

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»**

ГЕЙКО ГЕННАДІЙ ВІКТОРОВИЧ



УДК 004.02 : 004.4

**МОДЕЛІ, МЕТОДИ ТА ПРОГРАМНІ КОМПОНЕНТИ БОРТОВОЇ
КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ ДИЗЕЛЬ-ПОЇЗДА**

Спеціальність 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2019

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі обчислювальної техніки та програмування Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник кандидат технічних наук, доцент
Мезенцев Микола Вікторович,
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
професор кафедри обчислювальної техніки
та програмування.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Можасєв Олександр Олександрович,
Харківський національний університет
внутрішніх справ,
професор кафедри інформаційних технологій
факультету №4;

доктор технічних наук, професор
Мірошник Марина Анатоліївна,
Український державний університет
залізничного транспорту,
професор кафедри спеціалізованих
комп'ютерних систем.

Захист відбудеться 23 травня 2019 р. о 14³⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.14 у Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, м. Харків, вул. Кирпичова, 2.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, Харків, вул. Кирпичова, 2.

Автореферат розісланий « 16 » квітня 2019 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



І.Г. Ліберг

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Сучасні комп'ютерні системи знаходять широке застосування в різних галузях науки і техніки при побудові систем керування, регулювання, контролю та діагностики параметрів різних об'єктів. На перших вітчизняних дизель-поїздах серії ДЕЛ-02 з тяговим асинхронним приводом використовується комп'ютерна система керування (КСК), особливістю якої є те, що це система реального часу і задачі, які вона вирішує, спрямовані як на мінімізацію споживання енергоресурсів, так і на забезпечення безпеки руху. Внаслідок того, що придбання дорогих закордонних програмно-апаратних продуктів приводить до зменшення конкурентоздатності розроблених вітчизняних поїздів, розроблення і модернізація існуючої КСК є актуальною задачею.

Підвищення якості роботи бортової КСК дизель-поїзда ДЕЛ-02 в режимі реального часу може бути здійснено за рахунок автоматизації процесів керування, контролю та діагностики на основі застосування широкого спектру апаратних засобів, зокрема, комп'ютерів, які оснащені необхідними пристроями вводу-виводу та спеціалізованим програмним забезпеченням. Поєднання перспективних апаратних засобів та сучасного математичного апарата дозволяє вдосконалити існуючу КСК дизель-поїзда з метою отримання придатних для комп'ютерної обробки даних про параметри процесів, результати яких можуть бути використані для оцінки ефективності роботи як усього дизель-поїзда, так і його окремих вузлів. Таким чином, науково-практична задача розроблення та дослідження моделей, методів та програмних компонентів бортової комп'ютерної системи керування дизель-поїзда ДЕЛ-02 для уточнення метода тягових розрахунків є актуальною та визначила напрямки досліджень дисертаційної роботи.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана на кафедрі обчислювальної техніки та програмування Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» згідно плану держбюджетних науково-дослідних робіт Міністерства освіти і науки України: «Розвиток теорії стабільно-пластичних нейронних мереж для розв'язання задач класифікації, оптимізації та керування динамічними об'єктами» (ДР № 0110U001247); «Розробка інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень для діагностики, керування та оптимізації технічних та біотехнічних об'єктів» (ДР № 0113U000449), в яких здобувач був виконавцем окремих етапів.

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є розроблення та дослідження моделей, методів та програмних компонентів бортової комп'ютерної системи керування дизель-поїзда для уточнення метода тягових розрахунків.

Для досягнення зазначеної мети поставлені наступні задачі:

– провести аналіз сучасних комп'ютерних систем керування тяговим рухомим складом, виявити їх переваги та недоліки для вдосконалення тягових розрахунків дизель-поїзда;

- розроблення методів та програмних компонентів для уточнення параметрів моделі дизель-поїзда, яка використовується для тягових розрахунків під час руху;

- вдосконалення моделі дизель-поїзда та метода тягових розрахунків шляхом корекції закону керування електропередачею за результатами гармонійного аналізу струмів статорів тягових асинхронних двигунів;

- підвищення тягових властивостей дизель-поїзда за рахунок розробки моделі та програмного компонента для оперативного виявлення боксування колісних пар на основі нечіткої логіки;

- вдосконалення метода контролю відхилення параметрів об'єкта керування від номінальних значень та визначення процесів, що пов'язані з його вузлами, які працюють в позаштатному режимі, для забезпечення тягових властивостей дизель-поїзда;

- провести експериментальні дослідження вдосконаленої комп'ютерної системи керування дизель-поїзда ДЕЛ-02 на узагальненій математичній моделі та на реальному об'єкті.

Об'єкт дослідження – процеси керування дизель-поїздом.

Предмет дослідження – комп'ютерна система керування дизель-поїзда ДЕЛ-02.

Методи дослідження. При синтезі математичних моделей вузлів дизель-поїзда використовувалися положення теорії електричних машин, тяги поїздів та тягового асинхронного привода; при дослідженні розроблених моделей використовувалися методи математичного моделювання; при побудові програмного компонента виявлення боксування використовувалися методи нечіткої логіки; при контролі стану вузлів дизель-поїзда використовувалась теорія нейронних мереж та таксономічна класифікація.

Наукова новизна отриманих результатів:

- **одержав подальшого розвитку** метод ідентифікації параметрів моделі дизель-поїзда, який, на відміну від відомого, що використовує для розрахунків постійні параметри, які відомі перед початком руху, враховує під час руху поїзда зміну параметрів електропривода та моменту опору руху та виконує їх підстроювання в реальному часі, це дозволяє точніше розраховувати керуючі впливи для системи керування об'єктом;

- **одержав подальшого розвитку** метод тягових розрахунків руху дизель-поїзда, який, на відміну від відомого, враховує гармонійний склад струмів статора тягових асинхронних двигунів, що дозволяє уточнити закони керування електропередачею;

- **одержав подальшого розвитку** метод виявлення боксування колісних пар дизель-поїзда, який, на відміну від відомих, побудовано на основі нечіткої логіки, що дозволило виявляти синхронне та індивідуальне боксування, підвищити тягові властивості дизель-поїзда й зменшити зношування бандажів колісних пар;

- **вперше розроблена** рекурентна нейронна мережа, яка використовується в підсистемі контролю та діагностики стану дизель-поїзда, яка, на відміну від

відомої нейронної мережі, що контролює тільки повільний відхід параметрів об'єкта керування від номінальних значень, забезпечує оперативний контроль перевищення граничних значень параметрів дизель-поїзда та визначає процеси, що пов'язані з його вузлами, які працюють в позаштатному режимі.

Практичне значення отриманих результатів для синтезу бортових комп'ютерних систем і компонентів рухомого складу:

- реалізована математична модель руху дизель-поїзда, що дозволяє в процесі руху поїзда розраховувати керуючі впливи з урахуванням зміни параметрів електропривода та моменту опору руху;

- розроблено програмний компонент, який під час руху поїзда реалізує ідентифікацію параметрів електропривода та моменту опору руху, що дозволяє точніше розраховувати керуючі впливи для керування об'єктом;

- розроблено метод та програмний компонент, який реалізує розрахунок величини струму статора кожного тягового асинхронного двигуна не по середньому, а по діючому значенню його першої гармоніки, що дозволило точніше виконувати керування електропередачею;

- реалізована на бортовій комп'ютерній системі керування математична модель електромеханічної частини тягових асинхронних приводів дизель-поїзда, яка дозволяє досліджувати процеси боксування;

- розроблено програмний компонент, який на основі нечіткої логіки виконує виявлення боксування колісних пар дизель-поїзда;

- розроблено програмний компонент, який реалізує алгоритм роботи рекурентної нейронної мережі для підсистеми контролю та діагностики стану дизель-поїзда, що дозволило підвищити якість контролю та діагностики стану дизель-поїзда.

Результати роботи впроваджені:

- в моторвагонному депо «Христинівка» регіональної філії «Одеська залізниця» при вдосконаленні бортової комп'ютерної системи дизель-поїздів серії ДЕЛ-02 з електроприводом змінного струму;

- в навчальному процесі НТУ «ХП» на кафедрі обчислювальної техніки та програмування при викладанні учбових дисциплін: «Системний аналіз та математичне моделювання», «Бортові системи керування», «Контроль та діагностика комп'ютерних систем», а також в курсових, дипломних та наукових роботах студентів спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія».

Особистий внесок здобувача. Усі основні результати дисертаційної роботи, які виносяться на захист, отримані здобувачем особисто. Серед них: реалізована математична модель руху дизель-поїзда; розроблено програмний компонент, який виконує ідентифікацію параметрів електропривода під час руху; реалізована на бортовій комп'ютерній системі керування математична модель електромеханічної частини тягових асинхронних приводів дизель-поїзда; розроблено програмний компонент, який на основі нечіткої логіки виконує виявлення боксування колісних пар дизель-поїзда; розроблено програмний компонент, який реалізує алгоритм роботи рекурентної нейронної мережі для підсистеми контролю та діагностики стану дизель-поїзда.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертаційної

роботи доповідалися та обговорювалися на Міжнародних науково-технічних конференціях: «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» (Харків, 2014, 2015, 2016), «Проблеми інформатики та моделювання» (Ялта, 2014, Одеса, 2015, 2017), «Інформатика, управління та штучний інтелект» (Харків, 2016), «Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту» (Херсон, 2018).

Публікації. Основний зміст дисертаційної роботи відображено у 15 наукових публікаціях, з них: 6 статей – у наукових фахових виданнях України, 1 стаття у закордонному періодичному фаховому виданні, 8 – у матеріалах конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається з анотації, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. Загальний обсяг дисертації становить 135 сторінок. Робота містить 59 рисунків (з них 9 на 5 окремих сторінках), 2 таблиці, список використаних джерел з 127 найменувань на 16 сторінках, 3 додатки на 11 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи; сформульовано мету та задачі дослідження; наведено зв'язок дисертації з науковими темами та програмами; визначено об'єкт та предмет дослідження; висвітлені положення, які визначають практичне значення отриманих результатів та їх наукову новизну; висвітлено особистий внесок здобувача в одержаних результатах, їх апробацію та публікації.

У **першому розділі** проведено аналіз сучасних КСК тяговим рухомих складом, виявлено їх переваги та недоліки для вдосконалення тягових розрахунків дизель-поїзда. КСК дизель-поїзда ДЕЛ-02 повинна виконувати оптимальне ведення дизель-поїзда та якісну реалізацію характеристик електропередачі. В загальному вигляді структурна схема дизель-поїзда ДЕЛ-02 наведена на рис. 1.



Рисунок 1 – Структурна схема дизель-поїзда ДЕЛ-02

Частина задач, покладених на КСК, вирішується за допомогою метода тягових розрахунків, метою якого є визначення основних показників, які необхідні для оптимального ведення дизель-поїзда. Тягові розрахунки виконуються заздалегідь для кожної конкретної ділянки шляху. Однак, в процесі руху дизель-поїзда є фактори, які неможливо врахувати заздалегідь: метеорологічні умови, включення додаткового устаткування, зміна допоміжних навантажень. Все це приводить до невірної розрахунку керуючих впливів, тому в процесі руху дизель-поїзда необхідно виконувати корекцію закону керування. В роботі пропонується для рішення цієї задачі виконати розроблення та дослідження моделей, методів та програмних компонентів бортової КСК дизель-поїзда для уточнення метода тягових розрахунків.

Другий розділ присвячено питанню вдосконалення підсистеми керування рухом, яка є частиною КСК дизель-поїзда ДЕЛ-02. В загальному випадку задача керування рухом може бути сформульована таким чином: необхідно перевести об'єкт керування з однієї точки фазового простору в іншу з урахуванням певного критерію якості та обмежень.

Для дизель-поїзда математичну постановку цієї задачі можна записати у вигляді:

$$\begin{aligned} \frac{dS}{dt} &= k_1 V; \\ \frac{dV}{dt} &= M_{\text{екв}} - M_0, \end{aligned} \quad (1)$$

де S – шлях, який проходить дизель-поїзд від початку перегону; k_1 – постійний коефіцієнт; V – швидкість руху дизель-поїзда; $M_{\text{екв}}$ – еквівалентний тяговий момент; $M_0 = b_0 + b_1 V + b_2 V^2$ – момент опору руху, b_0, b_1, b_2 – постійні коефіцієнти для даного перегону.

Розглянемо рішення задачі знаходження оптимального керування за умови мінімізації функціонала

$$J_1 = \int_{t_0}^{t_1} (1 + k_2 M_{\text{екв}}^2 + k_3 (V_{\text{max}} - V)^2) dt, \quad (2)$$

де t_0 і t_1 визначають початок та кінець інтервалу, на якому мінімізується функціонал за допомогою керування, на яке накладені обмеження $M_{\text{min}} \leq M_{\text{екв}} \leq M_{\text{max}}$; k_2, k_3 – постійні коефіцієнти.

Вирішивши задачу за допомогою принципу максимуму Понтрягіна, маємо

$$M_{\text{екв}} = \begin{cases} M_{\text{min}}, & M_{\text{опт}} < 0; \\ M_{\text{опт}}, & M_{\text{min}} < M_{\text{опт}} < M_{\text{max}}; \\ M_{\text{max}}, & M_{\text{опт}} > M_{\text{max}}, \end{cases} \quad (3)$$

$$\text{де } M_{\text{опт}} = \sqrt{(b_2 V^2 - b_0)^2 + \frac{1}{k_2} (2V k_3 (V_{\text{max}} - V) + k_3 (V_{\text{max}} - V)^2 + 1) - (b_2 V^2 - b_0)}.$$

Отриманий вираз використано при побудові моделі для вирішення задачі оптимального керування дизель-поїздом. Ця модель використана для завдання

режимів руху та розрахунку керуючих впливів для КСК дизель-поїзда.

Для оцінки синтезованого закону керування (3) використовується критерій витрати палива, який отримують по універсальній характеристиці дизеля за умови, що вся потужність, яка виробляється дизель-генераторною установкою, витрачається на тягу. На рис. 2 показана зміна витрати палива при звичайному керуванні Q_p (рис. 2, крива 1) та зміна витрати палива Q_o (рис. 2, крива 2) при керуванні, яке розраховано по виразу (3) для випадку розгону дизель-поїзда.

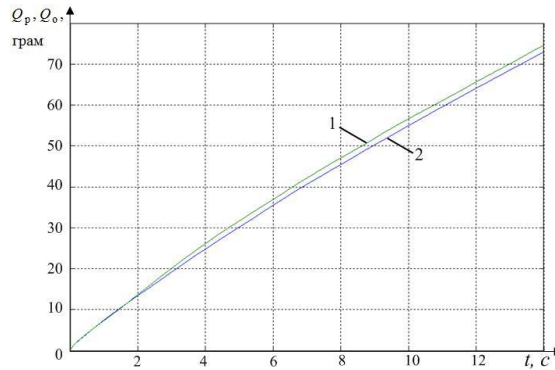


Рисунок 2 – Зміна витрати палива в процесі розгону дизель-поїзда

Необхідно зазначити, що в вираз (1) входить момент опору руху M_o , який апроксимується поліномом другого ступеня з постійними коефіцієнтами. Коефіцієнти b_0, b_1, b_2 розраховуються заздалегідь по методу тягових розрахунків і залишаються постійними під час руху поїзда для окремої ділянки шляху. Але в процесі руху дизель-поїзда при зміні дорожньої обстановки ці коефіцієнти можуть змінюватися (значення M_o може відрізнятись від розрахункових значень до 20%), що приводить до розбіжностей у визначенні керуючих впливів при виконанні управління з моделлю. Для підстроювання параметрів моделі в реальному часі при русі дизель-поїзда в дисертаційній роботі виконано розроблення програмного компонента визначення коефіцієнтів b_0, b_1, b_2 по методу найменших квадратів.

Як критерій близькості в даному випадку використовується мінімум квадратичної нев'язки J експериментальних і розрахункових значень

$$J(b_{NEW_i}) = \sum_{j=1}^N (M_{oRj} - (b_{NEW0} + b_{NEW1}V_j + b_{NEW2}V_j^2))^2 \rightarrow \min, \quad (4)$$

де $b_{NEW0}, b_{NEW1}, b_{2NEW}$ – коефіцієнти, які характеризують зміну дорожньої обстановки; M_{oR} – реальний момент опору руху дизель-поїзда, який може бути представлений виразом $M_{oR} = M_o + \varepsilon$, де ε – випадкова складова.

В результаті по знайдених коефіцієнтах $b_{NEW0}, b_{NEW1}, b_{NEW2}$, використовуючи (1), виконується розрахунок швидкості дизель-поїзда. Використання розробленого метода дає похибку визначення реальної швидкості в процесі моделювання при різних варіантах завантаження дизель-поїзда не більше 1%.

Для точнішого розрахунку керуючих впливів, крім невизначеності дорожньої обстановки, необхідно враховувати зміну параметрів тягових

асинхронних двигунів (ТАД) в процесі експлуатації. Для рішення цієї задачі в роботі пропонується виконувати ідентифікацію параметрів двигунів в процесі їх роботи за допомогою математичної моделі ТАД, яку можна записати у нерухомій системі координат $(\alpha, \beta, 0)$:

$$\frac{di_{s\alpha}}{dt} = \frac{1}{\sigma L_s} U_{s\alpha} - \gamma i_{s\alpha} + \frac{\beta}{T_r} \Psi_{r\alpha} + p\beta\omega \Psi_{r\beta}; \quad (5)$$

$$\frac{di_{s\beta}}{dt} = \frac{1}{\sigma L_s} U_{s\beta} - \gamma i_{s\beta} + \frac{\beta}{T_r} \Psi_{r\beta} - p\beta\omega \Psi_{r\alpha}; \quad (6)$$

$$\frac{d\Psi_{r\alpha}}{dt} = \frac{L_m}{T_r} i_{s\alpha} - \frac{\Psi_{r\alpha}}{T_r} - p\omega \Psi_{r\beta}; \quad (7)$$

$$\frac{d\Psi_{r\beta}}{dt} = \frac{L_m}{T_r} i_{s\beta} - \frac{\Psi_{r\beta}}{T_r} + p\omega \Psi_{r\alpha}; \quad (8)$$

$$M = \frac{3}{2} p \frac{L_m}{\sigma L_r} (\Psi_{r\alpha} i_{s\beta} - \Psi_{r\beta} i_{s\alpha}), \quad (9)$$

де $i_{s\alpha}$, $i_{s\beta}$ – відповідно проекції струму статора на вісі α і β ; t – час; $\sigma = (1 - L_m^2) / L_s L_r$ – коефіцієнт розсіювання; L_s, L_r, L_m – відповідно індуктивність статора, ротора і взаємна індуктивність; $L_m = \sqrt{(1 - \sigma) L_s L_r}$; $U_{s\alpha}$ – синусоїдальна складова напруги статора по вісі α ; $U_{s\beta}$ – косинусоїдальна

складова напруги статора по вісі β ; $\gamma = \frac{R_s}{\sigma L_s} + \frac{R_r L_m^2}{\sigma L_s L_r^2}$; R_s, R_r – активні опори

статора та ротора; $\beta = \frac{L_m}{\sigma L_s L_r}$; $T_r = \frac{L_r}{R_r}$ – постійна часу ротора; $\Psi_{r\alpha}, \Psi_{r\beta}$ – відповідно проекції потокозчеплень ротора на вісі α, β ; p – число пар полюсів; ω – частота обертання ротора ТАД; M – тяговий момент ТАД.

Для ідентифікації параметрів математичної моделі ТАД зроблені алгебраїчні перетворення, які направлені на виключення змінних ротора, які неможливо безпосередньо виміряти.

В результаті алгебраїчних перетворень одержані наступні рівняння:

$$\frac{d^2 i_{s\alpha}}{dt^2} + p\omega \frac{di_{s\beta}}{dt} = K_1 i_{s\alpha} + K_2 U_{s\alpha} + K_3 p\omega i_{s\beta} + K_4 \left(\frac{dU_{s\alpha}}{dt} + p\omega U_{s\beta} \right) + K_5 \frac{di_{s\alpha}}{dt}; \quad (10)$$

$$\frac{d^2 i_{s\beta}}{dt^2} - p\omega \frac{di_{s\alpha}}{dt} = K_1 i_{s\beta} + K_2 U_{s\beta} + K_3 p\omega i_{s\alpha} + K_4 \left(\frac{dU_{s\beta}}{dt} - p\omega U_{s\alpha} \right) + K_5 \frac{di_{s\beta}}{dt}, \quad (11)$$

де $K_1 = -\frac{R_s}{\sigma L_s T_r}$; $K_2 = \frac{1}{\sigma L_s T_r}$; $K_3 = -\frac{R_s}{\sigma L_s}$; $K_4 = \frac{1}{\sigma L_s}$; $K_5 = -\frac{(L_r R_s + L_s R_r)}{\sigma L_s L_r}$.

В приведених рівняннях (10), (11) невідомими є п'ять коефіцієнтів. Провівши вимір напруги, струму статора та частоти обертання ротора двигуна в п'яти моментах часу, можна знайти значення цих коефіцієнтів, на основі яких визначаються значення параметрів:

$$R_s = -\frac{K_3}{K_4}, T_r = \frac{K_4}{K_2}, \sigma = \frac{K_2}{K_4(K_3 - K_5)}, L_s = \frac{(K_3 - K_5)}{K_2}.$$

Параметри R_r, L_r, L_m через коефіцієнти $K_1 - K_5$ отримати не можна, тому в роботі їх визначення виконується за допомогою генетичного алгоритму. При цьому в якості хромосоми використовуються невідомі параметри R_r, L_r, L_m . Внаслідок того, що ці параметри можуть змінюватися в невеликих межах щодо їхнього паспортного значення, використання генетичного алгоритму дає прийнятне рішення за досить короткий час. Похибки визначення параметрів в результаті моделювання наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Похибки визначення параметрів ТАД

Параметр	R_s	R_r	L_s	L_r	L_m
Похибка при збільшенні на 10% значень опорів R_s та R_r , %	3,2	8	5,5	9	6
Похибка при збільшенні на 20% значень опорів R_s та R_r , %	3,8	9,1	6,3	11	8,5

У розділі виконано вдосконалення метода тягових розрахунків руху дизель-поїзда завдяки врахуванню гармонійного складу струмів статора тягових асинхронних двигунів. Струм статора є одним з основних параметрів двигуна, що характеризують його роботу.

Для якісної роботи системи регулювання електропередачею необхідно знати діюче значення його першої гармоніки, тому що саме вона створює корисний обертаючий момент.

Застосування в цьому випадку перетворення Фур'є не доцільно, тому для рішення цієї задачі в роботі пропонується застосувати метод, в якому функція струму статора представлена у вигляді тригонометричного полінома

$$y_k(t) = \sum_{k=0}^n (A_k \cos kt + B_k \sin kt), \quad (12)$$

де k – номер гармоніки ($k = \overline{0, n}$), A_k та B_k – коефіцієнти, t – час.

Період функції розбивається на рівні інтервали та обчислюються коефіцієнти, які визначають амплітуди гармонік. В роботі пропонується робити обчислення гармонійного складу струму статора ТАД на кожному його напівперіоді шляхом аналітичного добудовування до повного періоду та визначення амплітуди першої гармоніки для отриманого періоду сигналу по виразах:

$$A_k^* = \frac{1}{v} \sum_{\lambda=0}^{v-1} 2y_\lambda \cdot \cos k\lambda \frac{\pi}{v}, \quad (k = \overline{0, v-1}); \quad (13)$$

$$B_k^* = \frac{1}{v} \sum_{\lambda=0}^{v-1} 2y_\lambda \cdot \sin k\lambda \frac{\pi}{v}, \quad (k = \overline{0, v-1}); \quad (14)$$

$$r_k = \sqrt{(A_k^*)^2 + (B_k^*)^2}. \quad (15)$$

де v – кількість інтервалів, на які розбивається період функції; $y_\lambda (\lambda = \overline{0, v-1})$ – значення ординат функції; r_k – амплітуда k -ої гармоніки.

Таким чином, виконано вдосконалення підсистеми керування рухом дизель-поїзда ДЕЛ-02 за рахунок розроблення програмного компонента, який реалізує під час руху дизель-поїзда ідентифікацію параметрів електропривода та моменту опору руху, розроблення метода та програмного компонента, який реалізує розрахунок величини струму статора кожного тягового асинхронного двигуна не по середньому, а по діючому значенню його першої гармоніки, що дозволило точніше розраховувати керуючі впливи для керування об'єктом.

Третій розділ присвячено питанню вдосконалення протибоксувальної підсистеми, яка є частиною КСК дизель-поїзда ДЕЛ-02. Боксування є стохастичним процесом, тому стохастичний характер має і функція зміни коефіцієнта зчеплення.

Для тягових розрахунків використовують отриману на практиці характеристику зчеплення, яку одержують шляхом узагальнення результатів експериментальних досліджень. На цій характеристиці виділяються: область стійкої реалізації сили тяги; область, в якій спостерігається нестійка реалізація сили тяги; область, в якій настає боксування. Слід зазначити, що боксування через систему електропривода впливає і на характеристики процесів у ТАД, які носять «розмитий» характер, тому в дисертаційній роботі пропонується метод виявлення боксування на основі механізму нечіткої логіки.

Для одержання характеру зміни процесів, по яких буде вироблятися настроювання системи на нечіткій логіці, необхідно мати математичну модель, яка б адекватно відображала процеси в кожному з ТАД при виникненні боксування. У зв'язку із цим, виконано розроблення такої моделі. В якості об'єкта регулювання розглядається електромеханічна частина тягового асинхронного привода моторного вагону дизель-поїзда ДЕЛ-02, що включає в себе два ТАД і два понижуючих редуктора. Вона представляється як крутильна система, що складається із двох колісних пар і обертових мас електропривода (ТАД, редуктор та ін.), моменти інерції яких наведені до осей колісних пар (КП), а самі КП замінені одним колесом.

Математична модель, яка описує представлену систему та включає рівняння руху дизель-поїзда має вигляд:

$$\frac{d\varphi_{p_i}}{dt} = \omega_{p_i}, \quad i = \overline{1, 2}; \quad (16)$$

$$\frac{d\varphi_{k_i}}{dt} = \omega_{k_i}, \quad i = \overline{1, 2}; \quad (17)$$

$$J_{k_i} \frac{d\omega_{k_i}}{dt} = c_{dk_i} (\varphi_{p_i} - \mu_i \varphi_{k_i}) + \beta_{dk_i} (\omega_{p_i} - \mu_i \omega_{k_i}) - \frac{M_{зч_i}}{\mu_i}, \quad i = \overline{1, 2}; \quad (18)$$

$$m_{кп_i} \frac{dV_{к_i}}{dt} = \frac{M_{зч_i}}{R_{к_i} \mu_i} - \beta_{кп_i} V_{к_i} - c_{кп_i} S; \quad (19)$$

$$J_{p_i} \frac{d\omega_{p_i}}{dt} = M_i - c_{дкi}(\varphi_{p_i} - \mu_i \varphi_{кi}) - \beta_{дкi}(\omega_{p_i} - \mu_i \omega_{кi}), \quad i = \overline{1, 2}; \quad (20)$$

$$m \frac{dV_{л}}{dt} = \sum_{i=1}^4 \frac{\mu_i M_{зч_i}}{R_{кi}} - M_0 \sum_{i=1}^4 \frac{P_i}{R_{кi}}, \quad (21)$$

де φ_{p_i} , $\varphi_{кi}$ – кути повороту ротора i -го ТАД та i -ої КП відносно вісі обертання ($i = \overline{1, 2}$); ω_{p_i} , $\omega_{кi}$ – відповідно частота обертання ротора i -го ТАД та i -ої КП ($i = \overline{1, 2}$); $J_{кi}$, J_{p_i} – моменти інерції i -ої КП та ротора i -го ТАД ($i = \overline{1, 2}$); $c_{дкi}$ – жорсткість зв'язку i -ої КП з i -м ТАД ($i = \overline{1, 2}$); μ_i – передаточне число i -го редуктора ($i = \overline{1, 2}$); $\beta_{дкi}$ – коефіцієнт демпфірування зв'язку i -ої КП з i -м ТАД ($i = \overline{1, 2}$); $M_{зч_i}$ – момент зчеплення i -ої КП з поверхнею рейки ($i = \overline{1, 2}$); $m_{кпi}$ – маса, яка прикладається до i -ої КП ($i = \overline{1, 2}$); $V_{кi}$ – лінійна швидкість руху i -ої КП ($i = \overline{1, 2}$); $R_{кi}$ – радіус колеса i -ої КП ($i = \overline{1, 2}$); $c_{кTi}$ – жорсткість поздовжнього зв'язку i -ої КП з візком; $\beta_{кTi}$ – коефіцієнт демпфірування поздовжнього зв'язку i -ої КП з візком ($i = \overline{1, 2}$); M_i – тяговий момент i -го ТАД ($i = \overline{1, 2}$); m – маса дизель-поїзда; $V_{л}$ – лінійна швидкість руху дизель-поїзда; P_i – навантаження i -ої КП на рейку ($i = \overline{1, 2}$).

При реалізації тяги на характеристиці зчеплення можна виділити три області, тому доцільним є одержання зміни електромеханічних процесів у кожній з цих областей і по їх характеру виконувати класифікацію знаходження об'єкта в тій або іншій області.

У розділі розроблено нечіткий контролер (НК), який ставиться для кожного ТАД та в якості вхідних змінних використовує різницю швидкостей обертання колісних пар; зміну струму статора ТАД; прискорення колісної пари та відносну швидкість ковзання колеса щодо рейки.

Для кожного вхідного сигналу вводиться нечітка змінна, котра приймає три значення: *NO* – нормальне значення сигналу (без боксування); *PRED* – невелике відхилення від норми (предбоксування); *BOKS* – велике відхилення від норми (боксування). НК ставляться для кожного ТАД. Після виявлення боксування сигнал з виходу НК поступає у підсистему, яка виробляє сигнали, необхідні для усунення процесу боксування. На рис. 3 показані сигнали Y_1^* та Y_2^* на виході нечітких контролерів НК1 та НК2 при наявності захисту від боксування.

На рис. 3 видно, що НК1 в момент часу $t = 8$ сек., а НК2 в момент часу $t = 8,1$ сек., розпізнають процес боксування. В момент часу $t = 10$ сек. сигнали на виходах нечітких контролерів стають рівними 0,5, що відповідає режиму предбоксування. В момент часу $t = 11,2$ сек. на рис. 3 видно, що значення сигналів на виходах нечітких контролерів стають менше 0,5, що сигналізує про припинення боксування колісних пар.

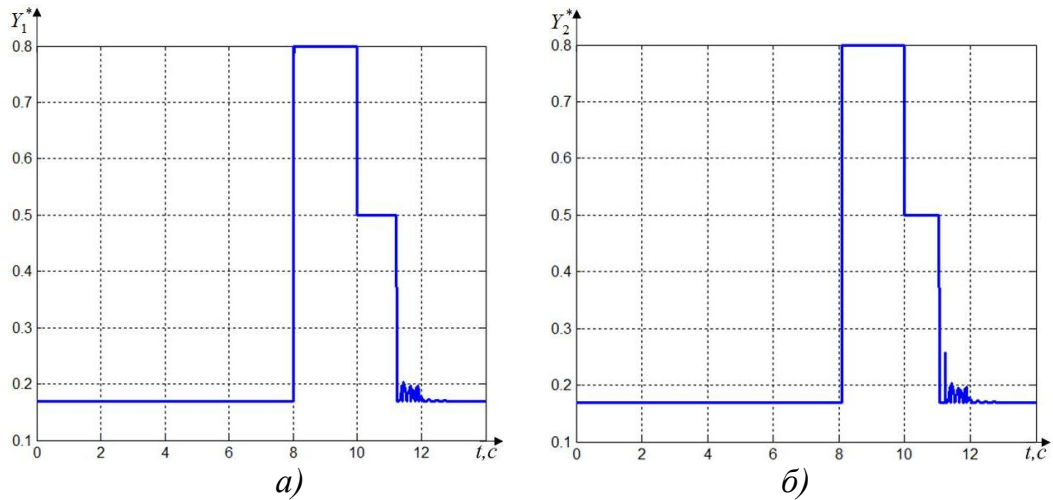


Рисунок 3 – Сигнали Y_1^* та Y_2^* на виході НК1 (а) та НК2 (б) при синхронному боксуванні

На рис. 4 наведені графіки зміни швидкостей обертання колісних пар при наявності ($V_{к1}^*$, $V_{к2}^*$) та при відсутності ($V_{к1}$, $V_{к2}$) захисту від боксування.

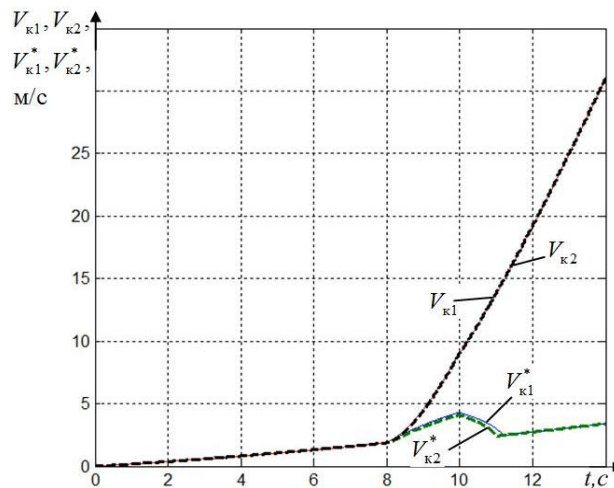


Рисунок 4 – Графіки зміни швидкостей колісних пар при синхронному боксуванні

Таким чином, виконано вдосконалення протибоксувальної підсистеми дизель-поїзда ДЕЛ-02 за рахунок розробки програмного компонента, який дозволяє визначати синхронне та індивідуальне боксування, що завдяки своєчасному розпізнаванню моменту початку боксування дозволило покращити тягові властивості дизель-поїзда та зменшити зношування бандажів колісних пар.

Четвертий розділ присвячено питанню вдосконалення підсистеми контролю та діагностики, яка є частиною КСК дизель-поїзда ДЕЛ-02.

Однією з найважливіших задач при експлуатації залізничного транспорту є задача контролю стану тягового рухомого складу. Трудність її вирішення обумовлена тим, що машиністу, який управляє сучасним рухомим складом, доводиться враховувати велику кількість різних змінних і забезпечувати виконання значного числа показників, часта оперативна оцінка яких людиною

під час руху практично неможлива. КСК дизель-поїзда ДЕЛ-02 містить підсистему контролю та діагностики, яка заснована на використанні інтегрального таксономічного показника, по величині якого робиться висновок про якість функціонування дизель-поїзда.

Ця підсистема формує сигнал, який є інтегральною оцінкою стану енергетичної системи дизель-поїзда на конкретній позиції контролера машиніста. Але ця підсистема має недолік – в ній відсутня можливість визначення конкретних параметрів стану дизель-поїзда, які вийшли за припустимі межі. Також при контролі зазначеним методом технічного стану об'єкта в реальному часі виникають труднощі, які пов'язані із запам'ятовуванням великих обсягів інформації.

Для рішення цієї проблеми в дисертаційній роботі пропонується виконувати контроль із застосуванням штучних нейронних мереж, побудувавши систему в рекурентній формі та доповнити існуючу підсистему пороговими пристроями (рис. 5).

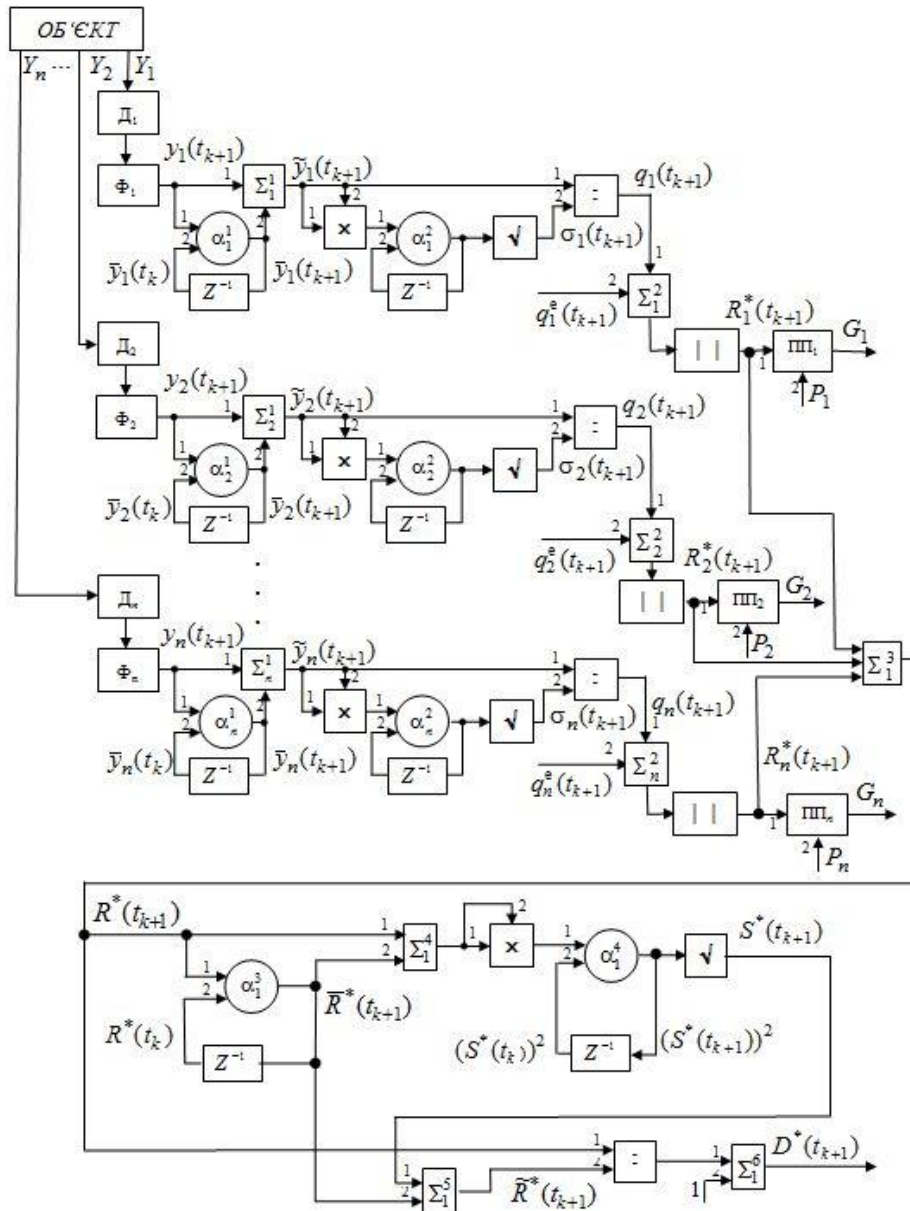


Рисунок 5 – Нейронна мережа для обчислення таксономічного показника

Нейронна мережа в процесі діагностики об'єкта виконує розрахунок послідовності значень таксономічного показника. Якщо одержувані оцінки приблизно однакові та близькі до одиниці, це означає, що функціонування об'єкта, який діагностується, оптимально. У іншому випадку значення таксономічного показника будуть зменшуватися.

В структурі нейронної мережі (рис. 5) є виходи, що сигналізують про відхилення кожного з параметрів $R_i^*(t_{k+1})$, $i = \overline{1, n}$ від оптимального значення, що дозволяє визначити, які зі змінних y_i ($i = \overline{1, n}$) стали відрізнятися від еталонних у контрольованих режимах. Це відкриває можливості до швидкого усунення виникаючих розладнань і відхилень від оптимальних режимів при функціонуванні технічних об'єктів. Використання таксономічного показника в підсистемі контролю та діагностики стану дизель-поїзда ДЕЛ-02 дало можливість вести контроль функціонування енергетичних систем поїзда в реальному часі.

Випробування цієї підсистеми показали, що під час руху дизель-поїзда на рівній ділянці шляху значення таксономічного показника знаходиться в діапазоні від 0,8 до 1, що свідчить про штатний режим його роботи. Якщо значення таксономічного показника нижче 0,8, це свідчить про неоптимальний режим функціонування об'єкта або про виникненні позаштатної ситуації. На рис. 6 показана зміна значень деяких спостережуваних змінних при виникненні боксування.

З рис. 6 видно, що в момент часу $t = 23$ сек. відносно початку запису почалося боксування першої КП, а в момент часу $t = 25$ сек. – другої КП. Про це свідчить зниження струмів ТАД1 (рис. 6, а, крива 1) і ТАД2 (рис. 6, а, крива 2), а також підвищення частот обертання роторів ТАД1 (рис. 6, б, крива 1) і ТАД2 (рис. 6, б, крива 2). В момент часу $t = 27$ сек. боксування припинилося, про що свідчить повернення до норми цих параметрів.

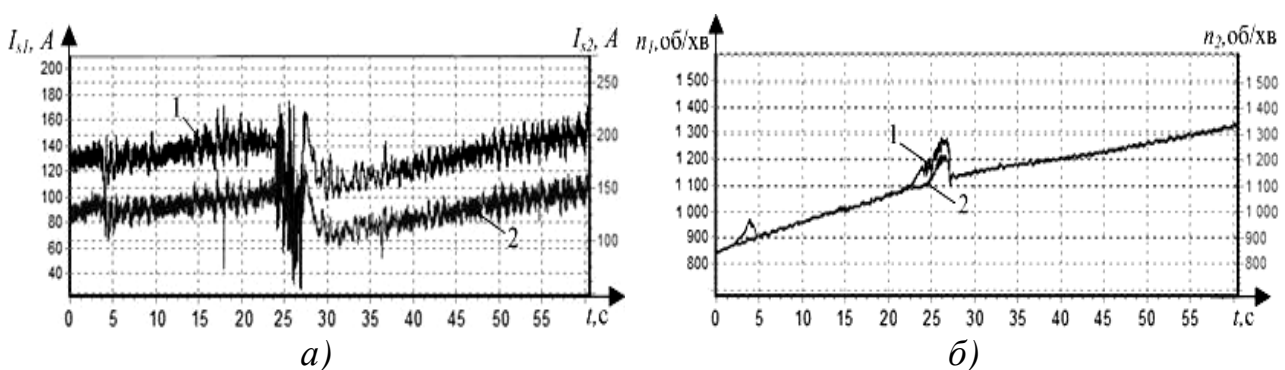


Рисунок 6 – Графік зміни процесів при виникненні позаштатної ситуації

На графіку зміни таксономічного показника (рис. 7) описаний процес відображено у появі короткочасного сплеску, який сигналізує про виникнення позаштатної ситуації, а значення показника з самого початку свідчить про роботу об'єкта в неоптимальному режимі. При цьому, розроблений програмний компонент виконує розрахунок відхилення контрольованих параметрів від оптимальних значень.

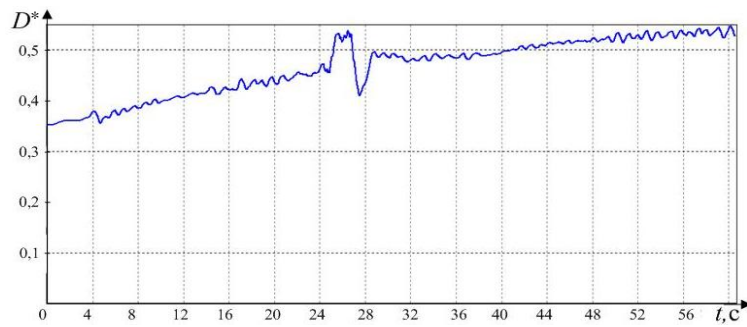


Рисунок 7 – Графік зміни таксономічного показника при виникненні позаштатної ситуації

Таким чином, виконано вдосконалення підсистеми контролю та діагностики стану дизель-поїзда ДЕЛ-02 шляхом розробки програмного компонента, який реалізує алгоритм роботи рекурентної нейронної мережі та забезпечує оперативний контроль перевищення граничних значень параметрів дизель-поїзда та визначає процеси, що пов'язані з його вузлами, які працюють в позаштатному режимі.

У додатках наведено текст програми генетичного алгоритму по визначенню параметрів ТАД; акти впровадження результатів наукових досліджень дисертаційної роботи; список публікацій здобувача за темою дисертації.

ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі вирішено науково-практичну задачу розроблення та дослідження моделей, методів та програмних компонентів бортової комп'ютерної системи керування дизель-поїзда для уточнення метода тягових розрахунків. Проведені в дисертаційній роботі дослідження дали можливість отримати наступні основні результати:

1. В результаті аналізу сучасних комп'ютерних систем керування тяговим рухомим складом показано, що одним з напрямків вдосконалення існуючої бортової комп'ютерної системи керування дизель-поїзда є розроблення високоефективних методів керування, контролю та діагностики і їх подальша реалізація у вигляді програмних компонентів цієї системи для підвищення тягових властивостей дизель-поїзда.

2. Запропоновано метод та програмний компонент, який виконує ідентифікацію параметрів моделі дизель-поїзда, що враховує зміну параметрів електропривода під час руху дизель-поїзда та виконує підстроювання параметрів моделі електроприводу в реальному часі, це дозволяє точніше розраховувати керуючі впливи для керування об'єктом. При цьому ідентифікація виконується на двох рівнях: на нижньому рівні розраховуються параметри ТАД, які в подальшому використовуються для реалізації тягового моменту, а на верхньому рівні виконується коригування залежності, яка описує момент опору руху.

3. Розроблено метод та програмний компонент, що реалізує розрахунок величини струму статора кожного тягового асинхронного двигуна не по середньому, а по діючому значенню його першої гармоніки, тому що саме вона

використовується при формуванні корисного обертаючого моменту, що дозволяє у середньому на 3% уточнювати закон керування електропередачею.

4. Розроблено математичну модель, яка дозволяє проводити дослідження процесів в електропередачі, що виникають при боксуванні, та запропоновано метод виявлення боксування колісних пар дизель-поїзда з використанням нечіткої логіки, застосування якого дозволяє виявляти синхронне та індивідуальне боксування. Застосування програмного компонента, який реалізує запропонований метод на реальному об'єкті, дозволило скоротити час виявлення боксування на 20%, зменшити кількість хибних спрацювань, зменшити зношування бандажів колісних пар та, в загальному випадку, дозволило підвищити тягові властивості дизель-поїзда.

5. Для підсистеми контролю та діагностики стану дизель-поїзда розроблено програмний компонент, що реалізує алгоритм роботи рекурентної нейронної мережі, яка наряду з виявленням відхилення параметрів від оптимальних значень на кожній позиції контролера машиніста забезпечує оперативний контроль перевищення граничних значень параметрів об'єкта та визначає процеси, що пов'язані з його вузлами, які працюють в позаштатному режимі, що підвищило якість контролю та діагностики стану дизель-поїзда.

6. Проведені експериментальні дослідження вдосконаленої комп'ютерної системи керування дизель-поїзда ДЕЛ-02 як на рівні математичного моделювання, так і на реальному об'єкті, які підтвердили достовірність запропонованих рішень по уточненню метода тягових розрахунків.

7. Результати дисертаційної роботи впроваджені в моторвагонному депо «Христинівка» регіональної філії «Одеська залізниця» (м. Христинівка) та в навчальному процесі НТУ «ХПІ» на кафедрі обчислювальної техніки та програмування (м. Харків).

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Гейко Г. В. Идентификация параметров тягового асинхронного привода дизель-поезда / Н. В. Мезенцев, А. Ю. Заковоротный, Г. В. Гейко // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Інформатика та моделювання. – Харків : НТУ «ХПІ», 2014. – № 35 (1078). – С. 141 – 146.

Здобувач запропонував метод ідентифікації параметрів тягового асинхронного привода, який використано для побудови відповідного програмного компонента.

2. Гейко Г. В. Моделирование системы обнаружения и защиты от боксования дизель-поезда / В. И. Носков, Н. В. Мезенцев, Г. В. Гейко // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Інформатика та моделювання. – Харків : НТУ «ХПІ», 2014. – № 62 (1104). – С. 103 – 108.

Здобувач розробив модель для дослідження боксування колісних пар дизель-поїзда, яка використана при побудові програмного компонента виявлення боксування.

3. Гейко Г. В. Метод определения гармонического состава фазного тока статора асинхронного двигателя в системах регулируемых приводов / В. И. Носков, Н. В. Мезенцев, Г. В. Гейко, М. В. Липчанский // Системи обробки інформації: збірник наукових праць. – Харків : Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 2015. – № 7 (132). – С. 59 – 61.

Здобувач вдосконалив метод визначення гармонійного складу струму статора тягового асинхронного двигуна, який використано для вдосконалення метода тягових розрахунків.

4. Гейко Г. В. Анализ интегральных показателей для контроля тягового подвижного состава / В. Д. Дмитриенко, Г. В. Гейко, Н. В. Мезенцев, С. Ю. Леонов // Системи обробки інформації: збірник наукових праць. – Харків : Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 2015. – № 12 (137). – С. 20 – 22.

Здобувач розробив новий інтегральний показник для використання його в підсистемі контролю та діагностики бортової комп'ютерної системи керування дизель-поїзда.

5. Гейко Г. В. Способ обнаружения и защиты от боксования дизель-поезда на основе нечёткой логики / В. Д. Дмитриенко, В. И. Носков, Н. В. Мезенцев, Г. В. Гейко // Системи управління, навігації та зв'язку. – Полтава : Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, 2017. – № 6 (46). – С. 65 – 69.

Здобувач розробив спосіб виявлення боксування колісних пар дизель-поїзда на основі нечіткої логіки, який використано при побудові програмного компонента виявлення боксування.

6. Гейко Г. В. Разработка новых программных компонент для системы управления дизель-поездом / Г. В. Гейко // Інформаційно – керуючі системи на залізничному транспорті. – Харків : УкрДУЗТ, 2018. – № 2. – С. 23 – 31.

7. Гейко Г. В. Идентификация параметров асинхронного привода с использованием генетического алгоритма / Н. В. Мезенцев, Г. В. Гейко // Электротехнические системы и комплексы. – Магнитогорск : Изд. МГТУ им. Г. И. Носова, 2014. – № 4 (25) – С. 14 – 17.

Здобувач запропонував метод ідентифікації параметрів тягового асинхронного привода з використанням генетичного алгоритму, який використано для побудови відповідного програмного компонента.

8. Гейко Г. В. Идентификация параметров модели движения дизель-поезда / М. В. Мезенцев, Г. В. Гейко, С. В. Горпинко // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я. Тези доповідей XXII Міжнародної науково-практичної конференції. – Харків : НТУ «ХП», 2014. – С. 48.

Здобувач запропонував використовувати метод ідентифікації параметрів моделі, яка описує рух дизель-поїзда, який використано для побудови відповідного програмного компонента.

9. Гейко Г. В. Идентификация параметров асинхронного привода дизель-поезда с использованием генетического алгоритма / Н. В. Мезенцев, Г. В. Гейко // Проблеми інформатики і моделювання. Тезиси XIV Міжнародної науково-технічної конференції. – Харків – Ялта : НТУ «ХП», 2014. – С. 25.

Здобувач запропонував використовувати метод ідентифікації параметрів тягового асинхронного привода з використанням генетичного алгоритму, який

використано для побудови відповідного програмного компонента.

10. Гейко Г. В. К вопросу определения гармонического состава фазного тока статора асинхронного двигателя в системах регулируемых приводов / В. И. Носков, Н. В. Мезенцев, Г. В. Гейко // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я. Тези доповідей XXIII Міжнародної науково-практичної конференції. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – С. 73.

Здобувач запропонував вдосконалення метода визначення гармонійного складу струму статора тягового асинхронного двигуна, який використано для уточнення метода тягових розрахунків.

11. Гейко Г. В. Машинная модель электропередачи дизель-поезда с тяговыми асинхронными двигателями / В. И. Носков, М. В. Липчанский, Н. В. Мезенцев, Г. В. Гейко // Проблеми інформатики і моделювання. Тезиси XV міжнародної науково-технічної конференції. – Харків – Одеса : НТУ «ХПІ», 2015. – С. 64.

Здобувач запропонував для підвищення якості керування електропередачею дизель-поїзда використовувати першу гармоніку струму статора.

12. Гейко Г. В. Использование таксономического показателя для контроля и диагностики технических объектов / В. Д. Дмитриенко, Н. В. Мезенцев, Г. В. Гейко // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я. Тези доповідей XXIV Міжнародної науково-практичної конференції. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – С. 118.

Здобувач запропонував новий інтегральний показник для використання його в підсистемі контролю та діагностики бортової комп'ютерної системи керування дизель-поїзда.

13. Гейко Г. В. Задачи совершенствования измерительно-информационной и управляющей системы дизель-поезда ДЭЛ-02 / В. Д. Дмитриенко, Н. В. Мезенцев, Г. В. Гейко // Інформатика, управління та штучний інтелект. Матеріали III міжнародної науково-технічної конференції студентів, магістрів та аспірантів. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – С. 23.

Здобувач запропонував для оптимізації процесів руху дизель-поїзда використовувати параметричну ідентифікацію його моделі з використанням системи підтримки прийняття рішень машиністом.

14. Гейко Г. В. Синтез законов управления подвижным составом на основе применения принципа максимума Понтрягина / В. Д. Дмитриенко, Н. В. Мезенцев, Г. В. Гейко // Проблеми інформатики та моделювання. Тезиси XVII міжнародної науково-технічної конференції. – Харків – Одеса : НТУ «ХПІ», 2017. – С. 31.

Здобувач розглянув рішення задачі максимальної швидкодії з використанням бортової комп'ютерної системи керування дизель-поїзда.

15. Гейко Г. В. Разработка компонента обнаружения и защиты от боксования для компьютерной бортовой системы дизель-поезда на основе нечёткой логики / В. И. Носков, Н. В. Мезенцев, Г. В. Гейко // Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту. Матеріали міжнародної наукової конференції. – Херсон : Видавництво ФОП Вишемирський В. С., 2018. – С. 90 – 92.

Здобувач запропонував метод виявлення боксування колісних пар дизель-поїзда на основі нечіткої логіки, який використано при побудові програмного компонента виявлення боксування.

АНОТАЦІЇ

Гейко Г.В. Моделі, методи та програмні компоненти бортової комп'ютерної системи дизель-поїзда. На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти. – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, 2019.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню науково-практичної задачі, яка полягає в розробленні та дослідженні моделей, методів та програмних компонентів бортової комп'ютерної системи керування дизель-поїзда з метою уточнення метода тягових розрахунків.

В дисертації запропоновано метод і програмний компонент, який виконує ідентифікацію параметрів моделі дизель-поїзда та враховує зміну параметрів електропривода під час руху дизель-поїзда, а також здійснює підстроювання параметрів моделі електропривода в реальному часі, що дозволяє точніше розраховувати керуючі впливи для керування об'єктом. Розроблено метод і програмний компонент, який реалізує розрахунок величини струму статора кожного тягового асинхронного двигуна не по середньому, а по діючому значенню його першої гармоніки, що дозволило уточнити закон керування електропередачею. Розроблено математичну модель, яка дозволяє проводити дослідження процесів в електропередачі, які виникають при боксуванні. Запропоновано метод та програмний компонент виявлення боксування колісних пар дизель-поїзда з використанням нечіткої логіки, застосування якого дозволило виявляти синхронне та індивідуальне боксування, скоротити час виявлення боксування та підвищити тягові властивості дизель-поїзда. Розроблено програмний компонент, який реалізує алгоритм роботи рекурентної нейронної мережі, яка поряд з виявленням відхилення параметрів від оптимальних значень на кожній позиції контролера машиніста забезпечує оперативний контроль перевищення граничних значень параметрів об'єкта та визначає процеси, що пов'язані з вузлами об'єкта, які працюють у позаштатному режимі, що підвищило якість контролю та діагностики стану дизель-поїзда.

Проведені експериментальні дослідження вдосконаленої комп'ютерної системи керування дизель-поїзда ДЕЛ-02 як на рівні математичного моделювання, так і на реальному об'єкті, підтвердили достовірність запропонованих рішень по уточненню метода тягових розрахунків.

Ключові слова: комп'ютерна система керування, програмний компонент, тяговий асинхронний двигун, нейронна мережа.

Гейко Г. В. Модели, методы и программные компоненты бортовой компьютерной системы дизель-поезда. На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.05 – компьютерные системы и компоненты. – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, 2019.

Диссертационная работа посвящена решению научно-практической задачи, которая заключается в разработке и исследовании моделей, методов и программных компонентов бортовой компьютерной системы управления дизель-поезда с целью уточнения метода тяговых расчетов.

В диссертации предложен метод и программный компонент, который выполняет идентификацию параметров модели дизель-поезда и учитывает изменение параметров электропривода во время движения дизель-поезда, а также осуществляет подстройку параметров модели электропривода в реальном времени, что позволяет точнее рассчитывать управляющие воздействия для управления объектом. Разработан метод и программный компонент, который реализует расчёт величины тока статора каждого тягового асинхронного двигателя не по среднему, а по действующему значению его первой гармоники, что позволило уточнить закон управления электропередачей.

Разработана математическая модель, которая позволяет проводить исследование процессов в электропередаче, которые возникают при боксовании. Предложен метод выявления боксования колёсных пар дизель-поезда с использованием нечёткой логики, применение которого позволяет обнаруживать синхронное и индивидуальное боксование. Применение программного компонента, который реализует предложенный метод на реальном объекте, позволило сократить время выявления боксования, уменьшить количество ошибочных срабатываний, уменьшить износ бандажей колёсных пар, повысить тяговые свойства дизель-поезда.

Для подсистемы контроля и диагностики состояния дизель-поезда разработан программный компонент, который реализует алгоритм работы рекуррентной нейронной сети, которая, наряду с выявлением отклонения параметров от оптимальных значений на каждой позиции контролера машиниста, обеспечивает оперативный контроль превышения предельных значений параметров объекта и определяет процессы, связанные с узлами объекта, которые работают во внештатном режиме, что повысило качество контроля и диагностики состояния дизель-поезда.

Практическое значение полученных результатов для синтеза бортовых компьютерных систем и компонентов подвижного состава заключается в следующем: реализована математическая модель движения дизель-поезда, которая используется для расчета управляющих воздействий с учетом изменения параметров электропривода и момента сопротивления в процессе движения дизель-поезда; разработан программный компонент, который реализует идентификацию параметров электропривода и момента сопротивления во время движения дизель-поезда; разработан метод и программный компонент, который реализует расчет величины тока статора каждого тягового асинхронного двигателя не по среднему, а по действующему значению его первой гармоники; реализована математическая модель электромеханической части тяговых асинхронных приводов дизель-поезда; разработан программный компонент, который на основе нечёткой логики выполняет выявление боксования колесных пар дизель-поезда; разработан программный компонент, который реализует алгоритм работы рекуррентной

нейронной сети для подсистемы контроля и диагностики состояния дизель-поезда.

Проведенные экспериментальные исследования усовершенствованной компьютерной системы управления дизель-поезда ДЕЛ-02 как на уровне математического моделирования, так и на реальном объекте, подтвердили достоверность предложенных решений по уточнению метода тяговых расчетов.

Ключевые слова: компьютерная система управления, программный компонент, тяговый асинхронный двигатель, нейронная сеть.

Heiko H.V. Models, methods and software components of the diesel-train onboard computer system. Manuscript.

There is the dissertation of the obtaining the scientific degree of the technical sciences candidate in specialty 05.13.05 – computer systems and components – National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, 2019.

The dissertation solves the scientific and practical problem of development and researching models, methods and software components of the diesel-train onboard computer control system to clarify the traction calculations method.

The dissertation proposes a method and a software component that identifies the parameters of the diesel-train model and takes into account changes in the parameters of the electric drive during the movement of the diesel-train, it also adjusts the electric drive model parameters in real time, which makes it possible to calculate the control actions parameters to control the object. A method and a software component, that implements the calculation of the stator current value of each traction asynchronous motor not by the mean, but by the effective value of its first harmonic, have been developed, it made possible to clarify the law of the electric drive control. A mathematical model, that allows to research the processes of the electric drive that occur during slipping of the wheelsets, has been developed. A method and a software component for detecting the slipping of the wheelsets of a diesel-train using fuzzy logic has been proposed, the usage of which allows to detect a synchronous and an individual wheelsets slipping, reduce the time of detection of the wheelsets slipping and improve the traction properties of the diesel-train. A software component that implements the algorithm of the recurrent neural network, which, along with identifying the deviation of parameters from the optimal values at each position of the train driver controller, provides operational control of exceeding the object's limit values and defines the processes that are associated with the nodes of the object that operate in the abnormal mode, has been developed. That improved the quality of control and diagnostics of the diesel-train.

Experimental studies of the improved computer control system of the diesel-train DEL-02, at the level of mathematical modeling and at the real facility, confirmed the validity of the proposed solutions to clarify the traction calculations method.

Keywords: computer control system, software component, traction asynchronous motor, neural network.



Відповідальний за випуск
Вчений секретар НТУ «ХП»
д.т.н., проф. Заковортний О.Ю.

Підписано до друку 02.04.2019 р. Формат 60x80 1/16.
Папір офсетний. Друк ризографічний. Ум. друк. арк. 0,9.
Наклад 100 прим. Замовлення № 411-19.

Надруковано з готового оригінал-макету у друкарні ФОП В. В. Петров
Єдиний державний реєстр юридичних осіб та фізичних осіб-підприємців.
Запис № 24800000000106167 від 08.01.2009 р.
61144, м. Харків, вул. Гв. Широнінців, 79в, к. 137, тел. (057) 78-17-137.
e-mail:bookfabrik@mail.ua