

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту  
імені академіка В. Лазаряна

**БУРЯК СЕРГІЙ ЮРІЙОВИЧ**

УДК 656.25:156.25

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

Спеціальність 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту

**АВТОРЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Дніпропетровськ – 2015

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна Міністерства освіти і науки України.

**Науковий керівник:** доктор фізико-математичних наук, професор  
***ГАВРИЛЮК Володимир Ілліч,***  
Дніпропетровський національний університет  
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна,  
завідувач кафедрою «Автоматика, телемеханіка та зв'язок»

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор  
***БОЙНИК Анатолій Борисович,***  
Український державний університет залізничного  
транспорту, завідувач кафедрою «Автоматика і  
комп'ютерне телекерування рухом поїздів»

кандидат технічних наук, доцент  
***БАЛАХОНЦЕВ Олександр Васильович,***  
Національний гірничий університет, доцент кафедри  
«Електропривод»

Захист відбудеться « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2015 р. о \_\_\_\_ годині \_\_\_\_ хвилин на засіданні спеціалізованої вченої ради Д08.820.02 при Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна за адресою: 49010, м. Дніпропетровськ, вул. Лазаряна, 2, ауд. 314.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна за адресою: 49010, м. Дніпропетровськ, вул. Лазаряна, 2

Автореферат розісланий « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2015 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради

\_\_\_\_\_ І. В. Жуковицький

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Безвідмовна робота залізничного транспорту значною мірою залежить від своєчасного та якісного технічного обслуговування пристроїв управління рухом поїздів. Стрілочний перевід є одним з найбільш відповідальних пристроїв залізничної автоматики, що працює у екстремально складних умовах експлуатації. Існуюча технологія періодичного обслуговування не забезпечує оперативного виявлення раптово виникаючих пошкоджень, що викликає значну затримку у поїзній роботі та може привести до аварійних ситуацій. Зменшення періоду планово-попереджувального обслуговування стрілок веде до значних збільшень експлуатаційних витрат, але не забезпечує необхідного ефекту. Очевидним рішенням даної проблеми може бути впровадження автоматизованої системи контролю параметрів стрілочного переводу, що використовується додатково до існуючої планово-попереджувальної системи обслуговування. Перевагами такої системи є зменшення впливу людського фактору на результати контролю, можливість своєчасного визначення передвідмовного стану, зберігання результатів поточного контролю у вигляді електронних журналів та ін. Додатково, скорочується час перебування працівників в зоні руху поїздів, що є важливим з точки зору безпеки проведення робіт. Але автоматизований дистанційний контроль параметрів стрілочних переводів змінного струму до сих пір практично не розглядався.

**Актуальність роботи.** За діючою методикою планово-попереджувальних заходів з усунення та випередження появи несправностей передбачено проведення періодичного обстеження, яке виконується відповідно до складеного графіка. До процесу технічного обслуговування входить контроль основних параметрів апаратури залізничної автоматики та її регулювання 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 витрати часу, виконання операцій в ручному режимі та значний 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 визначення працівником показань при вимірюванні робочого струму і струму роботи стрілки на фрикцію. Удосконалення технології обслуговування стрілочних переводів можливе шляхом автоматизації визначення їх параметрів, яке має забезпечити безперервну перевірку і аналіз технічного стану стрілочних переводів, а при виявленні несправності – визначити її без втручання людини і відразу сповістити про це працівників. Проблема автоматизації обслуговування стрілочних переводів в умовах експлуатації стає ще більш актуальною в умовах впровадження швидкісного руху поїздів.

Таким чином, удосконалення технології обслуговування стрілочних переводів шляхом автоматизації визначення їх параметрів дозволить підвищити

рівень ефективності технічного обслуговування централізованих стрілок без вимикання їх з експлуатації та зменшити експлуатаційні витрати.

**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 визначення параметрів 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 електромеханічних характеристик стрілочного електроприводу 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 короткозамкненим 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 вимірних за допомогою аналого-цифрового перетворювача (АЦП) результатів вимірювання часової залежності струму стрілочного переводу.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає у розробці нових науково обґрунтованих методів та подальшому розвитку існуючих способів удосконалення технології обслуговування стрілочних переводів з електроприводом змінного струму шляхом автоматизації визначення їх параметрів, 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 автоматизований метод визначення параметрів стрілочних переводів без вимкнення стрілок з експлуатації, який може використовуватись в системах електричної та гіркової централізації. 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. 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.

Усі положення та результати, що виносяться на захист дисертації, приведені в роботах [1-8], які надруковані у відкритій пресі. Дисертантом опубліковано особисто роботи з розробки імітаційної моделі стрілочного електропривода та розрахунку параметрів стрілочних переводів з проведенням моделювання їх роботи та результатами математичного моделювання [5, 7]. В роботах, опублікованих у співавторстві, дисертанту належать: визначення факторів і причин, які впливають на роботу стрілочних переводів, вибір діагностичних ознак; визначення чисельних характеристик діагностичних ознак, необхідних для виявлення відмов стрілки; розробка переліку відмов та проведення експериментальних досліджень безпосередньо в умовах експлуатації [2]; статистична обробка результатів досліджень, 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 [4]; на основі проведеного аналізу технічних перевірок стрілочних електричних приводів, що виконуються під час періодичного огляду пристроїв залізничної автоматики на станції запропоновано структурну схему та алгоритм функціонування автоматизованого пристрою діагностування стрілочного переводу, що дозволяє проводити технічний контроль без виключення стрілок з централізації [1]; запропоновано спосіб визначення діагностичних ознак стрілочних електроприводів за допомогою спектрального складу струму [3, 8]; запропоновано спосіб дистанційного визначення діагностичних ознак стрілочних електроприводів за допомогою аналізу частотних складових [6].

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 ХХІ 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).

В повному обсязі дисертація доповідалась на міжкафедральному науковому семінарі кафедр «Автоматика, телемеханіка та зв'язок», «Автоматизований електропривід», «Електропостачання залізниць», «Електрорухомий склад», «Локомотиви», «Станції та вузли», «Управління експлуатаційною роботою», «Фізика» Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна 19.06.2015 р.

**Публікації.** За результатами досліджень опубліковано 16 наукових праць, у тому числі 7 – у наукових журналах і збірниках наукових праць, рекомендованих ВАК України за фахом 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту, з яких 6 – у фахових наукових виданнях, які входять до переліку міжнародних науко-метричних баз, 2 – у журналах тематичних видань галузі, 1 патент на корисну модель, 6 – у матеріалах і тезах міжнародних конференцій.

**Структура й обсяг дисертації.** Повний обсяг викладено на 166 сторінках, і включає 146 сторінок тексту. Дисертаційна робота складається зі вступу, 5 розділів, висновків, списку використаної літератури (134 найменувань) на 14 сторінках, 62 рисунка та 7 таблиць.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

**У вступі** обґрунтована актуальність теми обслуговування стрілочних переводів, сформульована мета та задачі дослідження, а також показано зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами. Сформульовано наукову новизну та практичне значення результатів робіт, наведено відомості про апробації отриманих результатів досліджень та їх публікації.

**У першому розділі** проведено аналіз статистики відмов пристроїв сигналізації для залізниць України за останні п'ять років. Окремо розглянуті питання, що

стосуються відмов стрілочного переводу, серед яких: аналіз причин виникнення відмов, експлуатаційні та технічні вимоги до стрілочних переводів та стрілочних електроприводів, аналіз існуючої технології обслуговування стрілочних переводів та контролю їх параметрів, аналіз сучасних систем контролю та діагностування стрілок.

Значний вклад в розвиток теорії та розробку систем контролю та діагностування стрілочних переводів внесли такі вчені: Ю. М. Резников, А. К. Дмитриев, А. С. Переборов, И. Е. Дмитренко, Р. Ш. Ягудин, Б. Д. Перникис. Серед вітчизняних вчених необхідно відмітити М. М. Бабаєва, А. Б. Бойніка, В. І. Гаврилюка, В. В. Маловічка, В. І. Парфьонова С. О. Радковського, А. П. Разгонова, В. В. Скалосуба, Ю. В. Соболева, М. М. Чепцова, О. М. Швеця та ін.

Стрілочні переводи призначені для спрямування рухомого складу за маршрутом, і тому піддаються значним механічним навантаженням. Існуюча технологія обслуговування ґрунтується на планово-попереджувальному контрольно-профілактичному огляді з виходом обслуговуючого персоналу на колії, пов'язана зі значними експлуатаційними витратами, застосуванням ручної праці; не дозволяє провадити безперервний контроль і своєчасне виявлення можливих дефектів та пошкоджень; не визначає деякі скриті дефекти електромеханічної системи стрілочного електроприводу, їх характер і вид.

Проаналізовано технологію обслуговування стрілок, розглянуто причини виникнення відмов в стрілочних переводах. Зроблено висновок, що подальше підвищення ефективності технічного обслуговування стрілочних переводів доцільно проводити шляхом автоматизації контролю їх стану, що надасть можливість своєчасного визначення відмов та попередження про наближення до передвідмовного стану.

Проведений аналіз існуючих та розроблених методів обслуговування, контролю та діагностування стрілочних переводів та стрілочних приводів дозволив зробити наступні висновки:

- технологія обслуговування стрілок електричної централізації застаріла, оскільки включає в себе велику кількість операцій, що виконуються вручну, на результати вимірювань впливає суб'єктивний фактор обслуговуючого персоналу;

- існуючі методи контролю та діагностування стрілочних електроприводів та стрілочних переводів дозволяють визначати лише деякі види несправностей в стрілочному переводі та стрілочному приводі та не дозволяють прогнозувати їх можливе виникнення;

- контроль технічного стану відбувається за графіком технічного обслуговування через значні періоди часу.

Таким чином, для удосконалення технології обслуговування централізованих стрілок без виключення їх з експлуатації необхідно розробити нові методи та засоби автоматизованого контролю параметрів стрілок на

сучасній елементній базі з використанням комп'ютерно-інтегрованих технологій та можливістю автоматичного визначення відмов. Підвищення безпеки функціонування стрілочних переводів з електроприводом змінного струму шляхом автоматизації діагностування їх параметрів передбачає вирішення наступних завдань:

- проведення аналізу причин виникнення та видів несправностей стрілочних переводів;

- проведення аналізу методів та засобів існуючої технології обслуговування стрілочних переводів

- розроблення математичної моделі електромеханічних процесів стрілочного електроприводу та дослідження роботи стрілочних переводів у справному та несправному стані при різних видах несправностей;

- проведення експериментальних досліджень роботи стрілочних переводів в умовах експлуатації та визначення характерних діагностичних ознак, які можна використовувати для аналізу стану стрілочних переводів з трьохфазними асинхронними двигунами з короткозамкненим ротором в умовах експлуатації;

- розроблення методів та засобів безперервного автоматизованого контролю параметрів та діагностування стрілочних переводів;

- розроблення методів автоматичної обробки результатів контролю параметрів стрілочного переводу;

- розроблення досвідного зразку автоматизованого апаратно-програмного комплексу для контролю параметрів стрілочних переводів.

**У другому розділі** проведено аналітичний огляд літератури та визначено найбільш поширені дефекти стрілочних переводів, виконано їх експериментальне встановлення та зведено в табличний вигляд (табл. 1).

Таблиця 1 – Найбільш поширені дефекти стрілочних переводів

Дефект	Спосіб визначення	Кількість стрілок (марка хрестовини)			
		сезон року			
		I	II	III	IV
1	2	3	4	5	6
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	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)		

## Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5	6
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	3 (1/11)	2 (1/11)		
Пошкодження ротора двигуна	Візуальне спостереження (нерівномірне обертання валу з невластивими звуками при роботі електродвигуна)		1 (1/11)		

Розроблено методику проведення експериментальних досліджень роботи стрілочних переводів в умовах експлуатації, для чого складено схеми вимірювань для випадків підключення до кіл керування електроприводом, безпосереднього підключення до стрілочного електродвигуна та до вимірювального шунта в панелі живлення стрілок.

Проведено аналіз визначення несправностей стрілочних переводів існуючими методами, що використовуються у дистанціях сигналізації та зв'язку, та за запропонованим аналізом залежності струму переводу стрілки у часовій і частотній областях.

Наведено результати експериментальних досліджень на справних стрілочних переводах та переводах з пошкодженнями автоперемикача, вигином гарнітури, засипанням стрілки сипучими матеріалами, упором кореня гостряка, віджимом рамної рейки, понаднормовими люфтами в шарнірних з'єднаннях і вигином робочої тяги, а також несправним ротором, що дозволило за порівнянням експериментальних результатів та теоретичних досліджень визначити характерні ознаки дефектів, які зведені до табличного вигляду (табл. 2).

Встановлено, що автоперемикач з правильним регулюванням контактних колодок має найменший час перемикачання, який дорівнює 0,2 мс та найменшу амплітуду перехідного значення струму – до 1,8 А. При зламі контактної колодки чи пластини порушується надійність контакту час протікання перехідного процесу і перемикачання триває 10 мс зі сплесками струму амплітудою більше 5 А.

Таблиця 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		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, 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 в кінці роботи стрілочного електроприводу	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 електроприводу призводить до невідповідності площини прикладення зусилля, через що збільшується момент опору руху.
Пошкодження кабельної мережі		Втрати витоку 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
Обмерзання контактів автоперемикача	Показники кривої струму відповідають нормальному переводу, але відсутній контроль положення, який з'являється після декількох переводів	Стрілка переводиться без відхилень від норми кривої струму, але контрольне коло не замикається (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. 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
Несиметрія напруги		

Струм в робочому колі стрілочного електроприводу змінного струму при переводі стрілки з упором кореня гостряка і/або відбоєм рамної рейки, збільшується в середньому з 2,1 А до 2,5 А в кінці переводу. При появі люфтів у вузлах кріплення збільшується час переведення стрілки на 0,3-0,8 с.

Несправність ротору проявляється появою значущих частот в діапазоні від 0 до 8 кГц в той час, як для справного стрілочного переводу характерно зосередження значущих частот в діапазоні від 0 до 2 кГц.

Встановлено, що 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.

Таким чином, кожна несправність визначається за своєю власною ознакою, проте, як видно з порівняння ознак дефектів (табл. 2) деякі залежності є дуже схожими, що ускладнює їх автоматизоване розпізнавання.

Серед них: відбій рамної рейки та упор кореня гостряка, забруднення башмаків та засипання стрілочного переводу сипучими матеріалами, неправильне регулювання стрілочного переводу та пошкодження кабельної мережі, обмерзання та забруднення контактів автоперемикача.

**В третьому розділі** розроблено математичну модель стрілочного переводу. Для цього складено систему рівнянь, яка описує роботу стрілочного електроприводу:

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

де  $\vec{u}_S$ ,  $\vec{i}_S$ ,  $\vec{\Psi}_R$  – 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·м<sup>2</sup>) – момент інерції на валу машини, який враховує інерційність як самої машини, так і підведеної до валу інерційності робочого механізму та редуктора,  $\omega_k$  рад/с – кутова швидкість обертання єдиної системи координат,  $\omega_m$  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.

Побудовано структурну схему асинхронного двигуна в межах лінійної частини характеристики (рис. 1), яка може бути використана для аналізу процесів при частотному регулюванні, при регулюванні напруги на статорі та інших дослідженнях роботи асинхронного двигуна.

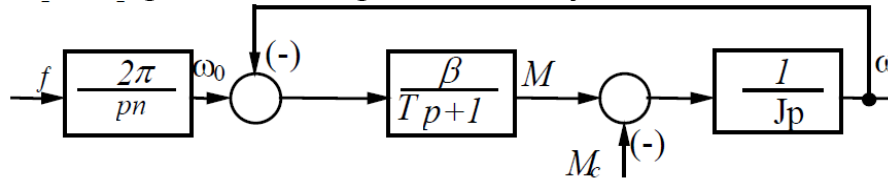


Рисунок 1 – Структурна схема асинхронного двигуна в межах лінійної частини характеристики

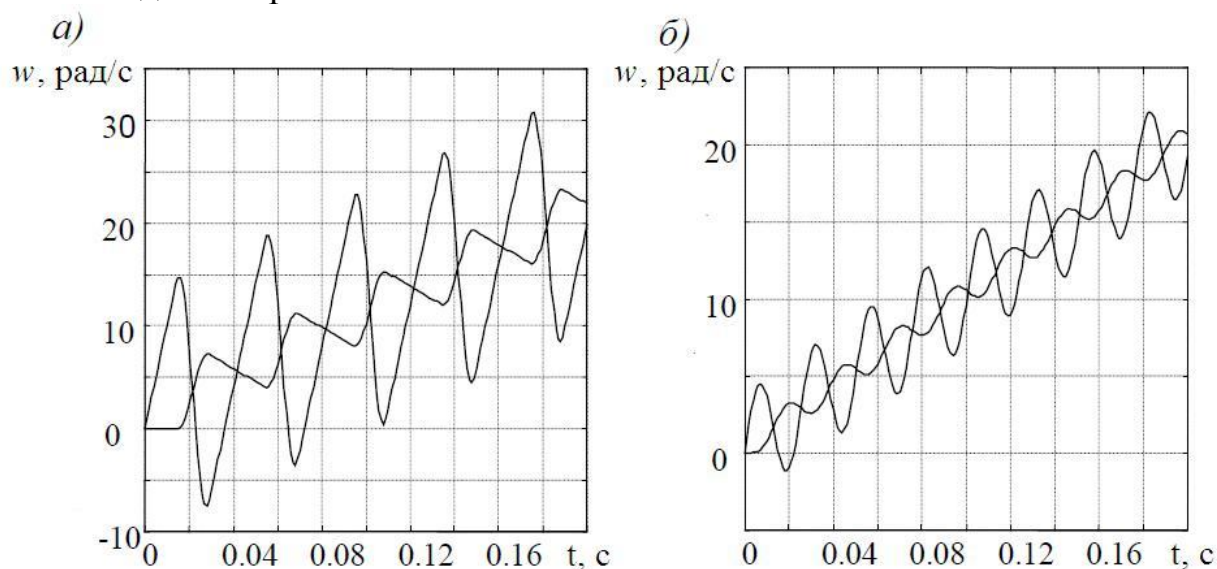
Проведено моделювання зазору в механічній передачі та приведена система диференціальних рівнянь (2), яка описує роботу системи з урахуванням зазору та отримано результати її роботи (рис. 2). Для спрощення роботу механічної передачі електропривода розглянуто у вигляді двомасової механічної системи редуктор-шиберна лінійка.

$$\left\{ \begin{array}{l} J_1 \frac{d\omega_1}{dt} = M_{\text{дв}} - M_{\text{np}}; \\ J_2 \frac{d\omega_2}{dt} = M_{\text{np}} - M_{\text{см}}; \\ \frac{d\Delta\varphi}{dt} = \omega_1 - \omega_2; \\ M_{\text{np}} = \begin{cases} c_{12}(\Delta\varphi - \frac{\delta}{2}), \Delta\varphi \geq \frac{\delta}{2}; \\ 0, |\Delta\varphi| < \frac{\delta}{2}; \\ c_{12}(\Delta\varphi + \frac{\delta}{2}), \Delta\varphi \leq -\frac{\delta}{2}. \end{cases} \end{array} \right. \quad (2)$$

Системи (1, 2) мають досить складне рішення. Крім того, при зміні хоча б одного з параметрів її необхідно вирішувати заново. Тобто, приймаючи до розрахунку стрілочний електропривод іншого типу, стрілочний електродвигун або стрілку, необхідно заново шукати корені рівнянь. Для того, щоб змоделювати роботу стрілочного переводу, не виконуючи розрахунків з пошуку коренів систем рівнянь, була створена імітаційна модель стрілочного переводу (рис. 3), яка працює з урахуванням усіх його фізичних параметрів і реакція якої в повній мірі відповідає реальному аналогу. Обмеженням моделі є робота автоперемикача, визначення положення контрольних лінійок, робота редуктора. Початкові умови роботи моделі – вихідні дані живлення та навантаження на валу стрілочного електроприводу. Граничні умови – максимальна напруга живлення та максимальне навантаження на валу.

В результаті проведення випробувань моделі були отримані залежності для роботи стрілочного переводу як у справному стані в режимі холостого ходу,

при роботі стрілочного електродвигуна на фрикцію та на максимальне навантаження, так і в несправному стані – при відбої рамної рейки, упорі кореня гостряка, забрудненні башмаків та інших випадках порушення нормальної роботи. Приклад роботи на максимальне навантаження у справному стані наведено на рис. 4.



а) з урахуванням зазору; б) без урахування зазору  
Рисунок 2 – Кутові швидкості першої та другої маси:

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.

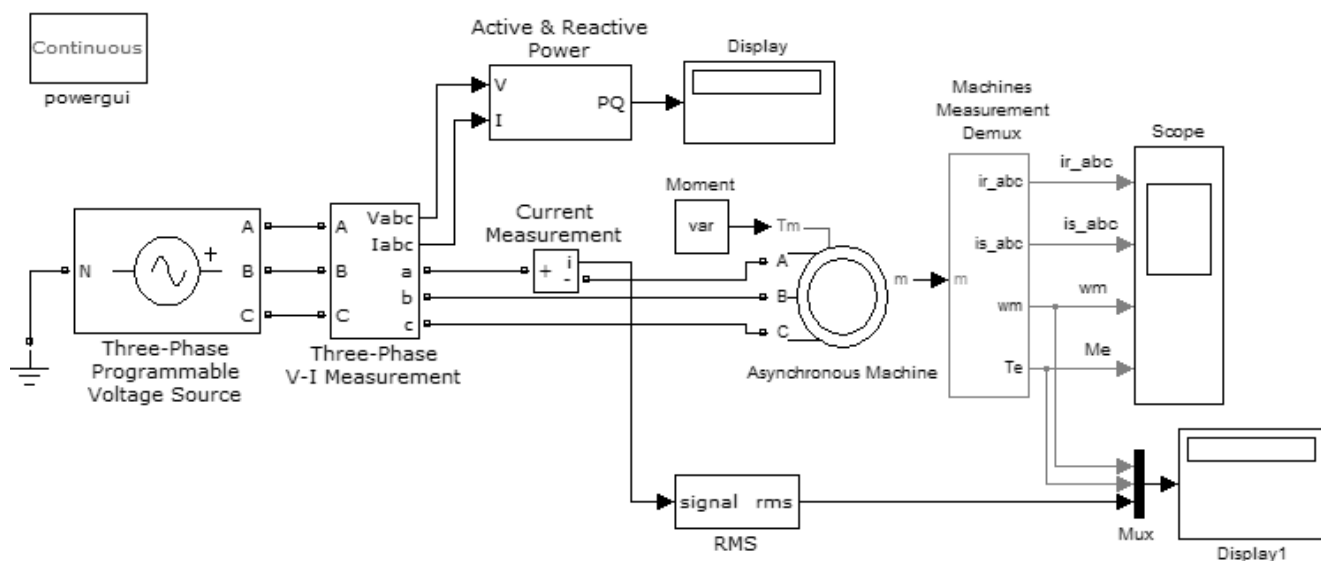
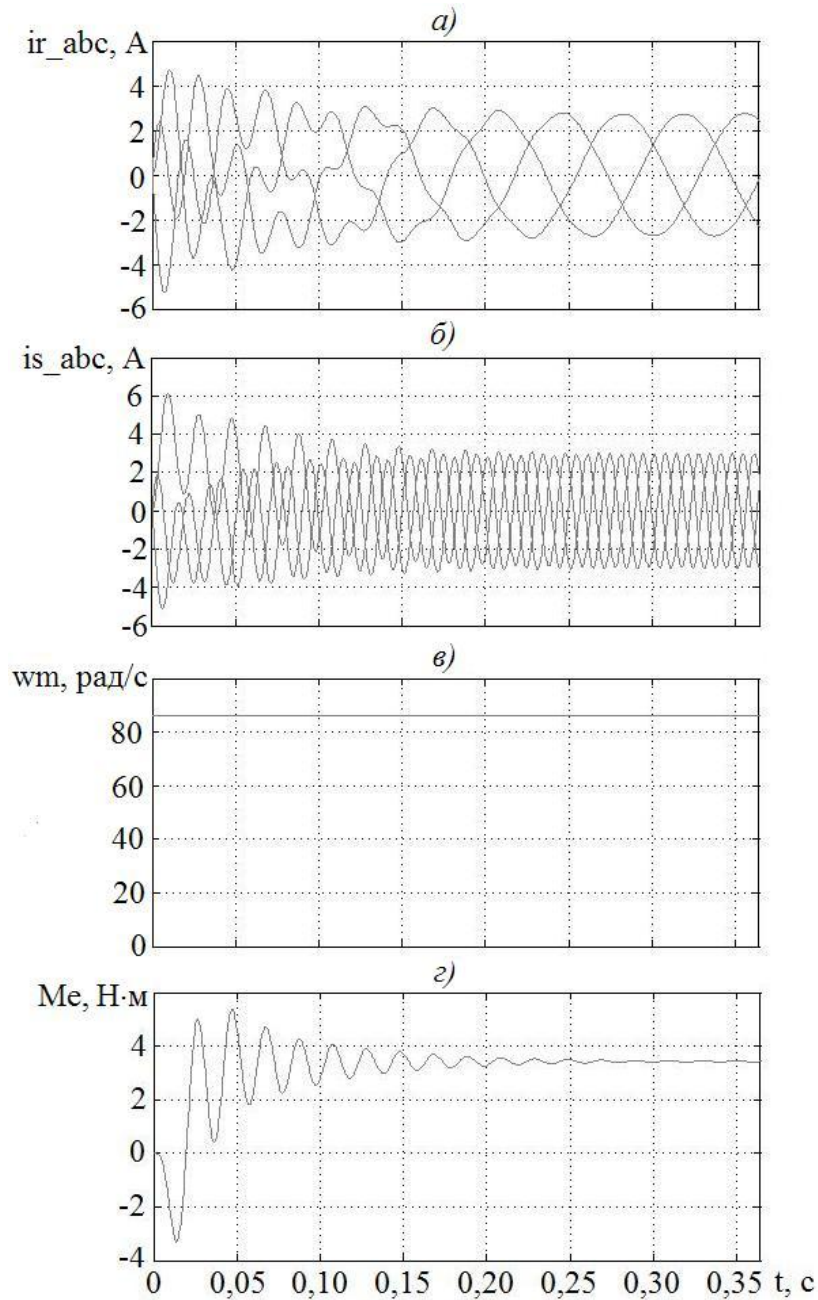


Рисунок 3 – Модель установки для дослідження роботи стрілочного переводу

Порівняння експериментальних даних, отриманих при вимірюваннях струму переводу діючих стрілок, з експериментальними результатами математичного моделювання показало задовільний збіг, а рівень відхилення не перевищує трьох відсотків, що свідчить про достовірність побудованої моделі.

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



*a)* струми обмотки ротора; *б)* струми статора; *в)* кутова частота обертання ротора; *з)* електромагнітний момент.

Рисунок 4 – Робочі характеристики моделі при номінальному навантаженні:

**В четвертому розділі** на основі аналізу проведених досліджень запропоновано метод удосконалення технології обслуговування стрілочних переводів в експлуатації шляхом застосування системи автоматизованого визначення їх параметрів.

Розроблено інформаційну схему пошуку несправностей в схемі керування стрілкою для виконання попереднього аналізу роботи схеми і пошуку відмови в ній. Також за даною схемою можна проводити визначення відмов в роботі стрілок. Скорочення часу на пошук несправностей вдається досягти завдяки застосуванню системи автоматизованого визначення параметрів стрілочних переводів.

Система складається з персонального комп'ютера, аналого-цифрового перетворювача, який підключається до робочого кола стрілочного електроприводу на вимірювальному шунті в панелі живлення стрілок через гальванічну розв'язку, блоку узгодження рівнів сигналів, що надходять з комутаторних кнопок та подаються до блоку реєстрації початку переводу, який в свою чергу сповіщає про це персональний комп'ютер.

Розроблені методика та засоби діагностування є основою системи, яка дозволяє дистанційно визначати поточний стан стрілочного переводу за його параметрами. Перевага системи дистанційного діагностування параметрів стрілочного переводу перед існуючими методами ведення технічного обслуговування полягає у можливості визначати раптові відмови і в режимі реального часу повідомляти про їхню появу, а також за отриманими даними визначати поточний стан стрілочних переводів та прогнозувати їх стан у подальшому, не допускаючи появу поступових відмов.

Приведено принцип функціонування системи пошуку несправностей стрілочних переводів, що представляє собою алгоритм, в основі якого закладено три основні характеристики кривої струму переведення стрілок: час переведення, амплітуда та спектральний склад струму. Стрілочний перевід має дефект у випадку визначення діагностичної ознаки несправної роботи в одній з характеристик кривої струму.

За цим принципом пошуку несправності функціонує і розроблена програма діагностування стрілочних переводів, робоче вікно якої представлено на рис. 5. В основі роботи програми лежить визначення параметрів стрілочних переводів за струмовою кривою, порівняння їх з відомими ознаками дефектів і, у випадку присутності відхилень від справного стану, визначати їх подібність до відомих дефектів. Програма на підставі знайдених відмов формує повідомлення з вказівкою виду дефекту та способу його усунення.

Для реалізації поставленої задачі з застосуванням нейромережових технологій для діагностування стрілочних переводів з електроприводами змінного струму вибрана нейронна мережа на двошаровому перцептроні та розроблено процедуру її навчання. Двошаровий перцептрон реалізує таку функцію:

$$y(n) = f \left[ \sum_{h_1=0}^{H_1} a_{h_1} f \left[ \sum_{i=0}^N a_i x_i(n) \right] \right], \quad (3)$$

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. Для ефективного функціонування автоматичної системи на базі нейронної мережі, необхідно для кожної стрілки поста електричної централізації накопичити статистичну базу відмов кожного типу.

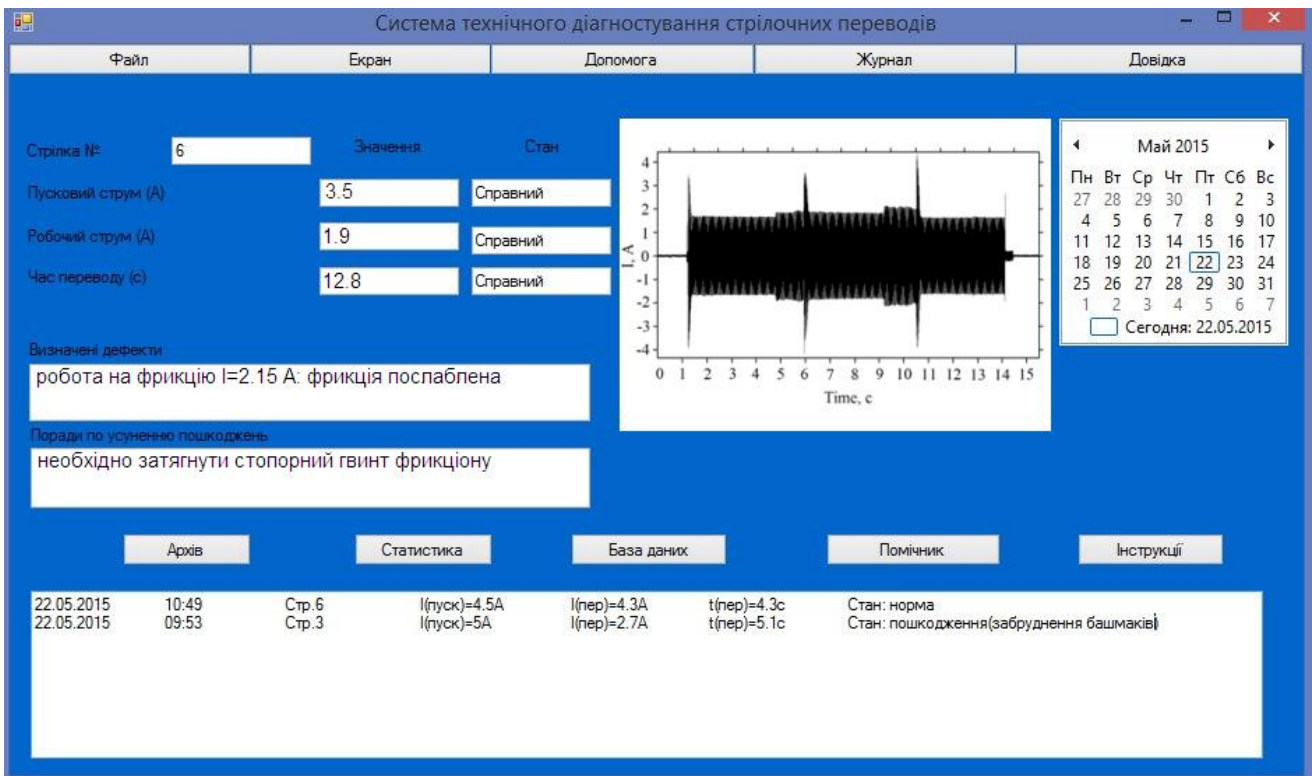


Рисунок 5 – Вікно системи технічного діагностування стрілочних переводів при роботі стрілки на фрикцію

Застосування програмно-апаратного комплексу дистанційного діагностування стану стрілочних переводів в автоматизованому режимі дозволяє:

- економити час на пошуки несправностей за рахунок скорочення пошуку причин відмови, зменшуючи таким чином загальний час на відновлення;
- видавати поради щодо дій працівника та засобів з заміни та ремонту пошкоджених елементів і обладнання;
- скоротити число затримок поїздів, через відмови, які виникають з причин порушення технології виконання робіт, неякісного обслуговування або невиконання робіт з технічного обслуговування пристроїв чи поступового виходу з ладу елементів стрілочного переводу, оскільки підвищується періодичність визначення їх стану;

- унеможливити приховання фактів порушення умов та вимог до експлуатації стрілочних переводів обслуговуючим персоналом;
- підвищити безпеку руху поїздів, завдяки зменшенню часу перебування обслуговуючого персоналу в зоні їх руху.

Таким чином, отримані результати 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.

**В п'ятому розділі** приведено обґрунтування впровадження системи автоматизованого діагностування стрілочних переводів на підставі розрахунків економічного ефекту. Крім цього, наведено обґрунтування застосування автоматизованого діагностичного комплексу в ремонтно-технологічних дільницях дистанції сигналізації та зв'язку з розрахунком експлуатаційних витрат за рік, річного економічного ефекту та строку окупності системи. Експлуатаційні витрати для існуючих пристроїв за розрахунками складають 15338,75 грн., а для автоматизованого стану – 5892,5 грн. Всі розрахунки приведені для однієї дистанції сигналізації та зв'язку з середньою кількістю станцій до 30. Річний економічний ефект від впровадження автоматизованого стану для перевірки параметрів стрілочних двигунів дорівнює 6446,25 грн., а строк окупності впроваджуваного автоматизованого стану дорівнює 15 місяців.

## **ВИСНОВКИ**

У дисертаційній роботі запропоновано вирішення науково-прикладної задачі з удосконалення технології обслуговування стрілочних переводів з електроприводами змінного струму шляхом автоматизації визначення їх параметрів. 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 електроприводу 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 передвiмовний 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.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

### Основні роботи:

1. Буряк С. Ю. Впровадження системи технічної діагностики стрілочних переводів / С. Ю. Буряк, В. І. Гаврилюк, О. О. Гололобова // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Д.: ДНУЗТ, 2015. – Вип. 3 (57). – С. 7-26;
2. 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;
3. 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;
4. 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;
5. 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.
6. Буряк С. Ю. Використання простору станів для створення моделі стрілочного двигуна постійного струму / С. Ю. Буряк, В. В. Маловічко, Р. В. Рибалка // Збірник наукових праць донецького інституту залізничного транспорту української державної академії залізничного транспорту. – 2012. – Вип. 29. – Д.: Вид-во ДонІЗТ, 2012. – С. 19 - 23;
7. 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;
8. Пат. 50854 Україна, МПК В61L 25/00 Спосіб діагностування стрілочних переводів / Маловічко М. В., Буряк С. Ю., Гаврилюк В. І. (Україна); заявник та патентовласник Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна. – № u 2009 13569; заявл. 25.12.2009; опубл. 25.06.10, Бюл. № 12.

**Додаткові роботи:**

9. Буряк С. Ю. Представлення математичної моделі стрілочного двигуна послідовного збудження в просторі станів / С. Ю. Буряк, В. В. Маловічко, Р. В. Рибалка // Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті. – Д.: ДНУЗТ, 2011. Вип. 2. – С. 82-85
10. Буряк С. Ю. Математичне моделювання стрілочного електроприводу в середовищі Simulink пакету MatLab / С. Ю. Буряк // Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті. – Д.: ДНУЗТ, 2011. Вип. 1. – С. 6-10;
11. Буряк С. Ю. Система технічної діагностики стрілочних переводів // «Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта» Тезисы 75 Международной научно-практической конференции. Секция 7 «Автоматизированные системы управления перевозок». – Д.: ДНУЗТ. – 2015. – С. 205–207;
12. Буряк С. Ю. Применение микропроцессорной техники в работе службы СЦБ // «Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта» Тезисы 74 Международной научно-практической конференции. Секция 7 «Автоматизированные системы управления перевозок». – Д.: ДНУЗТ. – 2014. – С. 220–221.
13. Буряк С. Ю. Система автоматизированной диагностики стрелочных переводов // «Енергетика, енергозбереження на початку ХХІ століття» Тези Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених, спеціалістів, аспірантів. – Маріуполь.: ДВНЗ «ПДТУ». – 2014. – С. 110–111.
14. Буряк С. Ю. Автоматизированная система дистанционного определения состояния стрелочных переводов с оповещением сотрудников железнодорожного транспорта // «Сучасні проблеми розвитку інтелектуальних систем транспорту» Тези Міжнародної науково-практичної конференції. – Д.: ДНУЗТ. – 2014. – С. 21–22.
15. Буряк С. Ю. Розробка системи автоматизованого діагностування стрілочних переводів в умовах експлуатації // «Інформаційно-управляючі технології та системи на залізничному транспорті»: Матеріали молодих вчених та студентської конференції. – Д.: ДНУЗТ. – 2013. – С. 79-80.
16. Буряк С. Ю. Математичне моделювання стрілочного електроприводу. // «Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті» (ЕМС-Р 2010): Тези ІІІ Міжнародної науково-практичної конференції. – Д.: ДНУЗТ. – 2010. – С. 13 – 14.

## АНОТАЦІЯ

Буряк С. Ю. Удосконалення технології обслуговування централізованих стрілок з електроприводом змінного струму в умовах експлуатації. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за фахом 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту. Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В.Лазаряна, Дніпропетровськ 2015.

Дисертація присвячена вирішенню питання з удосконалення технології обслуговування централізованих стрілок з електроприводом змінного струму шляхом автоматизації визначення їх параметрів.

Застосовано методи автоматизованого визначення відмов стрілочних переводів за допомогою порівняльного аналізу абсолютних значень часової залежності та спектрального складу струму записаних при переводі стрілки.

Знайдені та охарактеризовані діагностичні ознаки в різних режимах їх роботи безпосередньо під час експлуатації. Складена таблиця відмов стрілочних переводів з електроприводом змінного струму і визначено 16 відмов за окремими діагностичними ознаками.

Створена математична модель стрілочного переводу з електроприводом змінного струму, яка відображає робочі процеси в стрілочному переводі під час його роботи в різних режимах.

Розроблений дослідний зразок автоматизованого апаратно-програмного комплексу діагностування стану стрілочних переводів.

Проведені розрахунки економічного ефекту від застосування системи автоматизованого технічного діагностування стану стрілочних переводів, які знаходяться в експлуатації.

*Ключові слова:* удосконалення технології обслуговування, автоматизоване діагностування, стрілочний перевід, діагностичні ознаки, часова залежність струму, частотний склад струму, система аналізу стану, апаратно-програмний комплекс.

## АННОТАЦИЯ

Буряк С. Ю. Усовершенствование технологии обслуживания централизованных стрелок с электроприводом переменного тока в условиях эксплуатации. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.20 – эксплуатация и ремонт средств транспорта. Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В.Лазаряна, Днепропетровск 2015.

Диссертация посвящена решению вопроса по совершенствованию технологии обслуживания централизованных стрелок с электроприводом переменного тока путем автоматизации определения их параметров. Для этого предложено применение методов автоматизированного определения отказов стрелочных переводов с помощью сравнительного анализа абсолютных значений временной зависимости и спектрального состава тока, записанных

при переводе стрелки с использованием преобразования Фурье, численных методов вычислений и искусственных нейронных сетей.

Проведенный анализ причин возникновения повреждений показал, что по вине невыполнения графика технологического процесса, или допусков нарушений при его выполнении, зафиксировано почти 50% всех случаев. Также были рассмотрены эксплуатационно-технические требования к обслуживанию стрелочных переводов и проанализированы недостатки в существующей системе выполнения графика технического обслуживания стрелочных переводов.

Для определения состояния стрелочных переводов были найдены и охарактеризованы диагностические признаки в различных режимах их работы, как в не рабочих условиях, так и непосредственно во время эксплуатации. По результатам выполнения измерений была составлена таблица отказов стрелочных переводов с электроприводом переменного тока и определено 16 отказов по отдельным диагностическим признакам.

Для увеличения базы диагностических признаков впервые была создана математическая модель стрелочного перевода с электроприводом переменного тока, которая отражает рабочие процессы в стрелочном переводе во время его работы в различных режимах и действует на основании выполнения вычислений по электромеханическим законам, описывающим работу электропривода с асинхронным двигателем с приведенной к валу нагрузкой. При моделировании применялась имитационная модель с соответствующим расчетом собственных параметров по паспортным данным стрелочного перевода.

На основании полученных результатов определения диагностических признаков и с применением методов численного сравнения был создан опытный образец автоматизированного аппаратно-программного комплекса диагностирования состояния стрелочных переводов и опытный образец стенда для проверки двигателей переменного тока в условиях ремонтно-технологического участка, работа которого была проверена и подтверждена на действующих стрелочных переводах. Приведена возможность использования нейронных сетей для применения принципа автоматического определения неисправностей стрелочных переводов по анализу временных и спектральных составляющих тока на основе многослойного перцептрона.

Проведенные расчеты экономического эффекта подтверждают преимущества внедрения системы автоматизированного технического диагностирования состояния стрелочных переводов, находящихся в эксплуатации, и стенда для проверки двигателей переменного тока перед существующей технологией выполнения осмотра и обследования стрелочных переводов, электроприводов и электродвигателей.

*Ключевые слова:* совершенствование технологии обслуживания, автоматизированное диагностирование, стрелочный перевод, диагностические

признаки, временная зависимость тока, частотный состав тока, система анализа состояния, аппаратно-программный комплекс.

### ANNOTATION

Buryak S. Yu. Improvement of technology maintenance centralized turnouts with AC electric drive in operation. –The manuscript.

Thesis for candidate of technical science academic degree competition at 05.22.20 – transport means exploitation and maintenance specialty. Dnepropetrovsk National University of Railway Transport named after academician V. Lazaryan, Dnepropetrovsk 2015.

Dissertation is devoted to addressing the issue of improving the technology of centralized maintenance turnouts with AC electric drive by automating the determination of their parameters.

Provided the use of automated methods of determining the switches failure of using a comparative analysis of the absolute values the time dependence and the spectral composition of the current recorded in the translation of the turnout.

Found and characterized diagnostic features in different modes of operation as in the non-operating conditions, and directly during operation. Created a table of failures with their diagnostic features for turnouts with electric AC drive identified 16 failures on separate grounds.

Created a mathematical model of turnout electric alternating current, which reflects workflows turnouts during it work in different modes.

Designed a prototype automated hardware and software diagnostics of switches state.

The calculations confirm the economic effect of the benefits of implementing an automated system of technical diagnostics state of switches in use.

*Keywords:* technology maintenance improvement, automated diagnostics, turnout, diagnostic features, current time dependence, current frequency content, states system analysis, hardware and software complex.

**ДЛЯ ПОДАТОК**

**ДЛЯ ПОДАТОК**

**БУРЯК СЕРГІЙ ЮРІЙОВИЧ**

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

**АВТОРЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

---

Підписано до друку 05.10.2015. Формат 60×84 1/16.  
Ум. друк. арк. 0,9. Обл.-вид. л. 1,0. Тираж 100 прим.  
Замовлення № 608

---

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені  
академіка В. Лазаряна.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 1315 від 31.03.2003 р.

Адреса видавця та дільниці оперативної поліграфії:  
вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, 49010