

УДК 629.424.1.001.76

С. Г. БУРЯКОВСЬКИЙ<sup>1</sup> (УкрДУЗТ), А. С. МАСЛІЙ<sup>2</sup> (УкрДУЗТ), Д. П. ПОМАЗАН<sup>3</sup> (УкрДУЗТ), І. В. ДЕНІС (ПРАТ «КАРТЕЛЬ»)

Український державний університет залізничного транспорту, пл. Фейербаха, 7, м. Харків, 61050, Україна, <sup>1</sup>к.т.н., професор, тел.: +380503012069, ел. пошта: [sergbyr@i.ua](mailto:sergbyr@i.ua), ORCID: [orcid.org/0000-0001-9422-6390](https://orcid.org/0000-0001-9422-6390), <sup>2</sup>к.т.н., доцент, тел.: +380974137970, ел. пошта: [a.masliy@ukr.net](mailto:a.masliy@ukr.net), ORCID: [orcid.org/0000-0003-0938-7144](https://orcid.org/0000-0003-0938-7144), <sup>3</sup>студент, тел.: +380630176561, ел. пошта: [danil.pomazan@mail.ru](mailto:danil.pomazan@mail.ru), ORCID: [orcid.org/0000-0002-5467-8824](https://orcid.org/0000-0002-5467-8824), ПРАТ «КАРТЕЛЬ» вул. Дніпровське шосе, 84а, м. Кривий Ріг, 50026, Україна, генеральний директор, тел.: +380503214176, ел. пошта: [div99@ukr.net](mailto:div99@ukr.net), ORCID: [orcid.org/0000-0002-0160-2340](https://orcid.org/0000-0002-0160-2340)

## ОБҐРУНТУВАННЯ НЕОБХІДНОСТІ МОДЕРНІЗАЦІЇ ТЕПЛОВОЗУ ЧМЕЗ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ГІБРИДНОЇ СИЛОВОЇ УСТАНОВКИ

### Вступ

В умовах подорожчання паливно-енергетичних ресурсів гостро постає питання підвищення енергоефективності роботи рухомого складу, зокрема маневрових тепловозів. Одним із шляхів вирішення цієї проблеми є застосування гібридної силової установки.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій та виділення невирішених частин загальної проблеми

Дослідження питання модернізації маневрових локомотивів і, зокрема, тепловозу ЧМЕЗ представлено у працях А.П. Фалендиша, А.Л. Сумцова, О.В. Клименко, Ю.В. Черняка, В.О. Гатченко, А.В. Гаюр, А.І. Варакіна, І.Н. Варакіна, В.В. Менухова [1-5] та ін., у яких наведені аналізи різних способів модернізації тепловоза ЧМЕЗ. Проте там не представлені моделі, які б наглядно показували ефект від модернізації.

### Мета статті

Висвітлення одного зі способів підвищення енергоефективності тепловозу ЧМЕЗ, а саме:

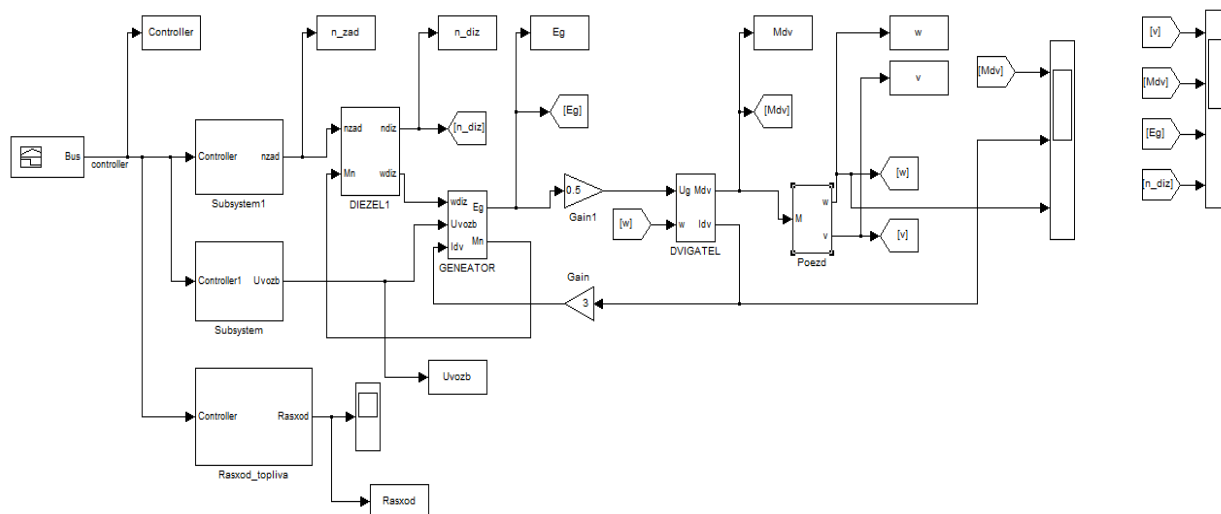


Рис. 2. Загальний вид моделі руху поїзда з тепловозом ЧМЕЗ

глибокої модернізації з використанням гібридної силової установки та електроприводу на базі вентильно-індукторних двигунів.

### Виклад основного матеріалу дослідження

Як показує статистика, більше 40% маневрової роботи приходить на простій з двигуном, що працює, а 10-15% часу приходить на пересування без вагонів [8]. Розподілення режимів роботи маневрового локомотива показано на рис. 1. Також тепловози ЧМЕЗ використовуються у легкій поїзній роботі із невеликою кількістю вагонів.



Рис. 1. Розподілення режимів роботи маневрового локомотива

З вище сказаного видно, що використання потужних маневрових тепловозів не оправдане економічно, тому що використання тепловозів при частковому завантаженні веде до перевитрат палива.

Для дослідження властивостей тепловозу та підрахунку витрати палива при поїзній роботі із поїздом масою 500 т. на ділянці Харків-Мерефа була створена імітаційна модель у середовищі Matlab, яка зображена на рис. 2

Результатом моделювання є графіки швидкості руху поїзда, моменту на валу двигуна та частоти обертання вала дизеля (рис. 3, 4, 5).

З графіків видно, що при використанні системи генератор-двигун відбувається ступінчастий розгін потяга, що негативно впливає на роботу тягових двигунів та редукторів.

В режимі тяги величина витрат палива приймається відповідно до позиції контролера машиніста, що використовується. Значення витрат палива для кожної позиції контролера машиніста локомотива ЧМЕЗ наведені у таблиці.

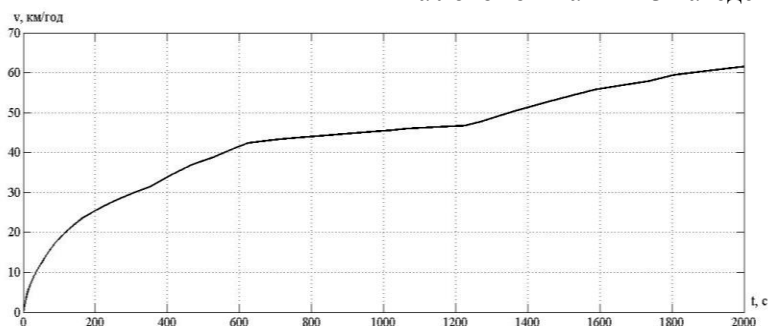


Рис. 3. Швидкість руху поїзда

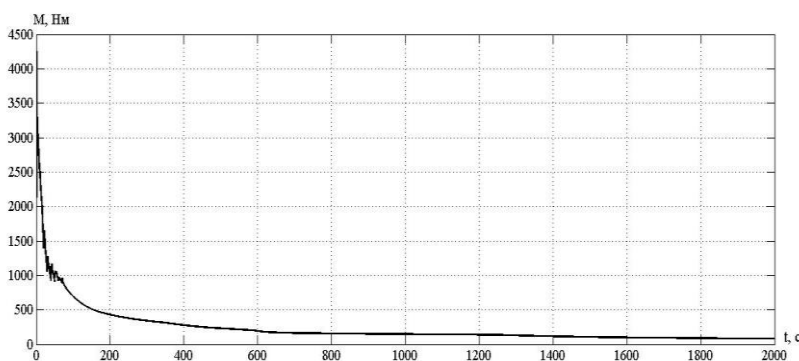


Рис. 4. Момент на валу двигуна

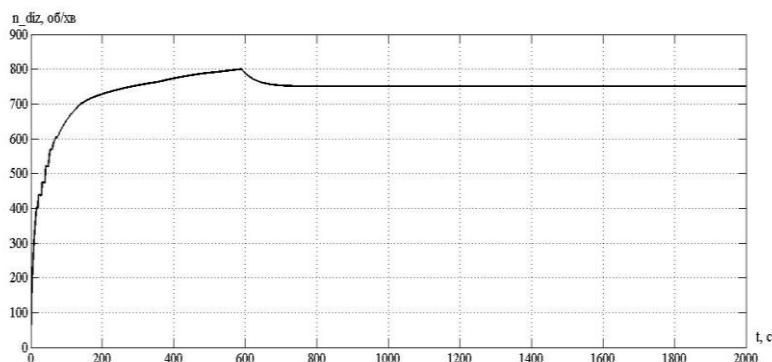


Рис. 5. Частота обертання вала дизеля

Таблиця 1

Годинна витрата палива тепловозом ЧМЕЗ

Показник	Позиція контролера машиніста							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Витрати палива, кг/год	31	63	96	110	120	160	174	180

У відповідності до цієї методики у результаті математичного моделювання було визначено, що витрати палива на ділянці Харків-Мерефа склали 100 кг.

У модернізованому варіанті пропонується встановлення дизель-генераторної установки із

синхронним генератором меншої потужності, яка працює на зарядку акумуляторної батареї. Від батареї живляться через статичні перетворювачі тягові вентильно-індукторні двигуни. Принципова схема модернізованого тепловозу наведена на рис. 6.

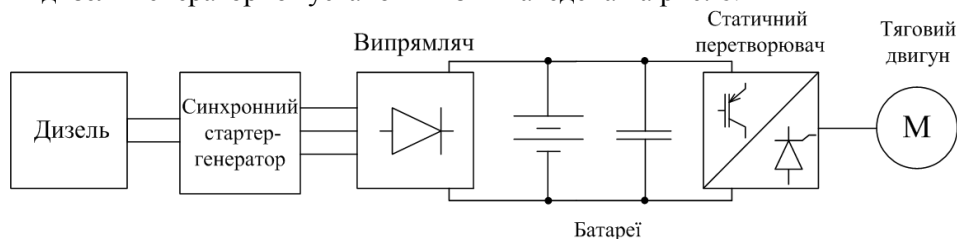


Рис. 6. Принципова схема модернізованого тепловозу ЧМЕЗ

В якості тягового обраний вентильно-індукторний двигун, який відрізняється високою надійністю та високим ККД. Використання статичних перетворювачів покращує тягові характеристики тепловоза, тому що це дозволяє здійснити плавний пуск із необхідним прискоренням.

Перевагами вентильно-індукторних двигунів з використанням статичних перетворювачів є:

- простота конструкції;
- висока надійність;
- низька собівартість;
- низький момент інерції;
- можливість роботи у складних умовах;
- висока ремонтпридатність;
- низькі втрати в роторі;
- мінімальні температурні коефіцієнти.

Ці переваги показують перспективність застосування даного типу електромеханічних перетворювачів у якості тягових.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Фалендиш, А. П. Аналіз варіантів модернізації тепловозів серії ЧМЕЗ [Текст] / А.П. Фалендиш, А.Л. Сумцов, О.В. Клименко // Зб. наук. пр / Дон. інст зал. трансп. – Донецьк, 2013. – Вип. 36 – С. 162-166.
2. Черняк, Ю.В.. Аналіз існуючих і перспективних напрямів застосування рекуперативних систем на транспорті з метою підвищення його енергоефективності [Текст] / Ю.В. Черняк, В.О. Гатченко, А.В. Гаюр // Зб. наук. пр / Дон. інст зал. трансп. – Донецьк, 2014. – Вип. 37 – С. 134-139.
3. Варакин, А.И. Маневровый и универсальный локомотив с гибридной силовой установкой и накопителем энергии на базе электрохимических конденсаторов [Текст] / А.И. Варакин, И.Н.Варакин, В.В. Менухов //Наука и техника транспорта, 2007 - №12 – с. 34-40.
4. Фалендиш, А. П. Визначення раціональних параметрів гібридного маневрового тепловоза на базі ЧМЕЗ [Текст] / А.П. Фалендиш, М.В. Володарець, О.В. Артеменко // Зб. наук. пр / Східноукр. нац. універс. ім. В.Даля. – Сєвєродонецьк, 2015. –

#### Висновок

Таким чином, у ході дослідження була створена імітаційна модель руху поїзда з тепловозом ЧМЕЗ, яка дозволяє розглянути процеси, що відбуваються при русі та обчислити витрати палива на роботу тепловоза. Був запропонований один зі способів глибокої модернізації тепловозу, а саме застосування гібридної силової установки та електроприводу на базі вентильно-індукторних двигунів. Гібридна силова установка дає змогу знизити витрати паливо-мастильних матеріалів через те, що вона меншої потужності, ніж існуюча, а також вона працює на номінальному режимі з постійними обертами, на відміну від існуючої системи. Використання електроприводу на базі вентильно-індукторних двигунів дозволить знизити витрати на ремонт, а також покращити тягові характеристики локомотива.

#### REFERENCES

1. Falendysh, A. P. Analiz variantiv modernizatsiyi teplovoziv seriyi ChME3 [Analysis of upgrade options locomotives series CHME3] / A.P. Falendysh, A.L. Sumtsov, O.V. Klymenko // Zb. nauk. pr / Don. inst zal. transp [Technologies. Donetsk Institute of Railway Transport] Donetsk, 2013. Vol. 36. PP. 162-166.
2. Chernyak, Yu.V.. Analiz isnuyuchykh i perspektivnykh napryamiv zastosuvannya rekuperativnykh system na transporti z metoyu pidvyshchennya yoho enerhoefektyvnosti [Analysis of existing and future areas of application recuperative systems in transport to improve its energy efficiency] / Yu.V. Chernyak, V.O. Hachenko, A.V. Hayur // Zb. nauk. pr / Don. inst zal. transp. [Technologies. Donetsk Institute of Railway Transport] Donetsk, 2014. Vol. 37. PP. 134-139.
3. Varakyn, A.Y. Manevrovyi y unyversal'nyi lokomotyv s hybrydnoy sylovoy ustanovkoy y nakopytelem enerhyy na baze elektrokhymyieskykh kondensatorov [Shunting and versatile locomotive with hybrid-term propulsion and energy storage based on electrochemical capacitors] / A.Y. Varakyn, Y.N.Varakyn, V.V. Menukhov //Nauka y tekhnika transporta [Science and Transport Equipment]. 2007. №12. PP. 34-40.
4. Falendysh, A. P. Vyznachennya ratsional'nykh parametriv hibrydnoho manevrovoho teplovoza na bazi

Вип. 1(218) – С. 253-256.

5. Щербаков, В. Т. Маневровые локомотивы с комбинированной (гибридной) силовой установкой [Текст] / В.Т. Щербаков, Л.М. Бондаренко, Ю.П. Ерохин // Локомотив. – 2011. – №. 8. – С. 33-35.

6. Про створення Транспортної стратегії України на період до 2020 року [Електронний ресурс]: постанова Кабінету Міністрів України від 20.10.2010 р. №2174 р. – Режим доступу: <http://zakon5.rada.gov.ua/> - (Дата звернення 06.07.2016).

7. Гапанович, В.А. Энергосбережение на железнодорожном транспорте [Текст] : учебник для вузов / В.А. Гапанович, В.Д. Авилов, Б.А. Аржанников. – М.: Изд. Дом МИСиС, 2012. – 620 с.

8. Овчинников, В. М. Пути снижения расхода топлива в маневровой работе на железнодорожных станциях [Текст] / В. М. Овчинников и др. // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2010. – № 2 (21). – С. 151-158.

9. Энергозберігаючий шлях розвитку [Електронний ресурс] : інформація / Газета «Магістраль» - Режим доступу : <http://www.magistral-uz.com.ua/articles/energozberigajuchij-shljah-rozvitku.html>. – (Дата звернення 06.07.2016).

Надійшла до друку 15.12.2016.

Внутрішній рецензент *Гетьман Г. К.*

ChME3 [Determination of rational parameters of hybrid shunting locomotive at the chme3] / A.P. Falendysh, M.V. Volodarets', O.V. Artemenko // Zb. nauk. pr / Skhidnoukr. nats. univers. im. V.Dalya [Technologies. East Ukrainian National University of Dal]. Syevyeronets'k, 2015. Vol. 1(218). PP. 253-256.

5. Shcherbakov, V. T. Manevrovye lokomotivy s kombynirovannoy (hybridnoy) sylovyoy ustanovkoy [Shunting locomotives with a combined (hybrid) propulsion system] / V.T. Shcherbakov, L.M. Bondarenko, Yu.P. Erokhyn // Lokomotyv [Locomotive]. 2011. № 8. PP. 33-35.

6. On establishment of the Transport Strategy of Ukraine till 2020 [electronic resource]: the Cabinet of Ministers of Ukraine dated 20.10.2010 g. №2174 p. - Access: <http://zakon5.rada.gov.ua/> - (Date of appeal 06.07.2016).

7. Hapanovych V. A., Avylov V. D., Arzhannykov B. A. Enerhosberezhnye na zheleznodorozhnom transporte [Energy savings in rail transport] Moscow, MYSyS Publ., 2012. 620 p.

8. Ovchynnykov, V. M. Puty snyzhenyya raskhoda toplyva v manevrovoy rabote na zheleznodorozhnykh stantsyyakh [Ways to reduce fuel consumption in shunting operations at railway stations] / V. M. Ovchynnykov y dr. // Vestnyk BelHUTA: Nauka y transport. [Bulletin of the Belarusian State University of Transport: Science and Transportation] 2010. № 2 (21). PP. 151-158.

9. Energy saving path of development [enforcement resource]: information / Newspaper "Highway" - Access: <http://www.magistral.uz.com.ua/articles/energozberigaj-uchij-shljah-rozvitku.html>. - (06.07.2016 Date of appeal).

Зовнішній рецензент *Сокіл Є. І.*

Стаття присвячена проблемам неефективного використання паливно-енергетичних ресурсів маневровими тепловозами під час виконання ними робіт. Станом на 2009 рік тепловози ЧМЕЗ (особливо в Росії і в Україні) крім своїх основних функцій, часто використовуються, як локомотиви приміських поїздів на коротких мало-задіяних ділянках. Тому даний час питання зниження споживання паливно-енергетичних ресурсів є досить гострим для нашої країни, тому ця стаття є досить актуальною. Розроблені імітаційні моделі роботи тепловозу досить наглядно показують неефективність системи, що використовується у даний час. Функціонально модель поділяється на блоки, що моделюють роботу дизеля, тягового генератора, тягових двигунів та блоку, що обчислює опір руху поїзда. Для обчислення опору руху поїзда прийнята ділянка Харків-Мерефа. Запропонована функціональна схема гібридного тепловозу включає дизель, синхронний стартер-генератор, випрямляч, акумуляторну та суперконденсаторну батареї, статичний перетворювач, тягові двигуни. Використання накопичувачів енергії на тепловозі дозволяє запровадити системи керування тяговими двигунами для покращення їх характеристик. Застосування гібридного тепловозу дозволяє підвищити його ККД за рахунок високого ККД при роботі від накопичувачів енергії. Подібне рішення дозволяє скоротити витрату палива не менше ніж на 40%, так як більша частина маневрової роботи буде здійснюватися на живленні від тягової акумуляторної батареї, і забезпечити високу екологічну чистоту локомотива. Економія палива після виконання такої модернізації складає близько 100 т на рік, при такій економії час повернення коштів, витрачених на модернізацію, складає близько 5 років.

**Ключові слова:** тепловоз ЧМЕЗ; гібридна силова установка; математична модель; вентиляно-індукторний двигун.

**УДК 629.424.1.001.76**

С. Г. БУРЯКОВСКИЙ<sup>1</sup> (УкрДУЖТ), А. С. МАСЛИЙ<sup>2</sup> (УкрДУЖТ), Д. П. ПОМАЗАН<sup>3</sup> (УкрДУЖТ), И. В. ДЕНИС (ЧАО «КАРТЕЛЬ»)

Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, пл. Фейербаха, 7, г. Харьков, 61050, Украина <sup>1</sup>к.т.н., профессор, тел.: +380503012069, эл. почта: [sergbyr@i.ua](mailto:sergbyr@i.ua), ORCID: [orcid.org/0000-0001-9422-6390](http://orcid.org/0000-0001-9422-6390), <sup>2</sup>к.т.н., доцент, тел.: +380974137970, эл. почта: [a.masliy@ukr.net](mailto:a.masliy@ukr.net), ORCID: [orcid.org/0000-0003-0938-7144](http://orcid.org/0000-0003-0938-7144), <sup>3</sup>студент, тел.: +380630176561, эл. почта: [daniil.pomazan@mail.ru](mailto:daniil.pomazan@mail.ru), ORCID: [orcid.org/0000-0002-5467-8824](http://orcid.org/0000-0002-5467-8824), ЧАО «КАРТЕЛЬ» ул. Днепровское шоссе, 84а, м. Кривой Рог, 50026, Украина, генеральный директор, тел.: +380503214176, эл. почта: [div99@ukr.net](mailto:div99@ukr.net), ORCID: [orcid.org/0000-0002-0160-2340](http://orcid.org/0000-0002-0160-2340)

## ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ МОДЕРНИЗАЦИИ ТЕПЛОВОЗА ЧМЭЗ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИБРИДНОЙ СИЛОВОЙ УСТАНОВКОЙ

Статья посвящена проблемам неэффективного использования топливно-энергетических ресурсов маневровыми тепловозами при выполнении ими работ. По состоянию на 2009 год тепловозы ЧМЭЗ (особенно в России и в Украине) кроме своих основных функций, часто используются, как локомотивы пригородных поездов на коротких малоделятельных участках. Поэтому настоящее время вопрос снижения потребления топливно-энергетических ресурсов является достаточно острым для нашей страны, поэтому эта статья является достаточно актуальной. Разработанные имитационные модели работы тепловоза достаточно наглядно показывают неэффективность системы, используемой в настоящее время. Функционально модель делится на блоки, моделирующие работу дизеля, тягового генератора, тяговых двигателей и блока, который вычисляет сопротивление движению поезда. Для вычисления сопротивления движению поезда принят участок Харьков-Мерефа. Предложенная функциональная схема гибридного тепловоза включает дизель, синхронный стартер-генератор, выпрямитель, аккумуляторную и суперконденсаторную батареи, статический преобразователь, тяговые двигатели. Использование накопителей энергии на тепловозе позволяет внедрить системы управления тяговыми двигателями для улучшения их характеристик. Применение гибридного тепловоза позволяет повысить его КПД за счет высокого КПД при работе от накопителей энергии. Подобное решение позволяет сократить расход топлива не менее чем на 40%, так как большая часть маневровой работы будет осуществляться на питании от тяговой аккумуляторной батареи, и обеспечить высокую экологическую чистоту локомотива. Экономия топлива после выполнения такой модернизации составляет около 100 т в год, при такой экономии возврат средств, потраченных на модернизацию, составляет около 5 лет.

**Ключевые слова:** тепловоз ЧМЭЗ; гибридная силовая установка; математическая модель; вентильно-индукторный двигатель.

Внутренний рецензент *Гетьман Г. К.*

Внешний рецензент *Сокол Е. И.*

UDC 629.424.1.001.76

S. H. BURYAKOVSKYY<sup>1</sup> (USURT), A. S. MASLIY<sup>2</sup> (USURT), D. P. POMAZAN<sup>3</sup> (USURT), I. V. DENYS (PJSC "CARTEL")

Ukrainian State Academy of Railway Transport, Feuerbach sq., 7, Kharkov, 61050, Ukraine <sup>1</sup>Ph.D., Professor, tel: +380503012069, e-mail: [sergbyr@i.ua](mailto:sergbyr@i.ua), ORCID: [orcid.org/0000-0001-9422-6390](http://orcid.org/0000-0001-9422-6390), <sup>2</sup>Ph.D., docent, tel: +380974137970, e-mail: [a.masliy@ukr.net](mailto:a.masliy@ukr.net), ORCID: [orcid.org/0000-0003-0938-7144](http://orcid.org/0000-0003-0938-7144), <sup>3</sup>student, tel: +380630176561, e-mail: [daniil.pomazan@mail.ru](mailto:daniil.pomazan@mail.ru), ORCID: [orcid.org/0000-0002-5467-8824](http://orcid.org/0000-0002-5467-8824), PJSC "CARTEL" str. Dnieper highway, 84a, m. Krivoy Rog, 50026, Ukraine, CEO, tel: +380503214176, e-mail: [div99@ukr.net](mailto:div99@ukr.net), ORCID: [orcid.org/0000-0002-0160-2340](http://orcid.org/0000-0002-0160-2340)

## RATIONALE FOR MODERNIZATION OF DIESEL LOCOMOTIVES CHME3 USING HYBRID PROPULSION SYSTEM

This article is devoted to problems of inefficient use of energy resources shunting locomotives during their work. As of 2009, diesel chme3 (especially in Russia and Ukraine) in addition to its core functions, often used as a commuter train locomotives on short malozadiyanyh areas. So now the question of reducing consumption of energy resources is quite acute for our country, so this article is very relevant. The developed simulation model of locomotive quite clearly shows the inefficiency of the system in use at present. Functionally, the model is divided into blocks of modeling jobs diesel traction generator and traction motors unit that calculates the resistance of the train. To calculate the resistance of the train entered Kharkiv-Merefa. The proposed functional diagram of a hybrid locomotive includes diesel, synchronous starter generator, rectifier, battery and battery ultracap, static converters, traction engines. The use of energy storage allows to introduce diesel locomotive traction engines control systems to improve their performance. Application hydride locomotive can increase its efficiency by high efficiency when working on energy storage. This solution can reduce fuel consumption by at least 40%, as most of shunting will be powered by the traction battery, and ensure high environmental cleanliness locomotive. Fuel savings after implementation of this modernization is about 100 tons per year, in this economy you return the money spent on modernization, is about 5 years.

**Keywords:** CHME3 diesel; hybrid propulsion system; mathematical model; valve-inductor motor.

Internal reviewer *Getman G. K.*

External reviewer *Sokol Ye. I.*