

УДК 629.4.018

МЕТОДИКА ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ЕЛЕКТРОДИНАМІЧНОГО ГАЛЬМУВАННЯ

Яровий Р.О., Чернецька-Білецька Н.Б.

METHOD OF IMMATIOUS MODELING OF ELECTRODYNAMIC BRAKING PROCESSES

Yarovoy R., Chernetska–Biletska, N.

Метою дослідження є створення методики імітаційного моделювання показників роботи маневрового тепловозу ЧМЕЗТ при електродинамічному гальмуванні на сортувальній горці. Запропонований новий підхід для визначення техніко-економічних показників. Розроблено методику та створена імітаційна математична модель процесів, які заснована на виконанні тягових та електродинамічних розрахунків. Приведено алгоритм розрахунків показників електродинамічного гальмування на сортувальній горці. Встановлений зв'язок між витратами палива та накопичувачем енергії у силовому ланцюзі маневрового локомотива ЧМЕЗТ. Для зниження енергетичних витрат на маневрову роботу розглянуто питання ефективності застосування накопичувачів енергії на маневрових локомотивах типу ЧМЕЗТ. Проведений порівняльний аналіз витрат палива та динамічних показників при використанні накопичувача енергії у силовому ланцюзі та без нього.

Ключові слова: рухомий склад, маневрова робота, тяговий розрахунок, модернізація маневрових локомотивів, електродинамічне гальмування, накопичення енергії, гібридний привід.

Вступ. У статті запропоновано новий підхід оцінки техніко-економічних показників роботи тепловоза шляхом математичного моделювання процесів, що відбуваються в силовій установці і агрегатах при електродинамічному гальмуванні. Процес гальмування уявимо як стохастичну безліч елементарних операцій, в яких процеси в силовій установці можуть бути змодельовані з будь-яким ступенем точності. Такий підхід дозволяє отримати загальну оцінку техніко-економічних показників роботи маневрового тепловоза.

Аналіз структури витрат паливно-енергетичних ресурсів за всіма технічними засобів і технологій здійснення перевізного процесу на залізничному транспорті дозволяє визначити основні напрямки підвищення енергетичної ефективності і енергозбереження. Основним заходом, спрямованим на зниження рівня споживання паливно-енергетичних ресурсів тяговим рухомим складом, є його модерніза-

ція з пониженням питомої витрати палива на одиницю виконаної роботи і підвищенням ККД, а також його заміна на більш сучасний і енергоефективний рухомий склад.

Одним з інноваційних енергозберігаючих напрямків є застосування енергоємних накопичувачів енергії на маневрових локомотивах.

Постановка проблеми. Основна проблема визначення ефективності використання накопичувачів енергії у маневрових тепловозах полягає у встановленні зв'язку між параметрами накопичувача енергії та споживанням палива маневровим локомотивом.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В роботі Коссов Е.Е.[6] вирішував задачу підвищення якості робочого процесу дизеля в несталих режимах за рахунок використання накопичувача енергії у силовій мережі тепловозу. Також було теоретично обґрунтовано спосіб керування силовою установкою тепловоза з накопичувачем з метою зменшення необхідної розрахованої енергоємності накопичувача. В роботах Є.П. Лосева [5] розглянуто спосіб вибору необхідних параметрів комбінованих силових установок локомотивів на основі завантаження силових установок локомотивів при їх роботі на конкретних ділянках. Тепловий двигун забезпечує деяку середню потужність тепловозу, необхідну в експлуатації, а перевищення або дефіцит тягової потужності покривається накопичувачем, необхідна енергоємність якого визначається за тривалістю режимів зарядження і розрядження, а також за часткою потужності, яку має реалізувати накопичувач в цих режимах. Недоліком цього підходу є те, що вони не враховуються багато факторів які впливають на параметри споживання паливно-енергетичних ресурсів маневрових локомотивів з накопичувачем енергії.

Мета. Мета дослідження це новий підхід оцінки техніко-економічних показників роботи тепловоза шляхом математичного моделювання процесів є оцінка енергоефективності технічних рішень в про-

ектах використання накопичувачів енергії при модернізації маневрових локомотивів.

Результати досліджень. Оцінка енергетичних витрат на маневрові операції є найбільш складним і важливим моментом при виборі накопичувача енергії, так як при цьому необхідно мати математичну модель руху складу, максимально відповідну реальним умовам з урахуванням безупинно мінливих плану і профілю колії, метео умов.

Розроблено методику та створена імітаційна математична модель процесів, пов'язаних з виконанням маневрових робіт, яка заснована на виконанні тягових розрахунків для операції електродинамічного гальмування.

Визначимо питому гальмівну силу локомотива при електродинамічному гальмуванні за такою формулою:

$$b_T = n(0,367C\Phi \cdot I_T + \Delta b_T),$$

де Δb_T - складова гальмівної сили викликана магнітними і механічними втратами, Н;

$C\Phi$ - навантажувальна характеристика;

n - кількість тягових двигунів;

I_T - гальмовий струм, А.

Навантажувальна характеристика пов'язана зі швидкістю руху і залежить від конструктивних особливостей тягового двигуна.

Складова гальмівної сили визначається:

$$\Delta b_T = 0.367 \frac{\Delta P_{mag} + \Delta P_{mex} + \Delta P_n}{v}$$

де ΔP_{mag} - магнітні втрати, Вт;

ΔP_{mex} - механічні втрати, Вт;

ΔP_n - втрати в передачі, Вт;

v - швидкість руху, м/с

Струм гальмування пов'язаний зі швидкість руху поїзда:

$$I_T = \frac{v_i \cdot C\Phi}{\sum R_{\psi}}$$

де $\sum R_{\psi}$ - загальний опір кола двигун та накопичувач, Ом;

Швидкість руху маневрового складу в будь-якій точці визначається за формулою:

$$v_i = v_{i-1} + a\Delta t$$

де a - прискорення (уповільнення) поїзда при дії прискорюючої (сповільнюючої) сили в м/с²;

Δt - крок інтегрування, в розрахунках приймається рівним с;

v_{i-1} - швидкість руху при попередньому кроці, м/с;

В основу даної моделі покладено диференціальне рівняння руху поїзда (маневрового складу):

$$a = \frac{(F - w_q'' - w_l')}{Q} - (S - L_2) \frac{(Qg)}{(1 + \gamma)} + \frac{L_b}{g} + m_l$$

де F - питома сила тяги локомотива, Н;

w_q'' - загальний питомий опір руху рухомого складу, Н/кг;

w_l' - загальний питомий опір руху локомотиву, Н/кг;

L_2 - довжина підгірного шляху, м;

L_2 - довжина насувної частини, м;

S - загальна довжина, м;

γ - коефіцієнт що враховує інерцію рухомого складу;

Q - маса рухомого складу, кг;

Основним фактором, що визначає на прискорення руху маневрового складу, є питома сила тяги маневрового локомотива.

Тягові характеристики локомотивів задаються таблично і змінюються в залежності від розрахункової швидкості руху.

Енергія що вироблюється при електродинамічному гальмуванні можливо оцінити рівнянням:

$$P_i = \frac{v_i^2 - \frac{1}{\eta_e} \left(\frac{\sum R_{\psi} C U^2}{C \Phi^2} \right)}{7.2b}$$

де η_e - ККД накопичувача;

b - коефіцієнт враховуючий масу та інерцію рухомого складу,;

$$b = \frac{3.6n}{(1 + \gamma)Q\eta_v} 10^{-3}$$

де η_v - ККД механічної передачі;

n - кількість двигунів;

Кожен полурейс включає в себе різні за поєднанням поодинокі режими роботи маневрового тепловоза, які залежать від випадкових величин.

Основні режими при маневровій роботі:

- робота дизеля на холостому ходу при стоянках;

- розгін;

- рух з постійною швидкістю;

- робота дизеля на холостому ходу при русі по інерції;

- гальмування.

Виділивши з певного безлічі деякий набір основних характерних одиничних режимів, виконавши тягові розрахунки, що відображають реальні умови експлуатації, можна визначити раціональний алгоритм керування силовою установкою, ефективність застосування накопичувачів енергії у силовому ланцюзі тепловозів, необхідний розподіл витрат енергії між джерелами, витрата палива, витрати часу на виконання маневрової операції і т.п.



Рис 1. Статистичні дані про часу роботи тепловозів на поодиноких режимах

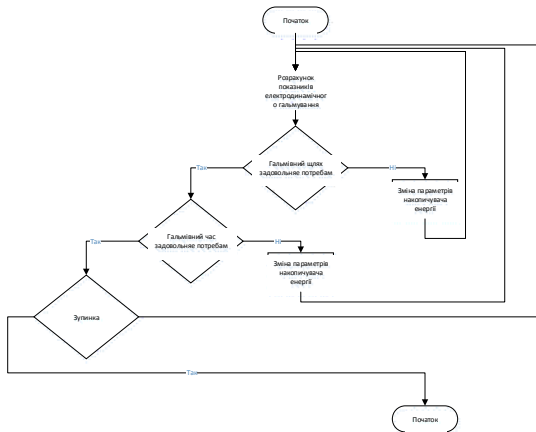


Рис 2. Блок-схема алгоритму розрахунку показників при імітації операції електродинамічного гальмування

Так як основний режим накопичення енергії це режим електродинамічного гальмування розглянемо алгоритм виконання розрахунків цього режиму.

Розрахунок маневрового режиму пов'язаний з аналізом складних залежностей між швидкістю, уповільненням, довжиною та часом гальмування, швидкістю і потужністю та ін.

В статті наведені результати розрахунків при виконанні електродинамічного гальмування на сортувальній горці. Результати розрахунку показників гальмування тепловозом ЧМЕЗТ при розформування складу з 30 вагонів на сортувальній горці станції Лиман з використанням вищеописаної методики представлені на рис. 3.

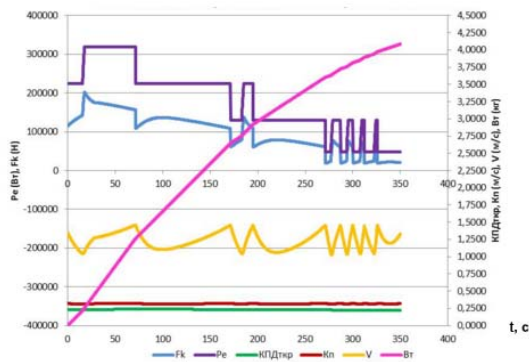


Рис. 3. Показники роботи тепловоза при виконанні електродинамічного гальмування

Висновок. В статті були викладені вимоги та напрями для побудови імітаційної моделі маневро-

вої роботи на горці яка складається представлена у вигляді безлічі одиничних режимів з моделюванням реальних процесів в силових установках і варіюванням маси складу в вигляді випадкової величини. Це дозволить з високою вірогідністю виконати розрахунок показників роботи маневрового тепловоза, уточнити витрата палива і виявити найбільш раціональні режими управління тепловозом, вплив перехідних процесів в дизелі на витрату палива при роботі в різних одиничних режимах і частка витрат палива, що припадає на цей режим на прикладі тепловоза ЧМЕЗТ.

Література

1. Краснянская С.Н. Исследование электрического тормоза с целью повышения экономичности и эксплуатационной надежности тепловозов: Автореферат дис. ... канд. техн. наук./ С.Н. Краснянская – М.:МИИТ, 1979. – 26 с.
2. Казанцев В.П. Выбор оптимальной мощности маневрового локомотива для работы на вытяжке в текущих эксплуатационных условиях и на перспективу [Текст]: дис. к. т. н. / В.П. Казанцев. – М., 1966. – 156с.
3. Гончаров Н.Е. Маневровая работа на железнодорожном транспорте [Текст] / Н.Е. Гончаров, В.П. Казанцев – М.: Транспорт, 1978. – 183 с.
4. Никпелый, С.О. Повышение эффективности работы тепловозов при применении накопителя энергии в силовой цепи [Текст]: дис. ... к. т. н.: спец. 05.22.07 – Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация / С.О. Никпелый. – М.: МГУПС, 2011. – 167 с.
5. Лосев, Е.П. Эффективность применения накопителей энергии в силовых установках автономных локомотивов [Текст] : дис. ... к. т. н. : спец. 05.22.07 – Подвижной состав железных дорог и тяга поездов / Е.П. Лосев. – М.: МГУПС, 2000. – 211с.
6. Коссов Е.Е. Влияние эффективности накопителя энергии на топливную экономичность локомотива Е.Е. Коссов, В.А. Азаренко, А.Н. Корнев, М.М. Комарницкий // Локомотивинформ. – Харьков: Техностандарт. - №3, 2008. – С. 44 – 45.
7. Golubenko A. Energy of diesel locomotive's electrodynamic braking for increase of efficiency of diesel locomotive engines / A. Golubenko, V. Mogila, H. Nozhenko // Coll. of scientific labours. - 2007. – Issue 69. – P. 147 - 153
8. Liudvinavičius L. Lingaitis L. P. 2010. New locomotive energy management systems. / Maintenance and reliability = Eksploatacja i niezawodność / Polish Academy of Sciences Branch in Lublin. Warszawa. ISSN 1507-2711. No 1, 2010, p. 35-41
9. P. Barrade, Series connexion of Supercapacitors : comparative study of solutions for the active equalization of the voltage, École de Technologie Supérieure (ETS), Montréal, Canada, 2001
10. J. D. Boyes and H. H. Clark, Technologies for energy storage flywheels and super conducting magnetic energy storage, IEEE, 2000.

References

1. Krasnyanskaya S. N. Investigation of electric brakes with the aim of increasing efficiency and of exploitation of operational reliability of locomotives: author's abstract of

- dis. kand. tech. Sciences./ S. N. Krasnyanskaya, M.:engineering, 1979. – 26 S.
2. Kazantsev V. P. the Choice of optimum capacity shunting locomotive to work on the hood in ongoing operating conditions and future prospects [Text]: dis. ... Ph. D. / V. P. Kazantsev. – M.:1966. – 156s anchor.
 3. Goncharov N. E. Shunting work on railway transport [Text] / N. E. Goncharov, V. P. Kazantsev – M.: Transport, 1978. – 183 S.
 4. Nicely S. O. Improving the efficiency of the locomotives in the application of energy storage in the power circuit [Text]: dis. ... Ph. D.: spec. 05.22.07 – dvojnoj of Railways, traction of trains and electrification of the S. O. Nicely. – M.: Moscow state railway University, 2011. – 167 p
 5. Losev E. P. Efficiency of use of energy storage in power plants of Autonomous Locomotives [Text] : dis. ... Ph. D. : spec. 05.22.07 – dvojnoj of Railways and deadlifts train / E. P. Lo-SEV. – M.: Moscow state railway University, 2000. – 211c.
 6. Kossov, E. E. influence of the effectiveness of energy storage to fuel efficiency of locomotive E. E. Kossov, V. A. Azarenko, A. N. Kornev, M. Komarnicki // Locomotivity. – Kharkiv:Tekhnostandart. No. 3, 2008. – S. 44 – 45.
 7. Golubenko A. Energy of diesel locomotive's electrodynamic braking for increase of efficiency of diesel locomotive engines / A. Golubenko, V. Mogila, Nozhenko H. // Coll. of scientific labours. - 2007. – Issue 69. – P. 147 – 153
 8. Liudvinavičius L. Lingaitis L. P. 2010. New locomotive energy management systems. / Maintenance and reliability = Eksploatacja i niezawodność / Polish Academy of Sciences Branch in Lublin. Warszawa. ISSN 1507-2711. No 1, 2010, p. 35-41
 9. P. Barrade, Series connexion of Supercapacitors: comparative study of solutions for the active equalization of the voltage, École de Technologie Supérieure (ETS), Montréal, Canada, 2001
 10. J. D. Boyes and H. H. Clark, Technologies for energy storage flywheels and super conducting magnetic energy storage, IEEE, 2000.

Яровой Р.А. Методика имитационного моделирования процессов при электродинамическом торможении.

Целью исследования является создание методики имитационного моделирования показателей работы маневрового тепловоза ЧМЕЗТ при электродинамическом торможении на сортировочной горке. Предложенный новый подход для определения технико-экономических пока-

зателей. Разработана методика и создана имитационная математическая модель процессов, основанная на выполнении тяговых и электродинамических расчетов. Приведены алгоритм расчетов показателей электродинамического торможения на сортировочной горке. Установлена связь между расходом топлива и накопителем энергии в силовой цепи маневрового локомотива ЧМЕЗТ. Для снижения энергетических затрат на маневровую работу рассмотрен вопрос эффективности применения накопителей энергии на маневровых локомотивах типа ЧМЕЗТ. Проведенный сравнительный анализ расхода топлива и динамических показателей при использовании накопителя энергии в силовой цепи и без него.

Ключевые слова: подвижной состав, маневровая работа, тяговый расчет, модернизация маневровых локомотивов, электродинамический торможения, накопления энергии, гибридный привод.

Yarovsky R. Methods of simulation of processes in electrodynamic braking.

The aim of the research is to create a simulation methodology for performance indicators of a shunting diesel locomotive CHMEЗT during electrodynamic braking on a hump yard. The proposed new approach to determine the technical and economic indicators. A technique has been developed and an imitational mathematical model of processes based on traction and electrodynamic calculations has been created. An algorithm for calculating the electrodynamic braking performance on a sorting chamber is given. The relationship between fuel consumption and energy storage in the power circuit of the shunting locomotive CHMEЗT has been established. To reduce energy costs for shunting work, the issue of the efficiency of energy storage devices on shunting locomotives of the type CHMEЗT was considered. A comparative analysis of fuel consumption and dynamic performance using the energy storage device in the power circuit and without it.

Keywords: rolling stock, traction calculation, modernization of shunting locomotives, electrodynamic braking, energy storage, hybrid drive.

Яровой Р.О. – ст. викладач кафедри "Обчислювальної техніки та систем управління", УкрДУЗТ, м. Харків, Україна, e-mail: kzf_liman@bigmir.net.

Чернецька-Білецька Н.Б. - д.т.н., проф. кафедри «Логістичне управління та безпека руху на транспорті» СНУ ім. В. Даля, м. Северодонецьк.

Рецензент: д.т.н., проф. **Суворін О.В.**

Стаття подана 12.03.2019