний комплекс конструктивно складається з персонального комп'ютера, аналогово-цифрового перетворювача, блоку гальванічної розв'язки. Капіталовкладення на впровадження стенду для виміру параметрів стрілочних двигунів складається з витрат на персональний комп'ютер у розмірі 6000 грн., аналогово-цифровий перетворювач 5000 грн., блок живлення електродвигуна 1000 грн., що разом складає 12000 грн.

Окремо по елементам потужність споживання струму вимірювальним комплексом, призначеним для автоматизації виміру параметрів і характеристик двигунів, становить для блоку живлення електродвигуна 300 Вт, для персонального комп'ютера і монітору 300 Вт, аналогово-цифрового перетворювача, електронного тахометра та електронного мегомметра разом біля 10 Вт. У порівнянні зі стендом з перевірки стану стрілочного електродвигуна, який використовується в ремонтно-технологічній дільниці стенд автоматизованої діагностики перевищує споживання електричної енергії у зв'язку із більшим значенням потужності (табл. 5.1). Проте за часом перевірки і собівартістю показники значно перевищують існуючий аналог.

Таблиця 5.1 – Характеристики стендів

Параметр	Стенд для перевірки стану електродвигунів ремонтного цеху	Автоматизований стенд для перевірки двигунів
Час перевірки одного двигуна, хв.	125	64,45
Час ремонту одного двигуна, хв.	125-240	40-50
Потужність енергоспоживання, Вт	300	610
Вартість стенду, грн.	15500	12000

5.2. Розрахунок експлуатаційних витрат на систему автоматизованої перевірки стрілочних електродвигунів, визначення вартості і строку окупності нової системи

Експлуатаційні витрати складаються з витрат на утримання, витрати на матеріали та запасні частини, електроенергію, а також витрати на амортизацію. Отже, експлуатаційні витрати на перевірку стрілочних двигунів визначаються за формулою:

$$B = B_{\hat{\tau}\hat{o}} + B_{\hat{\tau}} + B_{\hat{\tau}\hat{o}\hat{o}} + B_{\hat{a}} + B_{\hat{a}}, \quad (5.1)$$

де: $B_{\hat{\tau}\hat{o}}$ – основний фонд заробітної плати; $B_{\hat{\tau}}$ – соціальні нарахування на основний фонд заробітної плати; $B_{\hat{\tau}\hat{o}\hat{o}}$ – витрати на матеріали й запасні частини; $B_{\hat{a}}$ – витрати на електроенергію; $B_{\hat{a}}$ – амортизаційні нарахування.

Визначимо основний фонд заробітної плати за формулою:

$$B_{\hat{\tau}\hat{o}} = \hat{A}_{\hat{\tau}\hat{o}} \cdot t, \quad (5.2)$$

де t – час, затрачений у ремонтному цеху на перевірку стрілочних двигунів в рік; B_{cm} – ставка електромеханіка (16,8 грн/год. з розрахунку ставки електромеханіка 2800 грн. за 167 годинний робочий місяць).

Таким чином витрати за основний фондом заробітної плати для обох випадків складуть $B_{of}=625 \cdot 16,8=10500$ грн. і $B_{of}=250 \cdot 16,8=4200$ грн. відповідно.

Нарахування на заробітну плату становить 37,83 % від заробітної плати основного фонду, з яких 32 % – пенсійний збір, 2,9 % – соціальне страхування, 1,9 % – відрахування до фонду безробіття і страхування нещасних випадків 1,03 %. Нарахування на заробітну обчислюється за формулою:

$$B_{\hat{\tau}} = k \cdot \hat{A}_{\hat{\tau}\hat{o}}, \quad (5.3)$$

де $k = 0,3783$. Тоді, для існуючого способу нарахування на заробітну плату складає 3990 грн., а для автоматизованого комплексу – 1059 грн.

Витрати на матеріали й запасні частини складає 2 % від вартості автоматизованого стенду, тобто $B_{\hat{\tau}\hat{o}\hat{o}}=0,02 \cdot 12000=240$ грн. Вартість існуючих пристроїв перевірки стану електродвигунів 15500 грн., тому витрати на матеріали й запасні частини складає $B_{\hat{\tau}\hat{o}\hat{o}} = 0,02 \cdot 15500 = 310$ грн (табл. 5.2).

До експлуатаційних витрат відносяться амортизаційні нарахування і вартість електричної енергії. Норми амортизаційних нарахувань визначаються на основі вартості устаткування і складаються з відрахувань на відновлення, заміну й капітальний ремонт. Щорічні амортизаційні відрахування становлять 5% від вартості комплексу. Таким чином, амортизаційні витрати на експлуатацію стенду перевірки стану електродвигунів ремонтного цеху складає 775 грн., а автоматизованого комплексу – 600 грн.

Витрати на електроенергію визначаються за формулою:

$$B_a = P_{\tilde{m}} \cdot \tilde{N}_a \cdot t, \quad (5.4)$$

де P_{cm} – робоча потужність стенду для перевірки стрілочних двигунів; C_e – вартість 1 кВт/год електроенергії (1,22 грн.), t – час, затрачений у ремонтному цеху на перевірку стрілочних двигунів в рік.

Таким чином, витрати на електроенергію при перевірці в ремонтному цеху складають $B_e = 625 \cdot 1,22 \cdot 0,3 = 228,75$ грн., а для автоматизованого стенда $B_e = 250 \cdot 1,22 \cdot 0,61 = 186$ грн.

Визначимо тепер експлуатаційні витрати за формулою (5.1). Для існуючих пристроїв: $B = 10500 + 3990 + 310 + 228,75 + 310 = 15338,75$ грн. і для автоматизованого стенду $B = 4200 + 1059 + 240 + 186 + 207,5 = 5892,5$ грн.

Таблиця 5.2 – Розрахунок експлуатаційних витрат на перевірку стану стрілочних електродвигунів

Стаття витрат	Існуючі пристрої для перевірки двигунів	Автоматизований стенд
Основний фонд заробітної плати, грн.	10500	4200
Нарахування на заробітну плату, грн.	3990	1596
Витрати на матеріали й запасні частини, грн.	310	240
Витрати на електроенергію, грн.	228,75	186
Амортизаційні відрахування, грн.	310	207,5
Експлуатаційні витрати, грн/рік	15338,75	5892,5

Річний економічний ефект від впровадження нової техніки розраховується з урахуванням сумарної економії всіх видів продуктивних ресурсів одержаної в ре-

зультаті виробництва й експлуатації впроваджуваного пристрою, спрямованого на автоматизацію виробництва [55, 70], що забезпечує економію виробничих ресурсів, визначається як різниця витрат по базовій і новій техніці:

$$E = B_{\hat{a}} - (B_{i\hat{n}} + K \cdot E_i), \quad (5.5)$$

де $B_{\hat{a}}$ – експлуатаційні витрати на перевірку двигунів за існуючою системою, $B_{i\hat{n}}$ – експлуатаційні витрати на перевірку двигунів за новою системою, K – капітальні вкладення на впровадження автоматизованого комплексу, E_i – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень ($E_n = 0,25$ для мікропроцесорної обчислювальної техніки).

Отже, річний економічний ефект від впровадження автоматизованого станду для перевірки параметрів стрілочних двигунів складає $E = 15338,75 - (5892,5 + 12000 \cdot 0,25) = 6446,25$ грн.

Строк окупності для впроваджуваного автоматизованого станда перевірки стану стрілочних електродвигунів змінного струму можна визначити з формули:

$$T = \frac{\hat{A}_{i\hat{n}} + \hat{E} \cdot \hat{A}_i}{\hat{A}}. \quad (5.6)$$

Отже, підставивши відповідні значення до формули (5.6) отримаємо:

$$T = \frac{5892,5 + 12000 \cdot 0,25}{6446,25} = 1,38 \text{ року.}$$

При цьому слід зауважити, що система перевірки стрілочних електродвигунів відповідає вимогам нормативному часу окупності для обчислювальної техніки, який не повинен перевищувати 5 років.

Таким чином, річний економічний ефект від впровадження станду для перевірки двигунів складає 6446,25 грн., а строк окупності – 1,38 року, проте головною перевагою системи є значне скорочення часу на технічне обслуговування стрілочного електродвигуна, яке досягає зменшення майже в 2,5 рази.

5.3. Перспективи впровадження автоматизованої системи діагностування стану стрілочних переводів на станціях з електричною централізацією

Необхідність контролю та діагностування стрілочних переводів ввімкнених в електричну централізацію обумовлена тим, що при виникненні пошкодження електропривода чи елементу стрілки відбувається відмова всього стрілочного переводу. В свою чергу це призводить до того, що частина системи електричної централізації не виконує свої функції належним чином. Причинами можуть слугувати як раптові несправності і поступові відмови, так і неякісне обслуговування, через яке відбувається 45-50 % загальної кількості відмов [6]. При цьому залежно від положення стрілки на станції з роботи може бути виключено як одне рейкове коло, так і значна частина горловини станції. Маршрути, які включають стрілку з відмовою, не можуть бути складені у випадку, якщо стрілка не дає контролю. У випадку, якщо стрілка дає контроль але не переводиться, є можливість скласти лише частину маршрутів [37].

Середня тривалість усунення відмови складається з часу пошуку і усунення несправності і складає в середньому 85 хвилин для усіх відмов [6]. Система автоматизованого діагностування стану стрілочного переводу дозволить зменшити час на усунення відмови при виникненні несправностей в роботі стрілочного електропривода чи стрілки за рахунок визначення пошкодження без участі обслуговуючого персоналу.

Електрична централізація являє собою складну систему, яка забезпечує керування та безпеку руху поїздів. Стійкість системи до виникнення порушень у виконанні покладених на неї функцій визначається ремонтпридатністю й рівнем технічного обслуговування. Відновлення системи складається з часу пошуку несправності $t_{\bar{i}}$, часу оголошення про виявлену несправність $t_{i\bar{a}}$, часу необхідного для прибуття до пристрою, що відмовив, $t_{i\delta}$ та часу відновлення працездатного стану об'єкту $t_{\bar{a}\bar{a}}$:

$$t_{\bar{a}} = t_{\bar{i}} + t_{i\bar{a}} + t_{i\delta} + t_{\bar{a}\bar{a}}. \quad (5.7)$$

При використанні системи автоматизованого діагностування час оголошення $t_{i\bar{a}}$ незначний, оскільки дана величина визначається часом від останнього опитування

контрольованого об'єкта. Час на визначення стану стрілочних переводів системою технічного діагностування і контролю параметрів із застосуванням мікропроцесорної техніки становить доли секунд, тому при розрахунках часу відновлення величину $t_{i\tilde{a}}$ можна не враховувати. Впровадження системи діагностування дозволяє виключити всі поступові відмови, які виникають через знос та вироблення і які складають приблизно половину усіх відмов [6], тобто біля 40 хвилин. Час відновлення системи при виникненні неочікуваних пошкоджень істотно зменшиться за рахунок зменшення часу пошуку несправності t_i . Тоді формулу відновлення системи можна виразити наступним чином:

$$\dot{O}_{\tilde{a}} = \dot{O}_i + \dot{O}_{i\delta} + \dot{O}_{\tilde{a}\tilde{a}}, \quad (5.8)$$

де $\dot{O}_i$ – середня тривалість часу пошуку несправності; $\dot{O}_{i\delta}$ – середня тривалість часу, необхідного для прибуття до несправного об'єкту; $\dot{O}_{\tilde{a}\tilde{a}}$ – середня тривалість часу усунення несправності.

Таким чином, система автоматизованого діагностування дозволить усунути час на визначення та пошук несправностей та визначати поступові відмови, усуваючи їх до виникнення пошкодження.

Час на перевірку і обслуговування електроприводів достатньо тривалий [98]. При впровадженні системи діагностування і контролю стрілочних переводів істотно скорочується час на перевірку, а час на обслуговування залишиться практично незмінним. Враховуючи те, що час перевірки, значно перевищує час обслуговування, впровадження системи автоматизованого діагностування дозволить досягти значного скорочення загальних витрати часу на огляд і обслуговування разом. Завдяки значному скороченню часу на пошук несправності та відсутності інтервалу часу на доведення цієї інформації до виконавців, при відновленні стрілочного переводу як об'єкту діагностування системи електричної централізації витрачається тільки корисний час на усунення пошкодження і відновлення справного стану.

5.4. Висновки

При впровадженні системи контролю та діагностування стрілочних переводів на станції зі встановленою системою електричної централізації комплекс діагностування стрілочних переводів не потребує участі людини для проведення вимірювань. Впровадження комплексу на станції дозволяє досягти більшої економії часу на перевірку стрілочних переводів. Зникає необхідність періодичної перевірки стрілочних двигунів в ремонтному цеху дільниці дистанції сигналізації і зв'язку при їх справному стані, а перевірка з ремонтом виконується у разі відмови.

Застосування системи автоматизованого діагностування параметрів стрілочних електродвигунів в комплексі з системою діагностування стану стрілочних переводів здатне істотно підвищити якість проведення діагностування та обслуговування з підвищенням точності вимірювання параметрів, зниженням часу пошуку несправностей та фіксацією результатів перевірок.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі запропоновано вирішення науково-прикладної задачі з удосконалення технології обслуговування стрілочних переводів з електроприводами змінного струму шляхом автоматизації діагностування їх станів. Підвищення ефективності технічного обслуговування досягається завдяки проведенню процесу визначення стану стрілочних переводів за часовою залежністю та частотним складом струму переводу стрілки за відомими діагностичними ознаками.

Основні наукові результати полягають в наступному:

1) виконаний аналіз відмов стрілочних переводів показав, що усі відмови стрілочних переводів можна розділити за устроєм на відмови електродвигуна, механічної частини стрілочного електропривода та стрілки, та за моментом виникнення на раптові та поступові, що впливає на час їх пошуку і усунення.

2) аналіз методів та засобів діагностування стрілочних переводів, які застосовуються в теперішній час засвідчив, що вони морально й технічно застаріли і подальше підвищення ефективності технічного обслуговування можливе за рахунок впровадження автоматизації контролю технічного стану стрілок в умовах експлуатації без виключення їх з електричної централізації.

3) розроблена математична модель стрілочного переводу з урахуванням електромеханічних процесів в електроприводі та процесів в механічній частині стрілки, що дозволило створити статистичну базу діагностичних ознак відмов та виявити діагностичні ознаки дефектів, які складно реалізувати на практиці в умовах безперервної поїзної роботи. Для врахування пружного моменту та визначення його впливу на роботу електропривода приведена математична модель зазору в механічній передачі.

4) проведено експериментальне визначення діагностичних ознак для аналізу стану стрілочних переводів під час експлуатації за часовою залежністю та частотним складом струму переводу стрілки. За часовою залежністю струму визначені діагностичні ознаки для 14 різних відмов стрілочного переводу, які визначаються за часовими і амплітудними значеннями струму, а за частотним складом струму визначено 2 ознаки відмов, що проявляються у частотному діапазоні від 0 до 8000 Гц.

5) розроблено та науково обґрунтовано метод автоматизованого діагностування технічного стану стрілочних переводів з електроприводами змінного струму, управління якими здійснюється централізовано, в основу якого покладено аналіз часової залежності та спектрального складу кривої струму, що дозволяє покращити безпеку руху поїздів за рахунок завчасного усунення поступово виникаючих пошкоджень.

6) розроблено комп'ютерну програму автоматичного діагностування технічного стану стрілочних переводів з електроприводом змінного струму, в основу якої покладено отримання та накопичення даних вимірювань параметрів поточного стану стрілочних переводів в цифровому вигляді, який дозволяє забезпечити отримання більшого обсягу інформації за менший період часу, ніж це передбачено графіком технічного обслуговування служби сигналізації та зв'язку. Це дасть можливість, ґрунтуючись на результатах протоколів електронного журналу перевірки, планувати усунення визначених несправностей стрілок, не порушуючи при цьому графік технологічного процесу.

7) розроблений системний підхід до технології автоматизованого визначення параметрів стрілочних переводів, яка дозволяє об'єктивно оцінювати їх стан в реальному часі і оперативно реагувати на відмови, що дозволяє крім зменшення кількості затриманих поїздів з причини некерованості стрілок, усувати передвімовний стан, встановлений на підставі аналізу змін їх характеристик і параметрів з часом.

8) розроблено дослідний зразок автоматизованого апаратно-програмного комплексу для діагностування параметрів стрілочних переводів без виключення з експлуатації.

9) річний економічний ефект від впровадження стенду для перевірки двигунів стрілок складає 6446,25 грн на календарний рік для однієї дистанції сигналізації та зв'язку.

Таким чином, запропонована система автоматизованого діагностування стану стрілочних переводів з електроприводами змінного струму дозволяє полегшити працю, підвищити якість обслуговування і збільшити продуктивність.

Впровадження результатів дисертаційної роботи підтверджується відповідними актами (Додаток Б).

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- 1) Аверкиев С. А. Автоматизированная система диспетчерского контроля АСДК «ГТСС-СЕКТОР». / С. А Аверкиев., С. С. Морозов // Автоматика, связь, информатика. – 2000. – №9. – С. 38-41;
- 2) Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте: Учебник для вузов ж.-д. трансп. А. А. Устинский, Б. М. Степенский, Н. А. Цыбуля и др. М.: Транспорт, 1985. – 439 с.;
- 3) Алиев И. И. Асинхронные двигатели в трехфазном и однофазном режимах. – М.: ИП РадиоСофт, 2004. – 128 с.: ил.;
- 4) Амелин С. В. Путь и путевое хозяйство / С. В. Амелин, Л. М. Дановский. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1972. – 216 с.;
- 5) Анализ влияния величины эксцентриситета ротора асинхронного электродвигателя на пиковое значение электромагнитного момента при прямом включении в сеть / Ю. Г. Осадчук, А. Б. Сёмочкин, В. А. Федотов, Д. А. Шкурко // Наука, освіта і практика. – Кр. Рог: Криворожский технический университет, 2011. Вип. 1 (1) – С. 264-265;
- 6) Аналіз стану безпеки руху поїздів на залізницях України за 12 місяців 2010 – 2014 року. Міністерство транспорту України. Державна адміністрація залізничного транспорту. – 2011 – 2015;
- 7) Архипов Е. В., Гуревич В. Н. Справочник электромонтера СЦБ. – М.: Транспорт, 1990. – 287 с.;
- 8) Барских А. Б. Нейронные сети: распознавание, управление, принятие решений. – М.: Финансы и статистика, 2004. – 176 с.;
- 9) Безрученко В. Н. Электрические машины / В. Н. Безрученко, А. С. Хотян – 2-е изд., перераб. и доп. – К.: Вища шк. Головное изд-во, – 1987. – 215 с.;
- 10) Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники: Электрические цепи. / Л. А. Бессонов – М.: Высшая школа, 1978. – 528 с.;
- 11) Бешта А.С. Залежність теплового стану електропривода від параметрів робочого режиму / А. С. Бешта, В. С. Федорейко, О. В. Балахонцев, С. С. Худолій // «Науковий вісник НГУ», – Дніпропетровськ: 2013. – Вип. № 6. – С.67-72;

- 12) Бойник А.Б., Загарий Г.И., Кошевой С.В., Луханин Н.И., Поета Н.В., Поддубняк В.И. Диагностирование устройств железнодорожной автоматики и агрегатов подвижных единиц: Учебник. – Х.: ЧП Издательство «Новое слово», 2008. – 304 с.;
- 13) Бондаренко А. А., Дубінін О. О., Переяславцев О. М. Теоретична механіка: У 2 ч. – Ч.2: Динаміка. – К.: Знання, 2004. – 590 с. – (Вища освіта ХХІ століття);
- 14) Буряк С. Ю. Впровадження системи технічної діагностики стрілочних переводів / С. Ю. Буряк, В. И. Гаврилюк, О. А. Гололобова // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Д.: ДНУЗТ, 2015. – Вип. 4 (58). – С. 7-25;
- 15) Буряк С. Ю. Дистанционное диагностирование состояния стрелочных переводов по временной характеристике и спектральному составу токовой кривой / С. Ю. Буряк, В. И. Гаврилюк, О. А. Гололобова, М. А. Коврыгин // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Д.: ДНУЗТ, 2015. – Вип. 2 (56). – С. 39-57;
- 16) Буряк, С. Ю. Исследование временной зависимости и спектрального состава сигнала в цепи стрелочных электродвигателей переменного тока /С. Ю. Буряк, В. И. Гаврилюк, О. А. Гололобова // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Д.: ДНУЗТ, 2014. Вип. 6 (54). – С. 7-22;
- 17) Буряк С. Ю. Исследование диагностических признаков стрелочных электроприводов переменного тока / С. Ю. Буряк, В. И. Гаврилюк, О. А. Гололобова, А. М. Безнарытний // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Д.: ДНУЗТ, 2014. – Вип. 4 (52). – С. 7-22;
- 18) Буряк С. Ю. Математичне моделювання стрілочного електропривода / С. Ю. Буряк // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Д.: ДНУЗТ, 2010. Вип. 34. – С. 172-175;

- 19) Буряк С. Ю. Математичне моделювання стрілочного електропривода в середовищі Simulink пакету MatLab / С. Ю. Буряк // Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті. – Д.: ДНУЗТ, 2011. Вип. 1. – С. 6-10;
- 20) Вожолевский А. Л. Комплексная автоматизированная система управления хозяйством сигнализации, связи и вычислительной техники. / А. Л. Вожолевский, К. О. Калюжный // Автоматика, телемеханика и связь/. – 1995, №6 – с. 28-30;
- 21) Вольдек А. И. Электрические машины: учебник для студентов высших технических учебных заведений / А. И. Вольдек – 3-е изд., перераб. – Л.: Энергия, 1978. – 832 с., ил.;
- 22) Волынский Б. А. Электротехника / Б. А. Волынский, Е. Н. Зейн, В. Е. Шатерников: Учебное пособие для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 528 с.: ил.;
- 23) Гемке Р. Г. Неисправности электрических машин. / Р. Г. Гемке. – Л.: Энергия, – 1969. – 272 с.;
- 24) Гендиректор «Укрзалізниці»: Залізниці вже наступного року вийдуть на європейський рівень [Електронний ресурс] – 08.08.2014 р. Режим доступу: http://www.uz.gov.ua/press_center/ukrainian_railways_in_mass_media/387064/. – Назва з екрану. – Дата доступу: 08.12.2014 р.;
- 25) Герман-Галкин С. Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MATLAB 6.0 : учебное пособие / С. Г. Герман-Галкин. – СПб. : КОРОНА принт, 2001. – 320 с.;
- 26) Герман-Галкин С. Г. Электрические машины: лабораторные работы на ПК / С. Г. Герман-Галкин. – СПб. : КОРОНА принт, 2003. – 256 с.;
- 27) Герман-Галкин С. Г. Matlab & simulink. Проектирование мехатронных систем на ПК / С. Г. Герман-Галкин. – СПб.: КОРОНА-Век, 2008. – 368 с.;
- 28) Глазунов Л. П. Основы теории надежности автоматических систем управления. / Л. П. Глазунов, В.П. Грабовецкий, О.В. Щербаков – Л.: Энергоатомиздат, Ленинградское отделение, 1984. – 208 с.;
- 29) Гольдберг О. Д. Проектирование электрических машин: Учебник / О. Д. Гольдберг, И. С. Свириденко; Под ред. О. Д. Гольдберга. – 3-е изд., перераб. – М.: Высш. шк., 2006. – 430 с.: ил.;

- 30) Горбунов Б. Л. Аппаратные средства диспетчерского комплекса АПК-ДК. // Автоматика, связь, информатика. – 2000. – №9. – С. 19-21;
- 31) Гриненко А. В., Пресняков А. И., Варченко В. И. Основные принципы построения диспетчерской подсистемы в АПК-ДК. // Автоматика, связь, информатика. – 2000. – №9. – С. 16-19;
- 32) Гуляева А. А. Моделирование электропривода на основе трехфазного асинхронного двигателя с частотным управлением // Научный вестник Московского государственного горного университета. – М.: МГГУ, 2012. № 12. – С – 11–20;
- 33) Дайнеко В. А. Электрооборудование сельскохозяйственных предприятий: Учебное пособие / В. А. Дайнеко, А. И. Ковалин-ский. – Минск: Новое знание, 2008. – 320 с.;
- 34) Данько М. І. Мікропроцесорна диспетчерська централізація «Каскад» / М. І. Данько, В. І. Мойсеєнко, В. З. Рахматов, В. І. Троценко, М. М. Чепцов: Навчальний посібник. – Харків, 2005. – 176 с.;
- 35) Диагностирование эксцентриситета ротора асинхронного двигателя по средне-квадратичной величине дополнительных гармонических токов статора / А. Н. Новожилов, Е. В. Крюкова, Н. А. Исупова, Т. А. Новожилов, К. И. Никитин // СибАК. Научно-практические конференции ученых и студентов с дистанционным участием. Коллективные монографии. – Режим доступа: <http://sibac.info/10949>. – Загл. с экрана. – Дата доступа: 08 декабря 2014 г.;
- 36) Дмитренко И. Е. Измерения и диагностирование в системах железнодорожной автоматики, телемеханики и связи. / Дмитренко И. Е., Сапожников В В., Дьяков Д. В.; под ред. И. Е. Дмитренко. – М.: Транспорт, 1994. – 263 с.;
- 37) Дмитренко И. Е. Техническая диагностика и автоконтроль систем железнодорожной автоматики и телемеханики / И. Е. Дмитренко // 2-е изд., перерераб. и доп. – М.: Транспорт, 1986 – 144 с.;
- 38) Дмитриев А. К. Распознавание отказов в системах электроавтоматики. / А. К. Дмитриев – Л.: Энергоиздат, 1983 – 104 с. (681.5 Д53);
- 39) Захарченко Д. Д. Тяговые электрические машины. Учебник для вузов ж.-д. трансп. / Д. Д. Захарченко, Н. А. Ротанов – М.: Транспорт, 1991. – 343 с.;

- 40) Зельдин Е. А. Децибелы. Изд. 2-е, доп. М., «Энергия», 1977 г. 64 с. с ил. (Мас-
совая радиобиблиотека. Вып. 949);
- 41) Иваненко А. А. Внедрение новых систем диспетчерской централизации и диспет-
черского контроля. // Автоматика, связь, информатика. – 2001. – №9. – С. 25-26;
- 42) Иванов Г. Я. Электропривод и электрооборудование: учеб. пособие /
Г. Я. Иванов, А. Ю. Кузнецов, В. В. Дмитриев // Новосибирский государствен-
ный аграрный университет. Инженерный институт. – Новосибирск, 2011. – 54 с.;
- 43) Иванов-Смоленский А. В. Электрические машины. В 2-х т. Том 1: Учебник для
вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство МЭИ, 2004. – 656 с., ил.;
- 44) Индустриализация обслуживания и ремонта устройств СЦБ / А. Е. Федотов,
Б. Н. Тарасов, Я. Ю. Плавник, В. Л. Стукан. – М.: Транспорт, 1984. 95 с.;
- 45) Інструкції з забезпечення безпеки руху поїздів при виконанні робіт з технічного
обслуговування та ремонту пристроїв сигналізації, централізації та блокування
(СЦБ) на залізницях України. ЦШЕОТ/0018 – К.: Укрзалізниця, 1999. – 105 с.
- 46) Інструкція з технічного обслуговування пристроїв сигналізації, централізації та
блокуваннях. ЦШЕОТ 0012 – К.: Укрзалізниця, 1998. – 72 с.;
- 47) Інструкція з технічного обслуговування пристроїв сигналізації, централізації та
блокування (СЦБ), ЦШ/0060 – К.: Укрзалізниця, 2009. – 87 с.;
- 48) Інструкція з улаштування та утримання колії залізниць України.
ЦШЕОТ/0138 – К.: Укрзалізниця, 2006. – 321 с.;
- 49) Інструкція з утримання технічної документації на пристрої сигналізації,
централізації та блокуваннях на залізницях України. ЦШ/0022 – К.: Укрзаліз-
ниця, 2001. – 41 с.;
- 50) Казаков А. А., Бубнов В. Д., Казаков Е. А. Станционные устройства автоматики и
телемеханики: Учебник для техникумов ж.-д. трансп. М.: Транспорт, 1990. – 431 с.;
- 51) Как определить место короткого замыкания в обмотках электрических машин
переменного тока. / Школа для электрика – [http://electricalschool.info/main/
electroremont/396-kak-opredelit-mesto-korotkogo.html](http://electricalschool.info/main/electroremont/396-kak-opredelit-mesto-korotkogo.html) – Назва з екрану. – Дата
доступу: 12.05.2015 р.;

- 52) Класифікація і каталог дефектів і пошкоджень елементів стрілочних переводів та рейок залізниць України – Дніпропетровськ: Арт-Пресс, 2000. – 148 с.;
- 53) Коган, Д. А. Аппаратура электропитания железнодорожной автоматики / Д. А. Коган, З. А. Эткин. // 2-е изд., перерераб. и доп. – Москва: Транспорт, 1987. – 256 с.;
- 54) Коган, Д. А. Аппаратура электропитания железнодорожной автоматики / Д. А. Коган, М. М. Молдавский. – Москва: Академкнига, 2003. – 438 с.;
- 55) Комплекси технічних засобів системи керування та регулювання руху поїздів. Функціональна безпека і надійність: Вимоги на методи випробування. ДСТУ 4178-2003 – К.: Держстандарт України, 2003;
- 56) Копылов И. П. Математическое моделирование электрических машин: Учебник для вузов / И. П. Копылов // Издание 3-е, переработанное и дополненное. – М.: Высшая школа, 2001. – 327 с., ил.;
- 57) Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств. – М.: Радио и связь, 1982. – 432 с.;
- 58) Кравцов Ю. А., Нестеров В. Л., Лекута Г. Ф. и др. Системы железнодорожной автоматики и телемеханики. Под ред. Ю. А. Кравцова. – М.: Транспорт, 1996. – 400 с.;
- 59) Маловічко В. В. Автоматизовані системи управління на транспорті / В. В. Маловічко, В. І. Гаврилюк, В. Я. Кізяков // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2007. – Вип. 16. – С 5-8;
- 60) Маловічко, В. В. Використання системи контролю стану стрілочних двигунів по кривій споживання струму в ремонтно-технічних ділянках / В. В. Маловічко, В. І. Гаврилюк, М. І. Решетняк // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2007. – Вип. 18. – С 11-15;
- 61) Маловічко В. В. Підвищення експлуатаційної надійності колійних пристроїв електричної централізації / В. В. Маловічко, В. І. Гаврилюк // Вісник Дніпропе-

тровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна – 2007. – Вип. 15. – С. 11-15;

- 62) Маловічко В. В. Підвищення ефективності технічного обслуговування стрілочних переводів шляхом автоматизованого контролю їх параметрів: дис. канд. техн. наук: 05.22.20 / Маловічко Володимир Володимирович. – Д., 2011. – 177 с.;
- 63) Мандыч Н. К. Ремонт электродвигателей: Пособие электромонтеру / Н. К. Мандыч. – К.: Техника, 1989. – 152 с. – (Библиотека рабочего);
- 64) Машиностроение. Энциклопедия / Ред. совет: К. В. Фролов (пред.) и др. – М.: Машиностроение. Измерения, контроль, испытания и диагностика. Т. III-7 / В. В. Клюев, Ф. Р. Соснин, В. Н. Филинов и др.; Под общ. ред. В. В. Клюева, 1996 – 464 с., ил.;
- 65) Меньшиков Н. Я. Эксплуатационная надежность элементов систем железнодорожной автоматики и телемеханики. / Н. Я. Меньшиков, А. И. Королев, Р. Ш. Ягудин – М.: Транспорт, 1971. – 120 с.;
- 66) Методы диагностики неисправностей асинхронных электродвигателей / Школа для электрика – <http://electricalschool.info/maschiny/109-metody-diagnostiki-neispravnostejj.html> – Назва з екрану. – Дата доступу: 12.05.2015 р.;
- 67) Микропроцессорная система технической диагностики устройств СЦБ / И. Е. Дмитренко, А. К. Пак, А. В. Пунчак., Т. Я. Тихая // Автоматика, телемеханика и связь. 1998. – №10. –С. 11-13;
- 68) Моделювання електромеханічних систем: Підручник / Чорний О. П., Луговой А. В., Родькін Д. Й., Сисюк Г. Ю., Садовой О. В. – Кременчук, 2001. – 410 с.;
- 69) Мозгалеvский А. В. Вопросы проектирования систем диагностирования. / А. В. Мозгалеvский. А. Н. Койда – Л. Энергоатомиздат, 1985 – (Б-ка по автоматике). (681.5 М74);
- 70) Надійність техніки. Моделі відмов: основні положення. ДСТУ 3433-96 – К.: Держстандарт України, 1996;
- 71) Новиков Л.В. Основы вейвлет-анализа сигналов: Учебное пособие. Санкт-Петербург. 1999. – 152 с., ил.;

- 72) Новые методы диагностики асинхронных двигателей / А. И. Титко, В. М. Андриенко, А. В. Худяков, М. С. Гуторова // Институт электродинамики НАН Украины – 2014. Режим доступа: http://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/PIED_2014_37_13.pdf. – Назва з екрану. – Дата доступу: 10 грудня 2014 р.;
- 73) Огарь В. А. Уточнение характеристик асинхронных двигателей с учетом изменения их параметров в пусковых режимах / Огарь В. А. Калинов А. П. // Вестник КрНУ имени Михаила Остроградского – Кр-г: КрНУ, 2006 – Вип. 3 (39) Ч 1. – С. 45-49.
- 74) Осипов О. И. Частотно-регулируемый асинхронный электропривод: Учебное пособие по курсу «Типовые решения и техника современного электропривода» – М.: Издательство МЭИ, 2004. – 80 с.;
- 75) Основы технической диагностики: [В 2-х кн. / Под ред. П. П. Пархоменко]. – М.: Энергия, 1968 – 224 с.;
- 76) Павлов Б. В. Кибернетические методы технического диагноза. – М.: Машиностроение, 1966 – 151 с. (681.5 П12);
- 77) Парфенов В. И. Анализ дефектов и возможности диагностики стрелочных переводов / В. И. Парфенов, А. П. Разгонов, М. А. Ковригин // Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта им. акад. В. Лазаряна. – Д., 2007. – Вып. 15. – С 16-18;
- 78) Пат. №31735 Україна В61L 7/00.Спосіб дистанційного контролю та діагностування стрілочних переводів з двигуном постійного струму. / Маловічко В. В., Гаврилук В. І. // заявник та патентовласник Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – заявлено 29.10.2007; опубл. 25.04.2008, Бюл. №8;
- 79) Пат. 50854 Україна, МПК В61L 25/00 Спосіб діагностування стрілочних переводів / Маловічко М. В., Буряк С. Ю., Гаврилук В. І. (Україна); заявник та патентовласник Дніпропетровський національний університет залізничного тран-

- спорту ім. акад. В. Лазаряна. – № u 2009 13569; заявл. 25.12.2009; опубл. 25.06.10, Бюл. № 12;
- 80) Пат. 69057 А Україна МПК 7B61L7/00. Спосіб дистанційної діагностики стрілочного переводу з електроприводом змінного струму. / Парфьонов В. І., Руденко О. Б. // заявник та патентовласник Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – заявлено 04.11.2003; опубл. 16.08.2004, Бюл. № 8;
- 81) Пат. 8530 Україна МПК 7B61L7/08. Парфьонов В. І., Руденко О. Б.; заявник та патентовласник Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – заявлено 24.12.2004; опубл. 15.08.2005, Бюл. № 8;
- 82) Переборов А. С. Телеуправление стрелками и сигналами: Учебник для вузов железнодорожного транспорта / А. С. Переборов, А. М. Брылеев, В. Ю. Ефимов, И. М. Кокурин, Л. Ф. Кондратенко.; под редакцией А. С. Переборова. – 3-е издание, переработанное и дополненное – М.: Транспорт, 1981. – 390 с.;
- 83) Перникис Б. Д., Ягудин Р. Ш. Предупреждение и устранение неисправностей в устройствах СЦБ. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1994. – 254 с.;
- 84) Перникис Б. Д., Ягудин Р. Ш. Поиск и устранение неисправностей в устройствах СЦБ. – М.: “Транспорт”, 1977 – 160 с.;
- 85) Правила технічної експлуатації залізниць України. К.: Міністерство транспорту України, 2003. – 133 с.;
- 86) Практичні рекомендації з проведення комісійних місячних оглядів П69 колій, стрілочних переводів, пристроїв СЦБ та зв'язку, контактної мережі на станціях залізниць України / Розробники: О. Ф. Вергун та інші. ЦД 0032 – К.: Транспорт України, 2000. – 72 с., іл.;
- 87) Пристрої сигналізації, централізації та блокування. Технологія обслуговування. ЦШ/0042. – К. : Укрзалізниця, 2006. – 461 с.;
- 88) Проектирование электрических машин: ученик для вузов / Под. ред. И. П. Копылова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство Юрайт, 2011. – 767 с. – (Основы наук);

- 89) Проектирование электрических машин: Учебник для вузов / Под ред. О. Д. Гольдберга. – М.: Высш. шк., 1984. – 431 с., ил.;
- 90) Резников Ю. М. Стрелочные электроприводы электрической и горочной централизации. / Ю. М. Резников // Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1975. – 152 с.;
- 91) Резников Ю. М. Стрелочные электроприводы электрической централизации. / Ю. М. Резников // Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1966. – 141 с.;
- 92) Резников Ю. М. Электроприводы железнодорожной автоматики и телемеханики. – М.: Транспорт, 1985. – 288 с.;
- 93) Саидов С. А. Автоматизированная система измерения и контроля параметров электродвигателей постоянного тока стрелочных электроприводов. / С. А. Саидов, О. Г. Морозов, Н. А. Палахов, Н. В. Дорогов // Автоматика, телемеханика и связь. – 1996, №6 – с. 28-30;
- 94) Сапожников В. В. Дискретные устройства железнодорожной автоматики телемеханики и связи. / Ю. А. Кравцов., Вл. В. Сапожников – М.: Транспорт, 1988. – 254 с.;
- 95) Сапожников В. В. Основы технической диагностики: Учебное пособие для студентов вузов ж-д. транспорта / В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников. – М.: Маршрут, 2004. – 318 с.;
- 96) Сапожников В. В. Сертификация и доказательство безопасности систем железнодорожной автоматики / В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, В. И. Талалаев – М.: Транспорт, 1997. – 288 с.;
- 97) Сапожников В. В. Техническая эксплуатация устройств и систем железнодорожной автоматики и телемеханики: Учебное пособие для вузов железнодорожного транспорта. / Сапожников Вл. В., Борисенко Л. И., Каменев А. И.; под редакцией Вл. Сапожникова. – М.: Издательство «Маршрут», 2003. – 336 с.;
- 98) Сборник типовых технически обоснованных норм времени на текущий ремонт и содержание устройств электрической централизации стрелок и сигналов составлен работниками Нормативно-исследовательской станции Главного управления сигнализации и связи МПС А. П. Чекванским, П. Я. Петровым,

- О. Н. Розановой, Н. В. Суренским, М. Д. Адоньевым и Р. Д. Соляковой. М.: Транспорт, 1966. – 207 с.;
- 99) Системы автоматики и телемеханики на железных дорогах мира / [Энрико Андерс, Томас Берндт, Игорь Долгий и др.]; под ред. Грегора Теега, Сергея Власенко. – : Интекст, 2010. – 488 с., 389 ил., 23 табл.;
- 100) Сороко В. И. Автоматика, телемеханика, связь и вычислительная техника на железных дорогах России: Энциклопедия: в 2 т. Т. 1 / В. И. Сороко, В. М. Кайнов, Г. Д. Казиев. – М.: НПФ «Планета», 2006. – 736 с, ил.;
- 101) Сороко В. И. Аппаратура железнодорожной автоматики и телемеханики. / В.И. Сороко, Е.Н. Розенберг: Справочник: в 2 кн. Кн.2. – 3-е изд. – М.: НПФ «ПЛАНЕТА», 2000. – 1008 с.;
- 102) Сороко В. И., Милюков В. А. Аппаратура железнодорожной автоматики и телемеханики: Справочник: в 2 кн. Кн. 1 – 3-е изд. – М.: НПФ «ПЛАНЕТА», 2000 – 960 с.;
- 103) Сороко В. И., Разумовский Б. А. Аппаратура железнодорожной автоматики и телемеханики: Справочник. В 2-х томах. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1981 – 352 с.;
- 104) Средства централизации, сигнализации, блокировки.
<http://gogaforever.narod.ru/READY/Data/11-2.htm> – Назва з екрану. – Дата доступу: 20.04.2015 р.;
- 105) Станционные системы автоматики и телемеханики: Учебн. для вузов ж.-д. трансп. / Вл. В. Сапожников, Б. Н. Елкин, И. М. Кокурин и др.; Под ред. Вл. В. Сапожникова. – М.: Транспорт, 2000. – 432 с.;
- 106) Терентьев В. Л. Комплекс перегонных и станционных технических средств. / В. Л. Терентьев // Автоматика, связь, информатика. – 2000. – №9. – С. 41-43;
- 107) Технические средства диагностирования: Справочник / В. В. Клюев, П. П. Пархоменко, В. Е. Абрамчук и др.; Под общ. ред. В. В. Клюева. – М.: Машиностроение, 1989 – 671 с., ил.;
- 108) Федотов А. Е. Техническое обслуживание централизованных стрелок. / А. Е. Федотов, О. К. Кочмарская. – М. : Транспорт, 1988. – 96 с.;

- 109) Филлипс Ч. Системы управления с обратной связью. / Филлипс Ч., Харбор Р – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2001 – 616 с.: ил.;
- 110) Черных И. В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB SimPowerSystems и Simulink / И. В. Черных. – М.: ДМК Пресс, 2008. – 288 с.;
- 111) Чиликин М. Г. Общий курс электропривода. / М. Г. Чиликин, А. С. Сандлер – М.: Энергоиздат, 1981. – 576 с., ил.;
- 112) Швец О. М. Усовершенствование методов эксплуатации парков электродвигателей железнодорожных стрелочных переводов средствами интеллектуальных систем: дис...канд. техн. наук: 05.22.20 / Швец Олег Михайлович. – Д., 2012. – 158 с.;
- 113) Albahari, J. C# 5.0 in a Nutshell: The Definitive Reference / J. Albahari, B. Albahari // 5th Edition. – USA, O'Reilly Media, Inc., 1005 Gravenstein Highway North : Sebastopol, 2012. – 1049 p.
- 114) Anil K. Jain, Jianchang Mao, K. M. Mohiuddin. Artificial Neural Networks: A Tutorial. Computer, Volume 29 Issue 3, March 1996, pp 31-44;
- 115) Bebis G. Optimal feed-forward neural network architectures / G. Bebis, M. Georgiopoulos. – Orlando, FL 32816 USA.: Department of Electrical & Computer Engineering, 1994;
- 116) Beucher O. Introduction to MATLAB & Simulink : a project approach / O. Beucher, M. Weeks. – 3-rd ed., – Hingham, Massachusetts New Delhi: Infinity Science Press LLC, 2008. – 390 p.;
- 117) Buryak S. Yu. Mathematical modeling of AC electric point motor / S. YU. Buryak // Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport. – 2014. – № 2 (50). – P. 7–20;
- 118) Chaparro Luis F. Signals and Systems Using MATLAB / Luis F. Chaparro // Department of Electrical and Computer Engineering University of Pittsburgh. – Oxford: Elsevier, 2011. – 752 p.;
- 119) Chaturvedi Devenndra K. Modelinng and simulation of systems using MATLAB and Simulink. – New York: CRC Press Taylor & Francis Group, 2010. – 711 p.;

- 120) Corinthios Michael. Signals, Systems, Transforms, and Digital Signal Processing with MATLAB. / Michael Corinthios. – Boca Raton: CRC Press Taylor & Francis Group, 2009. – 1316 p.;
- 121) Giurgiutiu V. Micromechatronics modeling, analysis, and design with MATLAB / Victor Giurgiutiu, Sergey Edward Lyshevski. – 2-nd ed. – New York : CRC Press Taylor & Francis Group, 2009. – 920 p.;
- 122) Karris Steven T. Introduction to Simulink with engineering applications / Steven T. Karris. – 2-nd ed. – Orchard Publications, 2008. – 716 p.;
- 123) Leis John William. Digital Signal Processing Using MATLAB for Students and Researchers / John William Leis // University of Southern Queensland. – New Jersey: John Wiley & Sons, 2011. – 382 p.;
- 124) Lui J. Advanced Sliding Mode Control for Mechanical Systems. Design, Analysis and MATLAB Simulation / J. Lui, X. Wang – Beijing : Tsinghua University Press, 2012. – 366 p.;
- 125) Lyon, R. H. Machinery Noise and Diagnostics / R. H. Lyon. – 80 Montvale Avenue, Stoneham, MA 02180. – USA, Butterworth Publishers, 1987. – 299 p.
- 126) MathWorks. Accelerating the pace of engineering and science. Documentation. Signal Processing Toolbox. Waveforms. Signal Generation. Mode of access: <http://www.mathworks.com/help/signal/ref/sptool.html> – Title from the screen. . – Date of Access: 04 December 2014;
- 127) Ong Chee-Mun. Dynamic simulation of electric machinery using MATLAB/Simulink. / Chee-Mun Ong. – Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall PTR, 1998. – 627 p.;
- 128) Swanson D. C. Signal Processing for Intelligent Sensor Systems with MATLAB, Second Edition / D. C. Swanson. – Boca Raton : CRC Press Taylor & Francis Group, 2012. – 664 p.;
- 129) Tervo R. J. Practical Signals Theory with MATLAB Applications / R. J. Tervo. – Hoboken, New Jersey: Wiley, 2014. – 486 p.;
- 130) Theeg G. Railway Signalling and Interlocking. International Compendium / G. Theeg, S. Vlasenko. – Hamburg: Eurailpress, 2009. – 448 p.;

- 131) The C# Programming Language / A. Hejlsberg, M. Torgersen, Sc. Wiltamuth, P. Goide // 3rd Edition. – Addison Wesley, 2008. – 350 p.
- 132) Thomson W. T. A Review of On-Line Condition Monitoring Techniques for Three-Phase Squirrel-Cage Induction Motors -Past Present and Future. / W. T Thomson // Keynote address at IEEE Symposium on Diagnostics for Electrical Machines, Power Electronics and Drives, Gijon, Spain, Sept. 1999, pp 3-18;
- 133) Thomson W. T., Development of a tool to detect faults in induction motors via current signature analysis / W. T. Thomson., M. Fenger, I. Culbert, G Stone // Electric Motor Predictive Maintenance Conference, August 2002. – Mode of access: <http://www.irispower.com/pdf/newtechpapers/Develop-ent%20of%20a%20tool%20to%20detect%20faults%20in%20induction%20motors%20via%20Current%20Signature%20Analysis.pdf>. – Title from the screen. – Date of Access: 04 December 2014;
- 134) Thomson W. T. Motor current signature analysis to detect faults in induction motor drivers – fundamentals? Data interpretation? And industrial case histories / W. T. Thomson, R. J. Gilmore // Proceeding of the thirty second turbomachinery symposium. – 2003. – Mode of access: <http://turbolab.tamu.edu/proc/turboproc/T32/t32-16.pdf>. – Title from the screen. – Date of Access: 04 December 2014.

Додаток А

Застосування апарата штучних нейронних мереж в електроприводі

Асинхронний електропривод є досить складним об'єктом аналізу в силу суттєвої нелінійності і нестационарності параметрів двигунів. При післяремонтних випробуваннях електричних машин істотно важливим є визначення величини втрат і їх складових, при синтезі САУ - параметрів схеми заміщення, змінних стану.

Розглянутий у даному прикладі підхід заснований на використанні апроксимаційних властивостей нейронних мереж.

Рівняння електричної рівноваги асинхронної машини, записане у векторній-матричній формі, має вигляд

$$p\bar{I} = L^{-1} \left[\bar{U} - (R + p\varphi_{\delta} \frac{\partial L}{\partial \varphi_{\delta}}) \bar{I} \right] \quad (\text{A.1})$$

де $\bar{I}, \bar{U}$ – вектори струму і напруги фаз статора; R, L - матриці опорів і індуктивностей фаз, φ_{δ} – електричний кут поля ротора; $p = \frac{d}{dt}$ – оператор диференціювання; $\frac{\partial L}{\partial \varphi_p}$ – ангулярна зміна матриці індуктивностей.

При живленні асинхронного двигуна від джерела симетричної несинусоїдальної напруги з відомим гармонійним спектром, що виражається співвідношенням

$$u(t) = U_1 + \Delta U_1 = \sin \psi + \delta_2 \sum_{i=2}^N \delta_i \sin(i\psi), \quad (\text{A.2})$$

де $u(t) = \frac{U(t)}{U_1}$, $\psi = \omega t + \gamma$, $\delta_2 = \frac{U_j}{U_1}$, $\delta_i = \frac{U_i}{U_1}$.

Струм фази являється нелінійною функцією параметрів машини і фазної напруги. Розкладання в ряд Фур'є кривої фазного струму може бути подане у вигляді:

$$I(t) = I_1 + \Delta I = I_1(\sin(\psi + \varphi_1) + \lambda_2 \sum_{m=2}^M \lambda_m \sin(m\psi + \varphi_m)), \quad (\text{A.3})$$

де $\lambda_2 = \frac{I_r}{I_1}$, $\lambda_i = \frac{I_m}{I_1}$.

При необхідному козванні з виразів (A.1, A.2, A.3) витікає рівність:

$$\begin{bmatrix} R \\ \dots \\ L \end{bmatrix} = F(\vec{\Delta}, \vec{\Lambda}), \quad (\text{A.4})$$

де $\vec{\Delta} = [\delta_2, \delta_3, \dots, \delta_N]$, $\vec{\Lambda} = [\lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_m]$ – вектори амплітуд гармонік напруги та струму фаз, $F(\vec{\Delta}, \vec{\Lambda})$ – матрична функція.

Для апроксимації функції $F(\vec{\Delta}, \vec{\Lambda})$ може застосовуватись трьохшаровий перцептрон, що має по 8 нейронів у вхідному і схованому шарах. Вихід навченої мережі – значення одного з параметрів фази статора. Структура досліджуваної системи наведена на рисунку А.1.

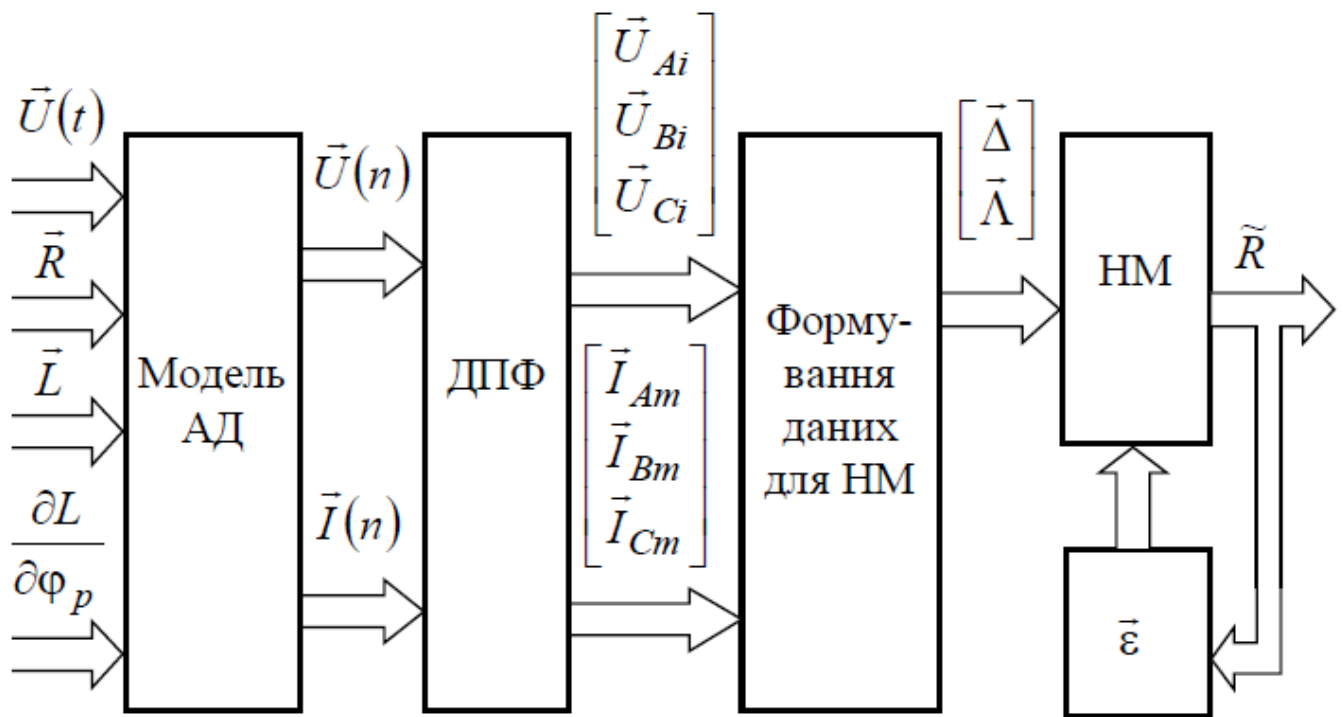


Рис. А.1. Структура системи

Навчання мережі виконувалося за методом зворотного поширення помилки (backpropagation). Інформація для навчання нейронної мережі була отримана за допомогою математичної моделі асинхронного двигуна з короткозамкнутим ротором із несиметричними параметрами обмоток статора. Моделювався усталений режим роботи двигуна, і знімалися значення струмів у фазах статора при несинусоїдальній напрузі живлення, що містила гармоніки з номерами 5 і 7. Для навчання нейронної мережі використовувалися нормовані відповідно до (А.2) і (А.3) значення

амплітуд гармонік струмів, отриманих при різних значеннях активних опорів фаз статора.

На рисунку А.2 показані залежності помилки визначення величини активно-го опору однієї з фаз статора двигуна при різній фазній несиметрії

Як показали обчислювальні експерименти, помилка визначення параметрів лінійно зростає від 6.025% до 6.42% при збільшенні помилки навчання мережі відповідно від 0.0008 до 0.0009. Ускладнення структури мережі з метою одночасного визначення кількох параметрів при збереженні вимог до точності їхнього визначення, приводять до істотного росту довжини навчальної послідовності і часу навчання. Виходячи з цього, перевагу було віддано нейромоделі, що містить окремі мережі для ідентифікації кожного з параметрів моделі (А.3).

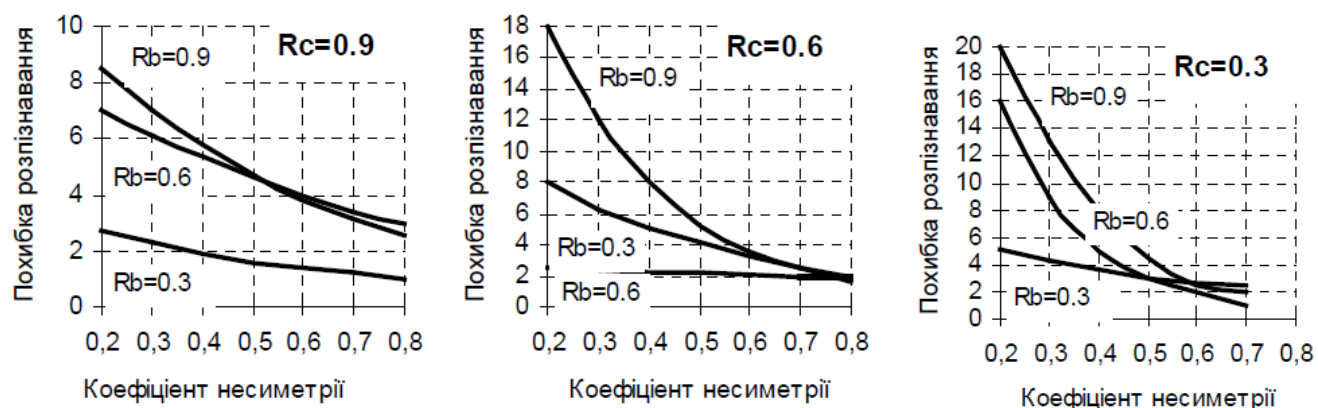


Рис. А.2. Залежності помилки визначення величини активного опору фази А статора при різній фазній несиметрії

Як видно з графіків, точність визначення параметрів істотно залежить від величини несиметрії, що зв'язано з наявністю ряду факторів, у тому числі:

- зміною амплітуд вищих гармонік струмів фаз статора, що не враховуються при навчанні мережі;
- наявністю, внаслідок несиметрії двигуна, змінної складової в кривій швидкості;
- появою, внаслідок ангуляроної зміни взаємних індуктивностей, у спектрі струму гармонік із частотами, не кратними частоті напруги живлення.

Додаток Б

Акти впровадження результатів дисертаційної роботи

ЗАТВЕРДЖУЮ

Перший проректор Дніпропетровського
національного університету залізничного
транспорту імені академіка В. Лазаряна

Б. Є. Боднар

«26» травня 2015 р.

АКТ

Про використання результатів дисертації Буряка Сергія Юрійовича
«УДОСКОНЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ОБСЛУГОВУВАННЯ
ЦЕНТРАЛІЗОВАНИХ СТРІЛОК З ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ ЗМІННОГО
СТРУМУ»

м. Дніпропетровськ

«26» травня 2015 р.

Цей акт складений про те, що у навчальному процесі Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна при підготовці спеціалістів та магістрів за спеціальністю 7(8).05020203 «Автоматика та автоматизація на транспорті» використовуються наукові та практичні результати, що отримані в дисертації Буряка С. Ю., а саме:

1. Теоретичні результати дисертації використовуються при викладанні дисципліни «Станційні системи автоматики».

2. Результати дисертації використовуються при виконанні дипломних проєктів та дипломних магістерських робіт спеціальності 7(8).05020203 «Автоматика та автоматизація на транспорті».

декан факультету ТК
д.т.н., професор



В. В. Скалозуб

завідувач кафедри
«Автоматика, телемеханіка
та зв'язок», д.т.н., професор



В. І. Гаврилук

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з наукової роботи
Дніпропетровського національного
університету залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна



С. В. Мямлін

«11» травня 2015 р.

АКТ

про використання результатів дисертації Буряка Сергія Юрійовича
«УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ОБСЛУГОВУВАННЯ
ЦЕНТРАЛІЗОВАНИХ СТІЛОК З ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ ЗМІННОГО
СТРУМУ В УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ»

м. Дніпропетровськ

«11» травня 2015 р.

Дніпропетровським національним університетом залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна виконано наступні науково-дослідні роботи, в яких використано результати дисертації Буряка С. Ю. «Удосконалення технології обслуговування централізованих стрілок з електроприводом змінного струму в умовах експлуатації»:

- «Дослідження і розробка інтегрованої комп'ютерної системи оптимізації перевезень, енергозбереження, безпеки руху та інтелектуалізація процедур управління залізничним транспортом України» (№ держреєстрації 0114U005164);

- «Розробка системи безперервного автоматизованого діагностування стрілочних переводів централізованих стрілок в умовах експлуатації на станції» (№ держреєстрації 0110U000330);

- «Удосконалення методів оцінки та підвищення функціональної безпеки в експлуатаційній роботі на залізницях» (№ держреєстрації 0112U003560).

Начальник НДЧ
д. т. н., професор

Д. М. Козаченко



МІНІСТЕРСТВО ІНФРАСТРУКТУРИ УКРАЇНИ
 ДЕРЖАВНА АДМІНІСТРАЦІЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ
 УКРАЇНИ
 ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО
 "ОДЕСЬКА ЗАЛІЗНИЦЯ"
ШЕВЧЕНКІВСЬКА ДИСТАНЦІЯ СИГНАЛІЗАЦІЇ ТА ЗВ'ЯЗКУ

20705, Черкаська обл., м.Сміла-5, вул. Московська, 8-а Тел. (04733) 5-22-35, Факс (04733) 5-36-88

м. Сміла

13 листопада 2015

АКТ

про використання результатів кандидатської дисертаційної роботи Буряка Сергія Юрійовича на тему «Удосконалення технології обслуговування централізованих стрілок з електроприводом змінного струму в умовах експлуатації» при застосуванні під час виконання перевірок діючих стрілочних переводів.

Цей акт складений про те, що в процесі виконання дослідних випробувань на стрілочних переводах з електроприводами змінного струму в період з 04.05.2015 р. по 01.06.2015 р. було встановлене наступне:

1. Застосування розробленої методики діагностування стрілочних переводів з електроприводом змінного струму дозволяє дистанційно визначати пошкодження стрілочних переводів в роботі стрілочного електродвигуна змінного струму, механізму електроприводу та стрілки;
2. Завдяки застосуванню вимірювального апаратно-програмного комплексу значно скорочується час на пошук несправності, яка виникла під час експлуатації, а також з'являється можливість прогнозувати поступово виникаючі пошкодження;
3. При використанні апаратно-програмного комплексу для діагностування поточного стану стрілочних переводів з електроприводом змінного струму з'являється додаткова можливість перевіряти їх фактичний стан на даний момент часу та відстежувати дії електромеханіків щодо усунення недоліків в їх роботі при обслуговуванні;
4. Результати, отримані в дисертаційній роботі та підтверджені в умовах експлуатації, можна використовувати при навчанні працівників.

В.о. начальника дистанції

Старший електромеханік

Л.І.Кусайко

А.В.Гордовий

