

АНОТАЦІЯ

Помазан Д.П. Підвищення енергоефективності системи «тепловий двигун – тяговий електропривод» тепловоза. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 273 – Залізничний транспорт – Український державний університет залізничного транспорту, МОН України, Харків, 2021.

Дисертацію присвячено питанню розробки методів та заходів з підвищення енергоефективності тепловозів з тяговою електричною передачею.

Наукова новизна дисертаційної роботи полягає у вирішенні науково-прикладного завдання підвищення енергоефективності тепловозів з тяговою електричною передачею, що здійснюється шляхом впровадження гібридної тягової електричної передачі та використання енергооптимальних режимів ведення поїзда.

Вперше проведено:

– вибір конфігурації системи «тепловий двигун – тяговий електропривод» тепловоза із використання функції бажаності Харінгтона, яка дозволяє виконати оцінку складових системи базуючись як на якісних показниках їх роботи, так і на кількісних;

– оптимізаційний пошук кривої руху поїзда з використанням гібридного маневрового тепловозу ділянкою шляху із застосуванням методу динамічного програмування на базі принципу оптимальності Белмана, що дає змогу визначити енергооптимальні режими ведення поїзда і надати рекомендації щодо вибору співвідношень між потужностями основного та додаткового джерел живлення.

Удосконалено:

– математичну модель руху поїзда ділянкою із врахуванням впливу виникнення нестационарних режимів таких, як боксування та юз, що дозволяє дослідити процеси, які протікають при цьому в системі «тепловий двигун – тяговий електропривод – накопичувач енергії» тепловоза.

Набули подальшого розвитку:

– імітаційна модель дизельного двигуна, яка, на відміну від відомих, що базуються на індикаторній діаграмі його роботи, враховує залежність між силою, яка розвивається дизельним двигуном, та коефіцієнтом завантаження двигуна, даючи при цьому змогу підвищити точність розрахунку кількості спожитого пального при роботі дизель-генераторної установки без значного ускладнення моделі;

– імітаційна модель лінійного електромеханічного перетворювача електромагнітного типу, що є складовою частиною вільнопоршневого двигуна внутрішнього згорання та дозволяє провести дослідження і визначити основні особливості роботи такої дизель-генераторної установки в якості бортового джерела енергії на тепловозі.

Практичні результати дисертаційної роботи полягають у її прикладній спрямованості на підвищення показників енергоефективності та екологічності тягового рухомого складу залізниць при виконанні ним маневрової та вивізної роботи. Використання результатів дисертації дозволяє підвищити енергоефективність та екологічність систем гібридної тяги при виконанні ними роботи із переміщення вантажів, знизити капітальні витрати при проведенні модернізації існуючого рухомого складу за рахунок можливості оптимального вибору співвідношення потужностей основного та додаткового бортових джерел енергії, знизити витрати паливно-мастильних матеріалів шляхом запровадження енергооптимальних режимів ведення поїзда ділянкою по заданій тахограмі та підвищити ККД системи «тепловий двигун – тяговий електропривод» тепловоза за рахунок застосування нових конструкцій бортових дизель-генераторних установок.

За темою дисертації опубліковано 17 наукових праць, у тому числі 4 наукових статі у фахових виданнях, затверджених МОН України, з яких 1 включена до міжнародної наукометричної бази, 1 наукова стаття в іноземному виданні країни – члена ЄС, 1 додаткова праця, 11 праць апробаційного характеру.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційного дослідження,

наведено його мету, завдання, зв'язок із науковими програмами, планами і темами університету. Представлено наукову новизну, практичну значущість дисертації та наведено її загальну характеристику.

У *першому розділі* виконано огляд можливих конфігурацій системи «тепловий двигун – накопичувач енергії – тяговий електропривод» маневрового тепловоза, проведено вибір оптимального складу тягової електричної передачі з ротаційним та вільнопоршневим двигуном внутрішнього згорання.

На даний час досвід світового локомотивобудування показує доцільність застосування тягової електричної передачі тепловозів змінного струму, проте більш енергоефективним є застосування гібридної системи із накопичувачем енергії, що стає все більш розповсюдженим серед основних виробників тягових одиниць.

Основні складові тягової електричної передачі мають доволі різні характеристики, а тому доцільним є проведення вибору оптимального складу системи «тепловий двигун – накопичувач енергії – тяговий електропривод» тепловоза. Оцінка складових системи проведена на основі методу, що базується на використанні функції бажаності Харінгтона. Такий підхід дає змогу проведи комплексну оцінку базуючись як на якісних показниках роботи елементів системи, так і на кількісних.

Проведений у розділі аналіз дав змогу обмежити множину варіантів конфігурації системи «тепловий двигун – тяговий електропривод» тепловоза до двох найбільш бажаних конфігурацій. Найбільші показники узагальненої функції бажаності мають конфігурації тягової гібридної передачі, що включає в себе вільнопоршневий двигун внутрішнього згорання із лінійним генератором електромагнітного типу, тяговий асинхронний електропривод та літій-залізо-фосфатну акумуляторну батарею.

Водночас з тим, з огляду на відсутність експлуатаційних зразків вільнопоршневих двигунів внутрішнього згорання, а також через близькість показників узагальненої функції бажаності для двох кращих варіантів, не може бути виконано визнання системи із ротаційним дизелем як небажаної, а тому прийнято другий варіант складу тягової електричної передачі, що включає в себе ротаційний

двигун внутрішнього згорання із синхронним генератором з постійними магнітами, тяговий асинхронний електропривод та літій-залізо-фосфатну акумуляторну батарею.

Другий розділ присвячено моделюванню складових тягової гібридної електричної передачі маневрового тепловоза, а саме дизель-генераторної установки, тягового асинхронного електроприводу із векторною системою керування, літій-залізо-фосфатної акумуляторної батареї та системи контролю рівня заряду накопичувача.

В основу імітаційної моделі дизельного двигуна покладено діаграму його роботи, що представляє собою залежність значення сили, що розвивається одним циліндром при робочому ході та допоміжних циклах від переміщення поршня у циліндрі. Врахування нелінійності зміни сили, що реалізується, від коефіцієнту завантаження перетворює графік сили дизельного двигуна у тривимірну поверхню, застосування якої дає більш точні результати при обчисленні витрат пального на роботу тепловоза. Регулятор кількості обертів представляє собою механічний регулятор кількості пального, що подається до циліндру, та при моделюванні може бути представлений як пропорціонально-інтегральний регулятор. Моделювання синхронного генератора, що є складовою дизель-генераторної установки, виконано за допомогою використання блоку із бібліотеки Simulink.

Модель тягового асинхронного приводу з векторною системою керування включає в себе модель тягового асинхронного двигуна та перетворювача частоти, що реалізує векторний закон керування. Моделювання асинхронного двигуна виконано базуючись на параметрах тягового електричного двигуна марки АД-902. Моделі випрямляча та інвертора є стандартними блоками середовища Matlab. Конттури регуляторів струму та швидкості векторної системи керування налаштовано на модульний та симетричний оптимуми.

Модель накопичувача енергії базується на зарядно-розрядних характеристиках батареї LT-LYP 770, що є її паспортними даними можуть бути описані рівнянням Шеферда. Система контролю рівня заряду накопичувача енергії представляє собою двоключовий buck-boost DC/DC перетворювач, ключі якого

отримують керуючі сигнали від системи регулювання рівня заряду. Для використання на тяговому рухомому складі найбільш прийнятним є алгоритм заряду за складеною характеристикою постійного струму, що дозволяє отримати необхідні значення гальмівного моменту та прийняти енергію гальмування у накопичувач.

Дослідження, виконані в *третьому розділі*, присвячені розробці моделі руху поїзда ділянкою шляху із реальними параметрами та моделюванню процесу ведення поїзда тепловозом із гібридною передачею такою ділянкою.

У процесі руху ділянкою на поїзд здійснюють вплив зовнішні сили (сила тяги, сила опору руху, гальмівна сила), що є складними функціями декількох змінних. Врахування особливостей поведінки сил тяги та гальмування при розробці математичної моделі дало змогу не тільки провести дослідження процесів, що протікають у системі гібридної передачі при стаціонарних режимах, а й розглянути нестационарні, а саме виникнення боксування або юзу. При побудові математичної моделі прийнята одномасова розрахункова схема тягового електроприводу, що дало змогу уникнути значного ускладнення моделі зі збереженням точності розрахунків у межах, що задовольняють потреби подальших досліджень.

Поєднання розробленої у розділі математичної моделі руху поїзда ділянкою шляху Харків – Борки із моделлю складових тягової електричної передачі тепловоза дало змогу провести моделювання процесів, що протікають у бортових системах локомотива у середовищі Matlab. При моделюванні виконано трапеціодне завдання швидкості із середнім значенням 40 км/год. Результати моделювання підтвердили необхідність проведення оптимізації режимів ведення поїзда з метою зменшення витрат енергетичних ресурсів.

Четвертий розділ присвячено проведенню оптимізаційного обчислення з метою пошуку оптимальної тахограми ведення поїзда ділянкою та конфігурації основного і додаткового джерел енергії на тепловозі.

Дискретний характер завдання вихідних даних для проведення оптимізаційного пошуку вимагає застосування методів динамічного

програмування для вирішення транспортної задачі. Використання методу прямого проходу ділянки шляху із високим ступенем дискретизації вимагає великих обчислювальних потужностей та є досить довгим процесом. З огляду на це проведено оптимізаційний пошук за спрощеним методом прямого проходу, тобто з розбиттям тахограми на три характерні зони – розгін, квазіпостійне значення швидкості, гальмування. Цільовою функцією оптимізації прийнято витрати енергії на процес переміщення поїзда ділянкою, що складається з витрат енергії на створення прискорення, подолання сил опору руху та покриття витрат у основних складових системи гібридного тепловоза.

Використання спрощеного прямого проходу із трьома ділянками дає досить розмите поняття про необхідний характер зміни швидкості у середній зоні. Це призвело до необхідності проведення оптимізаційного пошуку із використанням принципу оптимальності Белмана. У результаті оптимізації отримано тахограму ведення поїзда з найбільш енергоощадним режимом.

Зміна характеру оптимальної кривої руху в залежності від співвідношення потужностей основного та додаткового джерел енергії на тепловозі вимагає проведення ряду обчислень для всіх значень такого співвідношення. У результаті проведених розрахунків отримано тривимірну поверхню, що дає змогу зробити вибір конфігурації джерел енергії в залежності від необхідного значення середньої швидкості.

Із використанням моделі руху поїзда, що розроблена раніше, проведено моделювання роботи тепловоза за оптимальною тахограмою та виконано порівняння отриманих результатів із даними, що отримані при моделюванні руху за неоптимальною тахограмою. Доцільність проведення оптимізації підтверджена зниженням витрат пального на виконання поїзної роботи.

Дослідження, виконані в *n'ятому розділі*, присвячені розробці імітаційної моделі вільнопоршневого двигуна внутрішнього згорання з лінійним генератором електромагнітного типу та дослідженню роботи такої системи в якості бортового джерела енергії гібридного маневрового тепловоза.

У розділі виконано вибір конфігурації системи вільнопоршневого двигуна та

його лінійного генератора та розроблено імітаційну модель їх роботи. В основу моделі дизельного двигуна, як і у попередньому випадку, покладено діаграму зміни сил від переміщення поршня. Математична модель лінійного електромеханічного перетворювача виконана на основі підходу, що базується на узагальненій моделі електромеханічного перетворювача. З метою перевірки адекватності підходу до створення моделі розроблено фізичну модель еквівалентної системи та виконано експеримент, який підтвердив збіжність результатів фізичного та імітаційного моделювання, що дало змогу стверджувати про адекватність моделей.

Використання нової конструкції бортового джерела енергії вимагає проведення нового оптимізаційного пошуку енергоефективного режиму ведення, що був проведений за методом, який застосовано в четвертому розділі. Моделювання руху поїзда з гібридним тепловозом, що оснащений удосконаленою системою бортового генерування енергії, за оптимальною тахограмою показало доцільність застосування нової конструкції через зниження витрат пального відносно традиційної системи.

Ключові слова: дизель-генераторна установка, тяговий асинхронний привод, накопичувач енергії, одномасова розрахункова схема, динамічне програмування, принцип оптимальності Белмана, вільнопоршневий двигун внутрішнього згорання, лінійний генератор електромагнітного типу.

ABSTRACT

Pomazan D.P. Improving the energy efficiency of the system "heat engine - traction electric drive" of the diesel locomotive. – Qualification scientific work – manuscript.

Thesis for a Ph.D. – Doctor of Philosophy in 273 – Railway Transport. – Ukrainian State University of Railway Transport, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, 2021.

The thesis is devoted to the question of the development of methods and measures for the increase of energy efficiency of diesel locomotives with traction electric transmission.

The scientific novelty of the thesis is to solve the scientific and applied problem of improving the energy efficiency of diesel locomotives with traction electric transmission, which is carried out both by changing the design of the traction unit, and through the use of energy-optimal modes of the trains driving.

Conducted for the first time:

- the choice of the configuration of the system "heat engine - traction electric drive" of the diesel locomotive using the Harrington desirability function, which allows evaluating the components of the system based on both qualitative indicators of their work and quantitative;

- optimization search of the train movement curve using a hybrid shunting locomotive along the track using the method of dynamic programming based on the principle of Bellman optimality, which allows to determine the energy-optimal modes of train driving and provide recommendations for choosing the ratio between the main and additional power sources.

The following have been improved:

- mathematical model of train movement on a section of the road taking into account the influence of non-stationary modes such as boxing and sliding, which allows investigating the processes that take place in the system "heat engine - traction drive - energy storage" of the diesel locomotive.

Further development has been given to:

– simulation model of a diesel engine, which, in contrast to the known ones, based on the indicator diagram of its operation, takes into account the relationship between the force developed by the diesel engine and the engine load factor, allowing to increase the accuracy of calculating the amount of fuel consumed installation without significant complication of the model;

– simulation model of a linear electromechanical converter of electromagnetic type, which is an integral part of a free-piston internal combustion engine and allows to conduct research and determine the main features of such a diesel generator set as an onboard energy source on a locomotive.

The practical results of the thesis are its applied focus on improving the energy efficiency and environmental friendliness of traction rolling stock of railways when performing shunting and export work. The use of the dissertation results allows to increase energy efficiency and environmental friendliness of hybrid traction systems when performing work on moving goods, reduce capital costs when upgrading existing rolling stock due to the possibility of optimal choice of power ratio of main and additional onboard energy sources, reduce fuel costs. of energy-optimal modes of train driving along the section according to the set tachogram and to increase the efficiency of the system "heat engine - traction electric drive" of the locomotive due to the use of new designs of onboard diesel generator sets.

17 scientific papers were published on the topic of the thesis, including 4 scientific articles in professional journals approved by the Ministry of Education and Science of Ukraine, of which 1 is included in the international scientometric database, 1 scientific article in a foreign publication of an EU member state, 1 additional work, 11 approbation papers.

The introduction substantiates the relevance of the topic of thesis research, its purpose, objectives, connection with scientific programs, plans and topics of the university. The scientific novelty, practical significance of the dissertation are presented and its general characteristic is given.

The first section reviews the possible configurations of the system "heat engine -

energy storage - traction electric drive" of a shunting locomotive, the selection of the optimal composition of the traction electric transmission with rotary and free-piston internal combustion engine.

Currently, the experience of the world locomotive industry shows the feasibility of using a traction electric transmission of AC of diesel locomotives, but more energy efficient is the use of a hybrid system with energy storage, which is becoming more common among major manufacturers of traction units.

The main components of the traction electric transmission have quite different characteristics, and therefore it is advisable to select the optimal composition of the system "heat engine - energy storage - traction electric drive" of the diesel locomotive. The evaluation of the components of the system is based on a method based on the use of the Harrington desirability function. This approach allows for a comprehensive assessment based on both qualitative performance of system elements and quantitative.

The analysis performed in the section showed that the greatest indicator of the generalized desirability function is the configuration of the traction hybrid transmission, which includes a free-piston internal combustion engine with a linear generator of electromagnetic type, traction asynchronous electric drive and lithium-iron-phosphate battery.

At the same time, due to the lack of operational samples of free-piston internal combustion engines, the system with a rotary diesel can not be recognized as undesirable, and therefore adopted the second version of the traction electric transmission, which includes a rotary internal combustion engine with a synchronous generator with permanent magnets, traction asynchronous electric drive and lithium-iron-phosphate battery.

The second section is devoted to modeling the components of traction hybrid electric transmission of a shunting diesel locomotive, namely diesel generator set, traction asynchronous electric drive with vector control system, lithium-iron-phosphate battery and storage level control system.

The simulation model of a diesel engine is based on a diagram of its operation, which is the dependence of the value of the force developed by one cylinder during operation and auxiliary cycles on the movement of the piston in the cylinder. Taking into

account the nonlinearity of the realized force change from the load factor converts the graph of the diesel engine power into a three-dimensional surface, the application of which gives more accurate results when calculating fuel consumption for the operation of the locomotive. The model of the speed controller is a PI speed controller with a large value of the time constant. The simulation of a synchronous generator, which is a component of a diesel generator set, was performed using a block from the Simulink library.

The model of a traction asynchronous drive with a vector control system includes a model of a traction asynchronous motor and a frequency converter that implements the vector control law. The simulation of the induction motor is performed based on the parameters of the traction electric motor brand AD-902. Rectifier and inverter models are standard units of the Matlab environment. The current and speed control circuits of the vector control system are set to modular and symmetric optimums.

The energy storage model is based on the charge-discharge characteristics of the LT-LYP 770 battery, which are its passport data can be described by the Shepherd equation. The energy storage charge level control system is a two-key buck-boost DC / DC converter, the keys of which receive control signals from the charge level control system. For use on traction rolling stock, the most acceptable is the charge algorithm according to the composite characteristic of direct current, which allows to obtain the required values of braking torque and take the braking energy into the drive.

The research performed in *the third section* is devoted to the development of a model of train movement on a section of track with real parameters and modeling of the process of train driving by a locomotive with the hybrid transmission in such a section.

The process of movement of the section on the train is influenced by external forces (traction force, force of resistance, braking force), which are complex functions of several variables. Taking into account the peculiarities of the behavior of traction and braking forces in the development of a mathematical model allowed not only to study the processes occurring in the system of hybrid transmission in stationary modes but also to consider non-stationary, namely the occurrence of boxing or yuzu. When building a mathematical model, a single-mass calculation scheme of the traction electric drive was

adopted, which made it possible to avoid a significant complication of the model while maintaining the accuracy of calculations within the limits that meet the needs of further research.

The combination of the mathematical model of train movement along the Kharkiv – Borky section developed in the section with the model of traction electric transmission components of the locomotive made it possible to model the processes occurring in the onboard locomotive systems in the Matlab environment. During the simulation, a trapezoidal speed problem with an average value of 40 km/h was performed. The simulation results confirmed the need to optimize train modes in order to reduce energy costs.

The fourth section is devoted to the optimization calculation in order to find the optimal tachogram of the train section and the configuration of the main and additional energy sources on the locomotive.

The discrete nature of the source data task for the optimization search requires the use of dynamic programming methods to solve the transport problem. The use of the method of direct passage of a section of the road with a high degree of sampling requires large computing power and is a rather long process. In view of this, an optimization search was performed by the simplified method of direct passage, ie with the division of the tachogram into three characteristic zones - acceleration, quasi-constant value of speed, braking. The target optimization function is the energy consumption for the process of moving the train section, which consists of energy costs to create acceleration, overcoming the forces of resistance and covering losses in the main components of the hybrid locomotive system.

The use of a simplified direct passage with three sections gives a rather vague notion of the necessary nature of the change in speed in the middle zone. This led to the need to conduct an optimization search using the principle of Bellman optimality. As a result of optimization, the tachogram of driving of the train with the most energy-saving mode is received.

Changing the nature of the optimal curve of motion depending on the ratio of the main and additional energy sources on the locomotive requires a series of calculations

for all values of this ratio. As a result of the calculations, a three-dimensional surface is obtained, which allows to make a choice of the configuration of energy sources depending on the required value of the average speed.

Using the train motion model developed earlier, the locomotive was modeled according to the optimal tachogram and the results obtained were compared with the data obtained when modeling the motion according to the suboptimal tachogram. The feasibility of optimization is confirmed by reducing fuel consumption for train operation.

The research performed in *the fifth section* is devoted to the development of a simulation model of a free-piston internal combustion engine with a linear generator of electromagnetic type and the study of the operation of such a system as an onboard energy source of a hybrid shunting locomotive..

The section selects the configuration of the free-piston engine system and its linear generator and develops a simulation model of their operation. The model of the diesel engine, as in the previous case, is based on a diagram of the change in forces from the movement of the piston. The mathematical model of the linear electromechanical converter is made on the basis of the approach based on the generalized model of the electromechanical converter. In order to verify the adequacy of the model approach, a physical model of an equivalent system was developed and an experiment was performed, which confirmed the convergence of the results of physical and simulation modeling, which allowed to assert the adequacy of the models.

The use of a new design of the onboard energy source requires a new optimization search for energy efficient driving mode, which was carried out according to the method used in the fourth section. Simulation of the train with a hybrid locomotive, equipped with an advanced on-board energy generation system, according to the optimal tachogram showed the feasibility of using a new design due to the reduction of fuel consumption compared to the traditional system.

Keywords: diesel generator set, traction asynchronous drive, energy storage, single-mass calculation scheme, dynamic programming, Bellman optimality principle, free-piston internal combustion engine, linear generator of electromagnetic type.

Список публікацій здобувача

Основні наукові праці:*Наукові праці у фахових виданнях України:*

1. Буряковський, С.Г., Маслій, А.С., Помазан Д.П., Деніс, І.В. Обґрунтування необхідності модернізації тепловозу ЧМЕЗ із використанням гібридної силової установки. *Електрифікація транспорту. Науковий журнал*. 2016. Вип.№ 12. С. 82 – 86.

2. Buriakovskiy S., Maslii A., Panchenko V., Pomazan D., Denys I. The research of the operation modes of the diesel locomotive CHME3 on the imitation model. *Electrical engineering & electromechanics*. 2018. No. 2, P. 59 – 62.

3. Buriakovskiy S., Maslii A., Pomazan D., Kovalchuk O. Analysis of ways of increasing the energy efficiency of traction electric transmission of shunting diesel locomotive. *COMPUTATIONAL PROBLEMS OF ELECTRICAL ENGINEERING*. 2019. Vol. 9. No. 1, P. 1 – 4.

4. Buriakovskiy S., Babaiev M., Liubarskyi B., Maslii Ar., Pomazan D., Karpenko N., Maslii An., Denys I. Quality assessment of control over the traction valve-inductor drive of a hybrid diesel locomotive. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Vol. 1. No. 1, P. 68 –75.

Публікації у виданнях інших держав:

5. Buriakovskiy S., Liubarskyi B., Maslii A., Pomazan D., Tavrina T. Research of a hybrid diesel locomotive power plant based on a free-piston engine. *Communications – Scientific Letters of the University of Zilina*. 2020. Vol. 22. No. 3, P. 103 – 109.

Праці апробаційного характеру:

6. Буряковський С.Г., Помазан Д.П. Застосування моделювання для створення енергоефективного тепловозу. *Інформатика, управління та штучний інтелект: матеріали четвертої міжнародної науково-технічної конференції студентів, магістрів та аспірантів, м. Харків (21 – 22 листопада 2017 р).* – Харків: НТУ «ХП», 2017. С. 25.

7. Буряковський С.Г., Маслій А.С., Помазан Д.П. Дослідження роботи

гібридного тепловоза на імітаційній моделі. *Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті: тези доповідей 80 міжнародної науково-технічної конференції*, м. Харків (24 – 26 квітня 2018 р). – Харків: УкрДУЗТ, 2018. С. 73.

8. Буряковський С.Г., Маслій А.С., Помазан Д.П., Деніс І.В. Дослідження режимів роботи тепловоза ЧМЕЗ за допомогою імітаційної моделі. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVI міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2018*, м. Харків (16 – 18 травня 2018 р). – Харків: НТУ «ХП», 2018. С. 182.

9. Buriakovskiy S., Liubarskiy B., Maslii A., Pomazan D., Panchenko V. and Maslii A. Mathematical Modelling of Prospective Transport Systems Electromechanical Energy Transducers on Basis of the Generalized Model. *2019 9th International Conference on Advanced Computer Information Technologies, ACIT 2019 – Proceedings*. IEEE, 05 – 07 June 2019. P. 76–79. DOI: 10.1109/ACITT.2019.8779998.

10. Буряковський С.Г., Маслій А.С., Помазан Д.П., Карпенко Н.П., Маслій Н.В. Розрахунок тягового синхронного генератора з постійними магнітами маневрового тепловоза у програмному комплексі FEMM. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVII міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2019*, м. Харків (15 – 17 травня 2019 р). – Харків: НТУ «ХП», 2019. С. 224.

11. Buriakovskiy S., Maslii A., Pomazan D. Searching of The Optimum Configuration of The Traction Electric Transmission of The Shunting Locomotive. *2019 IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy Systems, MEES 2019 – Proceedings*. IEEE, 23 – 25 September 2019. P. 22–25. DOI: 10.1109/MEES.2019.8896525.

12. Буряковський С.Г., Маслій А.С., Помазан Д.П., Сафронов О.Е., Туренко О.Г. Підвищення енергоефективності маневрового тепловозу шляхом застосування накопичувачів енергії. *Практические аспекты совместимости электромагнитной и молниезащиты: тези доповідей V всеукраїнської науково-технічної конференції ПАСЕБ-2019*, м. Харків (16 – 18 жовтня 2019 р). – Харків: НТУ «ХП», 2019. С. 24–25.

13. Буряковський С.Г., Маслій А.С., Помазан Д.П., Карпенко Н.П., Маслій

Н.В. Застосування методу кінцевих елементів для розрахунку магнітних полів електромеханічних перетворювачів. *Практические аспекты совместимости электромагнитной и молниезащиты: тезисы доповідей V всеукраїнської науково-технічної конференції ПАСЕБ-2019*, м. Харків (16 – 18 жовтня 2019 р). – Харків: НТУ «ХП», 2019. С. 27.

14. Buriakovskiy S., Maslii A., Pomazan D., Panchenko V., Overianova L., Omelianenko H. Multi-criteria Quality Evaluation of Energy Storage Devices for Rolling Stock Using Harrington's Desirability Function. *2020 IEEE 7th International Conference on Energy Smart Systems, ESS 2020 – Proceedings*. IEEE, 12 – 14 May 2020. P. 158–163. DOI: 10.1109/ESS50319.2020.9160105.

15. Buriakovskiy S., Maslii A., Pomazan D., Maslii A. Mathematical Modeling of Non-stationary Processes during Train Movement. *2020 10th International Conference on Advanced Computer Information Technologies, ACIT 2020 – Proceedings*. IEEE, 16 – 18 September 2020. P. 213–216. DOI: 10.1109/ACIT49673.2020.9208919.

16. Buriakovskiy S., Maslii A., Pomazan D., Maslii A., Panchuk O., Rybin A. Study of Methods for Charging of Energy Storage Devices of Railway Traction Units. *2020 IEEE Problems of Automated Electrodrive. Theory and Practice, PAEP 2020 – Proceedings*. IEEE, 21 – 25 September 2020. P. 1–5. DOI: 10.1109/PAEP49887.2020.9240794.

Праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

17. Пат. на корисну модель 122882, Україна, МПК F02B 7/04 (2006.01), F02B 7/00 (2006.01), H02J 3/00 (2006.01) Система генерування електричної енергії. Б.Г. Любарський, С.Г. Буряковський, А.С. Маслій, Д.П. Помазан. Заявка u201908198 від 14.07.2019; опубл. 10.02.2020, бюл. № 3.