

В. І. Носков, С. Ю. Гавриленко, М. В. Гейко, В. І. Панченко

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна

КОНТРОЛЬ ВИКОРИСТАННЯ ПОТУЖНОСТІ ДИЗЕЛЯ НА ТЯГУ В УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ДИЗЕЛЬ-ПОЇЗДІВ

Анотація. Об'єктом дослідження є процес контролю використання потужності дизеля на тягу. Предметом дослідження є методи перевірки використання потужності дизеля на тягу. Метою статті є підвищення ефективності роботи дизель-поїзда ДЕЛ-02 при його експлуатації. Отримано такі результати. Досліджено процес функціонування дизель-поїзда ДЕЛ-02 при застосуванні електропередачі з тяговими асинхронними двигунами (ТАД). Отримано, що такій передачі властиві технічні та економічні переваги у порівнянні з традиційними електропередачами з тяговими двигунами постійного струму. В той же час, реалізація цих переваг потребує вирішення ряду проблем, до яких слід віднести створення сучасних систем контролю та діагностики (СКД) стану тягового обладнання. З цією метою до складу електропередачі дизель-поїзда введена СКД, яка виконана на базі персонального комп'ютера зі спеціальним програмним забезпеченням. Ця система виконує порівняння розрахункових значень основних параметрів електропередачі (потужність, тяга, прискорення та ін.) з їх реальними значеннями і надає інформацію машиністу. **Висновки.** Наукова новизна отриманих результатів полягає у розробці методу перевірки використання потужності дизеля на тягу в умовах експлуатації, який відрізняється від відомих розробкою системи контролю та діагностики стану тягового обладнання, що дозволило підвищити ефективність роботи дизель-поїзда при його експлуатації.

Ключові слова: електропередача, тяговий асинхронний двигун, система контролю і діагностики.

Вступ

Застосування в електропередачах локомотивів ТАД у порівнянні з двигунами постійного струму дозволяє підвищити потужність встановленого обладнання (при тій же масі), зменшити динамічні впливи на екіпаж та колію, підвищити точність, технологічність, знизити вартість і експлуатаційні витрати. В той же час, наявність достатньо складного обладнання і можливі негативні наслідки його відмов, обумовлюють необхідність створення сучасної СКД тягового обладнання для раннього виявлення несправностей. Рішення цієї задачі потребує використання методів і алгоритмів інтелектуальної діагностики та засобів з використанням мікропроцесорних систем (МПС).

Аналіз літератури. Тягово-енергетичні розрахунки є однією з основних задач, які треба вирішувати для ефективного управління процесами перевезення на залізниці. Ці розрахунки для визначення енергозаощаджуючих траєкторій руху локомотива передбачають пошук раціональної залежності витрат енергоресурсів із часом при русі поїзда [1 – 4], а їх результати будуть достовірними тільки при належній якості роботи основних складових енергетичної системи.

Режим ведення локомотива можна розбити на фази:

- пуск та розгін до виходу на обрану ходову характеристику;
- рух при включених ТАД;
- рух на вибігу при вимкнених ТАД і регульовальне гальмування на спусках для того, щоб підтримати швидкість на заданому рівні;
- гальмування для зниження швидкості локомотива перед зупинками.

При профілі шляху, на якому чергуються підйоми, спуски, горизонтальні ділянки, доцільно вести локомотив при включеному контролері – при цьому

регулювання швидкості руху здійснюється шляхом зміни сили тяги [5].

Стратегія обслуговування локомотивів з переходом від планово-попереджувального обслуговування до обслуговування і ремонту з урахуванням технічного стану передбачає наявність бортової СКД. При цьому повинен дотримуватись принцип достатності, який регламентує використання наявних в системі керування датчиків зворотних зв'язків. На теперішній час немає єдиного системного підходу до питань діагностики рухомого складу, тому постійно продовжуються розробки нових засобів та методів контролю.

Тягова електропередача дизель-поїзда здійснює передачу потужності дизеля до рушійних колес і належить до основних складових, які визначають якість роботи локомотива. Електропередача поїзда з ТАД містить МПС керування, що дає можливість одночасного створення СКД стану тягового обладнання з використанням засобів обчислювальної техніки. Наявність такої складової в системі керування електропередачі дозволяє виконувати безперервний контроль функціонування електропередачі при експлуатації не порушуючи штатної роботи дизель-поїзда та інформувати машиніста про відхилення параметрів від нормативних. В даному випадку контролю підлягають: потужність дизеля по позиціях контролера машиніста, використання вільної потужності дизеля на тягу, реалізація тягових характеристик дизель-поїзда та їх показників: швидкість, прискорення та ін.

При розробці бортових систем локомотивів використовуються МПС із застосуванням різних датчиків. Для ефективної роботи цих систем необхідна висока швидкість обміну, висока вірогідність і низький рівень помилок передачі інформації.

В якості високопродуктивного і надійного інтерфейсу для обміну даними між різними блоками системи управління і діагностування використовується протокол CAN (Controller Area Network). Цей вибір

зумовлений високою перешкодозахищеністю, можливістю розвитку та відносною простотою реалізації [6]. Основною рисою цього протоколу є можливість працювати на основі техніки розподілених повідомлень – інформація, передана в мережі, доступна для прийому будь-яким вузлом системи, який приймає рішення про обробку або ігнорування повідомлення. Передача повідомлення в мережі CAN може бути ініційована будь-яким вузлом мережі при вільній шині, вузли можуть обмінюватися інформацією між собою.

В статті розглядається задача безперервного контролю якості роботи тягової електропередачі дизель-поїзда без впливу на її функціонування в процесі руху.

Для вирішення цієї задачі проведено:

- аналіз схеми тягової електропередачі та її системи керування;
- розгляд наявних сигналів зворотних зв'язків системи керування для їх використання в СКД;
- розробка методів та алгоритмів контролю якості роботи електропередачі в штатних режимах експлуатації дизель-поїзда.

Основна частина

Локомотиви однієї серії, які працюють в однакових умовах, можуть мати суттєві розбіжності в тягових характеристиках, потужності та паливній економічності внаслідок розходження їх технічного стану. Ці розбіжності виникають в результаті нормативних допусків на ремонт, знос, в результаті неузгодженості ланок управління дизель-генератора та ін. Втрати потужності та сили тяги можуть виникати при розбіжності потужностей агрегатів, які працюють паралельно на загальне навантаження.

Нерівномірність розподілу струмів, навантажень між ТАД, що працюють паралельно на загальне навантаження, відбувається в результаті розкиду їх швидкісних характеристик. При цьому виникає боксування, перегрів перевантажених двигунів, зниження тягового зусилля і коефіцієнта корисної дії (ККД) тягової передачі. Фактичні режими та тягові показники можуть бути визначені з достатньою достовірністю лише на основі тягово-експлуатаційних випробувань локомотивів на різних ділянках

Таблиця 1 – Потужність дизель-генератора

№ позиції КМ	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Обороти дизеля, об/хвил.	800	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2100
Потужність синх-ронного генератора, P_r , кВт	68,5	72	129	191,7	250	330	381	441	462,3
Сигнал регулятора дизеля, e_{pd} , В	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0

На рис. 1 показана функціональна схема системи регулювання і контролю параметрів моторного вагона поїзда ДЕЛ-02 і наведені такі позначення: АІН ПЧ – автономний інвертор-перетворювач частоти; КМ – контролер машиніста; $n_{км}$ – номер позиції КМ; U_1, U_2, f_1, f_2 – завдання параметрів ПЧ; $n_{дз}, N_{дз}$ – сигнали завдання частоти обертання та потужності дизеля; $n_д, N_д$ – вихідні частота обертання та потужність дизеля; $U_г, f_г$ – напруга і частота генератора; U_{pd} – коригуючий сигнал потужності дизеля; $I_{д1}, I_{д2}$

шляху [7, 8].

При експлуатації автономних локомотивів параметри електропередачі можуть відхилятися від нормативних, що призводить до зниження ефективності та до відмов у роботі локомотива. Для запобігання таких випадків СКД повинна використовувати наявні сигнали зворотних зв'язків без введення додаткових пристроїв виміру параметрів, виконувати оцінку якості роботи електропередачі. З цією метою система, яка реалізована на базі персонального комп'ютера, з використанням розроблених математичних моделей, в реальному часі проводить розрахунки електропередачі та порівнює їх з реальними. При наявності розходжень в роботі системи електропередачі ця інформація доводиться до машиніста.

Для розробки математичних моделей і проведення розрахунків були використані основні параметри дизель-поїзда:

- складеність дизель-поїзда: два головних (моторних) вагона і один причіпний;
 - осьова формула головного вагона: $2_0 - 2_2$;
 - діаметр колеса по колу кочення: 0,95 м (при нових бандажах);
 - маса тари з екіпіровкою: не більше 64 т головного (моторного) вагона і 45 т причіпного;
 - кількість місць для сидіння: не менше 344.
- Тягова передача забезпечує:
- конструкційну швидкість 130 км/г;
 - пускову силу тяги 137 кН;
 - силу тяги тривалого режиму при вимкненому енергопостачанні 54,8 кН;
 - загальний ККД електропередачі в тривалому режимі (при ККД випрямляча та інвертора 0,975) не менше 0,825;
 - максимальне прискорення поїзда при розгоні до швидкості 25 км/г, завантаженню по числу місць для сидіння і 66% маси екіпірувальних матеріалів на прямій горизонтальній ділянці шляху – не менше 0,4 м/с².

На дизель-поїзді ДЕЛ-02 використовується приводний модуль Pover Pack 12V 183 DE фірми MTU (Німеччина) з електронним регулятором ECS-183/1. Потужність дизель-генератора по позиціям контролера машиніста наведена в табл. 1.

– значення активного струму ТАД1 і ТАД2; i_3 – струм збудження генератора; $f_{д1}, f_{д2}, U_{д1}, U_{д2}$ – частоти та напруги живлення ТАД1 і ТАД2; $t_{д1}, t_{д2}$ – температура ТАД1 і ТАД2; n_1, n_2 – частоти обертання роторів ТАД1 і ТАД2; I_{s1}, I_{s2} – значення повного струму ТАД1 і ТАД2 [9].

Аналіз схеми тягової електропередачі дизель-поїзда ДЕЛ-02 (рис. 1) показує, що вона виконана двохконтурною:

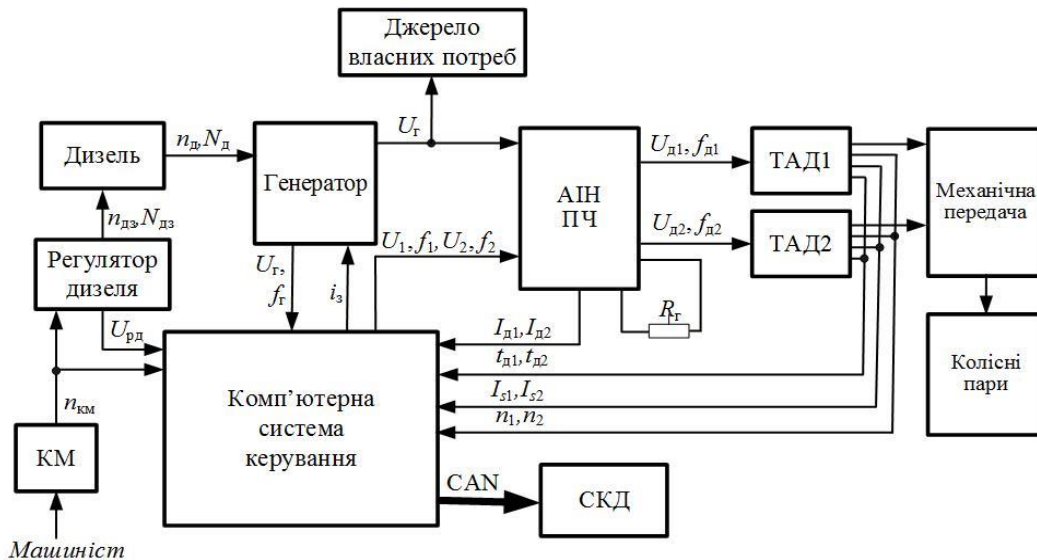


Рис. 1. Функціональна схема системи регулювання і контролю параметрів моторного вагона поїзда ДЕЛ-02

– перший контур забезпечує необхідні характеристики тягового синхронного генератора у всьому діапазоні роботи поїзда,

– другий контур забезпечує живлення ТАД від ПЧ.

МПС керування використовує необхідну кількість сигналів зворотних зв'язків, які характеризують параметри електропередачі. Ці сигнали також заведені в СКД і дозволяють виконувати необхідні розрахунки. Потужність, яку розвиває дизель, визначається за виразом:

$$P_{\text{диз}} = P_{\text{ен}} + P_{\text{он}} + P_{\text{он}}, \quad (1)$$

де $P_{\text{ен}}$ – потужність електропередачі; $P_{\text{он}}$ – потужність допоміжних потреб; $P_{\text{он}}$ – потужність опалення пасажирських салонів.

Потужність, яку використовує електропередача, розраховується за формулою:

$$P_{\text{диз}} = \frac{U_{\text{д}} \cdot I_{\text{д}}}{\eta_{\text{г}} \cdot \eta_{\text{ву}}}, \quad (2)$$

де $U_{\text{д}}$, $I_{\text{д}}$ – значення напруги і струму на виході випрямної установки; $\eta_{\text{г}}$, $\eta_{\text{ву}}$ – ККД генератора і випрямної установки.

Отримана розрахунковим шляхом потужність дизеля порівнюється з її значенням згідно з даними, які наведені в табл. 1. Наявність чи відсутність відхилення потужності дизеля від нормативних значень також підтверджується сигналами з електронного регулятора дизеля ($U_{\text{рд}}$), який повинен дорівнювати 5 В. Відхилення цього значення в ту чи іншу сторону показує або перевантаження дизеля ($U_{\text{рд}} < 5 \text{ В}$), або недовикористання його потужності ($U_{\text{рд}} > 5 \text{ В}$).

Оцінка якості використання потужності дизеля на тягу виконується за допомогою математичної моделі дизель-поїзда, яка може бути представлена основним рівнянням руху дизель-поїзда:

$$J \frac{dw}{dt} = M_m - M_o, \quad (3)$$

де J – момент інерції ($J = mR_k^2$); m – маса поїзда; R_k – радіус колеса; w – кутова швидкість колеса ($w = V / R_k$); V – швидкість руху поїзда; M_m – момент тяги; M_o – момент опору руху.

Після отримання сигналів зворотних зв'язків із системи керування маємо:

$$F = G \cdot (102 \cdot (1 + \gamma) \cdot a + W_0), \quad (4)$$

де F – тягове зусилля; G – вага дизель-поїзда; $(1 + \gamma)$ – коефіцієнт інерції обертючих мас ($\gamma = 0,1$), a – прискорення; W_0 – опір руху дизель-поїзда. Також:

$$F = \frac{P_k}{3,6 \cdot V}, \quad (5)$$

де P_k – потужність на тягових вісях дизель-поїзда, яка знаходиться за виразом:

$$P_k = P_{\text{ву}} \cdot \eta_{\text{аі}} \cdot \eta_{\text{ред}}, \quad (6)$$

де $\eta_{\text{аі}}$, $\eta_{\text{ред}}$ – ККД автономного інвертора і редуктора відповідно.

На рис. 2 наведена тягова характеристика дизель-поїзда – це залежність сили тяги від швидкості руху при різних режимах роботи тягових двигунів в межах обмежень за надійністю, стійкістю і безпекою руху.

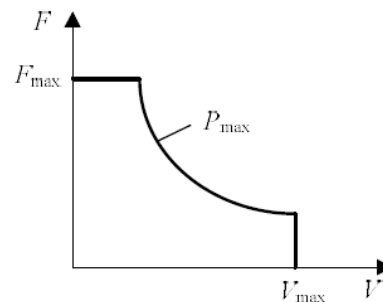


Рис. 2. Тягова характеристика дизель-поїзда для максимальної потужності дизеля (F_{max} , P_{max} , V_{max} – максимальні значення тяги, потужності та швидкості відповідно)

Найбільша величина сили тяги необхідна при торканні поїзда з місця, при наборі швидкості та при русі найбільш крутим підйомом [10]. Момент опору в процесі руху поїзда обчислюється рівнянням:

$$M_o = i \cdot R_k \cdot W_o \cdot G, \quad (7)$$

$$W_o = 1,1 + 0,012 \cdot V + 0,00025 \cdot V^2, \quad (8)$$

де i – коефіцієнт схилу, який відомий для конкретного відрізка шляху, на якому проводяться дослідження (для горизонтальної ділянки $i = 1$).

Отримане значення тяги порівнюється з тяговою характеристикою дизель-поїзда і має відповідати їй у всьому діапазоні швидкостей.

На рис. 3 наведена функціональна схема моделі блоку обчислення тяги.

Згідно з виразом (4) обчислюється значення прискорення руху дизель-поїзда, яке потім порівнюється з реальним (збіг цих значень підтверджує якість роботи мотор-колісних блоків дизель-поїзда). Цей метод був використаний в системі управління і контролю електропередачі дизель-поїзда ДЕЛ-02.

Висновки

Проведено аналіз схеми тягової електропередачі дизель-поїзда ДЕЛ-02 та її системи керування.

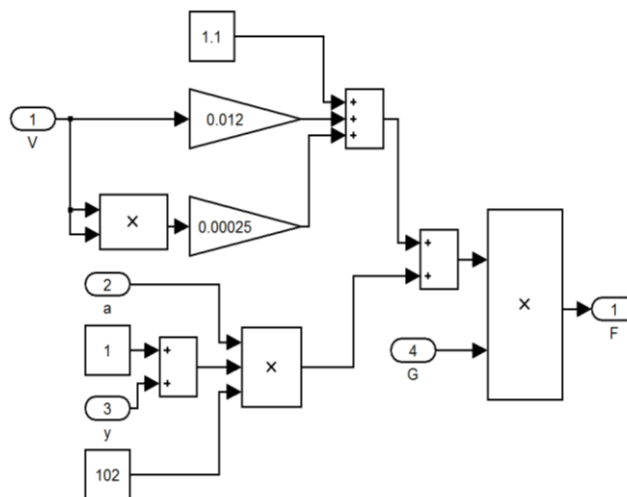


Рис. 3. Функціональна схема моделі блоку обчислення тяги

Результати аналізу з урахування особливостей схеми тягової електропередачі і ППС керування дозволили розробити метод перевірки використання потужності дизеля на тягу в умовах експлуатації, який був впроваджений в розробку СКД дизель-поїзда ДЕЛ-02. Ця система виявилась ефективною в процесі виконання налагоджувальних робіт на дизель-поїздах ДЕЛ-02, а також при їх експлуатації.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Розроблення алгоритмів формування енергооптимальних режимів руху поїздів / М.Г. Прутула, О.А. Пасечник // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного ун-ту залізн. трансп. – № 6 (78). – 2018. – С. 82 – 100.
2. Логвінова Н.О. Зменшення експлуатаційних витрат за допомогою енергооптимального руху поїздів / Н.О. Логвінова, Д.О. Босий, О.М. Полях. – Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – Д., 2012. – Вип. 42. – С. 110 – 113.
3. Мозолевиц Г.Я., Троян А.В. Енергоефективне керування поїздопотоком як засіб удосконалення перевізного процесу / Збірник наукових праць ДНУЗТ «Транспортні системи та технології перевезень» – Вип. 10. – 2015. – С. 80 – 87.
4. Щербак Я.В. Аналіз варіантів вибору критерію оптимізації енерговитрат на тягові потреби рухомого складу залізниць / Я.В. Щербак, В.П. Нерубацький // Збірник наукових праць УкрДАЗТ, 2011. – Вип. 127. – С. 137 – 142.
5. Кислий Д.М. Визначення енергоощаджуючих режимів ведення поїздів / Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту. – № 1 (61). – 2016. С. 71 – 84.
6. Боднар Є.Б. Основні вимоги та принципи створення бортових систем діагностування локомотивів / Є.Б. Боднар. – Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського нац. ун-ту залізн.транспорту, 2014, № 1 (49). – С. 68 – 74.
7. Брагін М.І. Аналіз праць вчених по визначенню техніко-економічних показників тягових транспортних засобів / М.І. Брагін, М.В. Володарець, А.П. Фалендиш // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В.Даля, 2017. – № 3 (233). – с. 31 – 35.
8. Дослідження факторів та оцінка рівня їх впливу на показник питомих витрат електроенергії рухомого складу / А.О. Сулим, О.О. Мельник, О.В. Бялобржеський, А.І. Ломонос // Вісник східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – № 4 (268). – 2021. – С. 118 – 127.
9. Перевірка і налаштування параметрів тягового електроприводу у стаціонарних режимах / В.І. Носков, В.С. Блиндюк, В.В. Скороделов, Г.В. Гейко // Системи управління, навігації та зв'язку. – Полтава: НУ «ПП», 2021. – Вип. 3 (65). – С. 56 – 59.
10. Основи електричної тяги: навч. посібник / В.Х. Далека, П.М. Пушков, В.П. Андрійченко, Ю.В. Мінеєва // Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. – Харків: ХНАМГ, 2012. – 312 с.

Received (Надійшла) 22.09.2024

Accepted for publication (Прийнята до друку) 06.11.2024

Control of the use of diesel power for traction in the conditions of operation of diesel trains

Valentin Noskov, Svitlana Gavrylenko, Maksym Heiko, Volodymyr Panchenko

Abstract. The object of the study is the process of controlling the use of diesel power for traction. The subject of the study is methods of checking the use of diesel power for traction. The purpose of the article is to increase the efficiency of the DEL-02 diesel train during its operation. The following results were obtained. The process of operation of the DEL-02 diesel train when using power transmission with traction asynchronous motors (TAD) was studied. It was found that such a transmission has technical and economic advantages in comparison with traditional electrical transmissions with DC traction motors. At the same time, the realization of these advantages requires the solution of a number of problems, which include the creation of modern control and diagnosis systems (CDS) of the state of the traction equipment. For this purpose, an CDS was introduced into the diesel train's power transmission, which is made on the basis of a personal computer with special software. This system compares the calculated values of the main transmission parameters (power, traction, acceleration, etc.) with their real values and provides information to the driver.

Keywords: power transmission, traction asynchronous motor, control and diagnostics system.