

**ЗАЛІЗНИЧНИЙ ТРАНСПОРТ (273)**

---

УДК 621.81

**МОДУЛЬНО-ДЕКОМПОЗИЦІЙНИЙ ОПИС КОНСТРУКЦІЇ ЗАЛІЗНИЧНИХ ТЯГОВИХ ПРИВОДІВ**

Кандидати техн. наук А. В. Павшенко, С. В. Бобрицький, асп. В. І. Громов

**МОДУЛЬНО-ДЕКОМПОЗИЦИОННОЕ ОПИСАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ТЯГОВЫХ ПРИВОДОВ**

Кандидаты техн. наук А. В. Павшенко, С. В. Бобрицкий, асп. В. И. Громов

**MODULE-DECOMPOSITION DESCRIPTION OF THE CONSTRUCTION OF RAILWAY TRACTIONDRIVERS**

Phd. tehn. A. Pavshenko, S. Bobritskiy sciences, pg. V. Gromov

*Проведено аналіз несправностей основних модулів конструкції тягового та моторвагонного рухомого складу. Обґрунтовано актуальність проведення науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт, спрямованих на удосконалення конструкції існуючих тягових приводів з метою підвищення їх надійності. Досліджено існуючі підходи до класифікації тягових приводів. Подано новий модульно-декомпозиційний опис конструкції тягових приводів, який дає змогу розглядати окремі конструктивні елементи, що входять до складу основних модулів. Наведено приклад застосування запропонованого опису при аналізі несправностей елементів тягового привода моторвагонного рухомого складу.*

**Ключові слова:** тяговий привод, модульно-декомпозиційна схема, конструкційні елементи.

*Проведен анализ неисправностей основных модулей конструкции тягового и моторвагонного подвижного состава. Обоснована актуальность проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, направленных на усовершенствование конструкций существующих тяговых приводов с целью повышения их надежности. Исследованы существующие подходы к классификации тяговых приводов. Представлено новое модульно-декомпозиционное описание конструкции тяговых приводов, которое позволяет рассматривать отдельные конструкционные элементы, которые входят в состав основных модулей. Приведен пример использования предложенного описания при анализе неисправностей элементов тягового привода моторвагонного подвижного состава.*

**Ключевые слова:** тяговий привод, модульно-декомпозиційна схема, конструкційні елементи.

*The analysis malfunctions of the main modules of the traction and motor-vehicle rolling stock components operated in the regional branch of "Southern Railway" PJSC "Ukrainian Railway" has been confirmed. It is noted that the traction drive accounts for almost a third of all malfunctions of*

*rolling stock. The urgency of research and development works aimed at improving the designs of existing traction drives is grounded in order to increase their reliability. The existing approaches to the classification of traction drives are described. The mentioned disadvantages of the classification, taking into account only the degree of subgrade of the traction electric motor and gearbox. An approach to the modular description of the design of a modern traction drive is considered. Using the principles of hierarchy and blocking (decomposition), a new modular-decomposition description of traction drives is proposed. At the same time, five hierarchical levels with a certain amount of decomposition elements were allocated on each of them. At the first level, the description of the design is the most generalized. In turn, the decomposition elements of the fifth level are the constituents of the design of the main modules, which are accepted by the base ones. This description allows to consider separate structural elements included in the main modules (for example, for the module of traction gear transmission the basic elements adopted the upper and lower gear casing, mounting elements, gear, gear shaft, gear, sealing elements). Of particular importance is the use of the proposed approach in solving complex scientific and technical problems associated with increasing the reliability of the functioning of traction drives. An example of the application of the proposed description in the analysis of faults of elements of the traction tooth gear unit of the traction drive of the motor wagon rolling stock of the EP series is given.*

**Keywords:** traction drive, modularly-decomposition scheme, structural elements.

**Вступ.** Відповідно до державної програми оновлення рухомого складу на 2017–2021 роки (затверджено на засіданні ПАТ «Укрзалізниця» від 29.11.16 р.) одним із шляхів збереження конкурентоспроможності залізниць є підвищення експлуатаційної надійності існуючого тягового рухомого складу (ТРС) та моторвагонного рухомого складу (МВРС). Водночас ТРС та МВРС, що використовуються на залізницях України, експлуатуються у наднормативний термін.

Це визначає необхідність розгортання комплексу робіт щодо забезпечення надійності та довговічності основних модулів конструкції ТРС та МВРС, у тому числі і тягового привода (ТП).

За результатами досліджень, які проводилися за період з 2015 по 2017 роки встановлено, що для тепловозів серії 2ТЕ116, які експлуатуються в регіональній філії «Південна залізниця» ПАТ «Укрзалізниця», на частку ТП припадає близько 30 % від усіх пошкоджень локомотивів. Для електровозів серій ЧС 2, ЧС 7 ця частка складає близько 30 % а для електропоїздів серій ЕР 2, ЕР 2р, ЕР 2т до 24 %. Це підтверджує доцільність проведення науково-дослідних та дослідно-

конструкторських робіт, спрямованих на удосконалення конструкції і підвищення надійності ТП.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У науково-технічних джерелах висвітлені тільки загальні підходи до опису конструкції ТП сучасного ТРС та МВРС [1–5]. Так, відповідно до найбільш поширеної класифікації, яка враховує ступінь підресореності ТЕД та ТЗП, передбачається поділ конструкції ТП на три класи [1]:

– клас I – з опорно-осьовим розташуванням ТЕД та зубчастих редукторів;

– клас II – з розташуванням ТЕД на підресореній частині ТРС (рамі візка або кузова) та опорно-осьовим розташуванням редуктора;

– клас III – з розташуванням як ТЕД, так і редуктора на підресореній частині ТРС.

Такий опис конструкції не містить інформації про всі елементи ТП та організацію зв'язків між ними.

На висвітлення цих питань спрямована модульна класифікація, у якій ТП описується у вигляді чотирьох основних модулів конструкції – модуль Т, модуль П, модуль З та модуль Д [6]. До складу модуля Т входить тяговий двигун з

конструкційними елементами його закріплення на рамі колісної пари, візка або кузова ТРС. Модуль  $П$  поєднує передавальні механізми між електродвигуном та вхідним валом ТЗП. Модуль  $З$  складається з шестірні, зубчастого колеса та корпусу редуктора з елементами його закріплення. До модуля  $Д$  належать механізми передачі обертального руху від вихідного вала ТЗП на колісну пару.

Разом з тим така класифікація не містить особливостей конструкції розглядених модулів, що ускладнює проведення аналізу досконалості конструкції і можливих пошкоджень окремих елементів, забезпечення надійності ТП у цілому.

**Визначення мети та завдання дослідження.** Метою статті є висвітлення модульно-декомпозиційного опису конструкції ТП, у якому розглядаються не тільки його основні модулі, а ще й окремі декомпозиційні елементи, які входять до їх складу. До переліку завдань дослідження належать: аналіз особливостей конструкції механічних систем ТП ТРС та МВРС, розроблення модульно-декомпозиційної класифікації конструкції ТП.

**Основна частина досліджень.** В основу розроблення такого опису закладено принципи ієрархічності та блочності (декомпозиції) [7–8]. Їх використання дало змогу, залежно від ступеня детальності опису конструкції ТП, виділити відповідні ієрархічні рівні з певною кількістю декомпозиційних елементів на кожному з них. Модульно-декомпозиційний опис конструкцій ТП сучасних ТРС та МВРС (з виділенням п'яти ієрархічних рівнів) подано у вигляді схеми на рис. 1.

Опис конструкції на рівні 1 є найбільш узагальненим. Декомпозиційні елементи  $K1$ ,  $K2$ ,  $K3$  характеризують проектно-компонувальні рішення відповідно до I, II та III класів ТП (особливості закріплення та ступінь підресореності ТЕД та ТЗП).

Декомпозиційними елементами рівня 2 є розглянуті вище основні модулі

конструкції – модуль  $T$ , модуль  $П$ , модуль  $З$  та модуль  $Д$ .

Декомпозиційними елементами 3-го рівня є можливі варіанти конструкції виділених на другому рівні модулів, які використовуються в конструкції ТП ТРС і МВРС. Так, елементи  $T_1$  і  $T_2$  – варіанти вибору електродвигуна, що використовується в приводі (постійного або змінного струму).  $П_1$  та  $П_2$  – варіанти з'єднання вала ТЕД із вхідним валом ТЗП. Елементи  $З_1...З_n$  – загальної будови редуктора ТЗП. Елементи  $Д_1...Д_k$  – варіанти передачі обертання від ТЗП на вісь колісної пари.

Четвертий рівень містить декомпозиційні складові конструкції стосовно елементів рівня 3. Наприклад, на рівні 3 обрано варіант  $П_1$  який відповідає з'єднанню ТЕД та ТЗП із використанням муфти. Тоді відповідні декомпозиційні елементи  $П_{11}$  – це гумокордова муфта,  $П_{12}$  – муфта з двома шарнірами Гука,  $П_{13}$  – врівноважена шарнірно-поводкова муфта,  $П_{1j}$  – нові за конструкцією муфти (резерв).

Декомпозиційними елементами 5-го рівня є складові конструкції обраного на рівні 4 технічного рішення. Вони приймаються базовими елементами. Наприклад, для обраного на четвертому рівні елемента  $П_{12}$  – муфти з двома шарнірами Гука, отримуємо такі складові:  $П_{121}$  – ведуча напівмуфта,  $П_{122}$  – ведена напівмуфта,  $П_{123}$  – торсіон (гнучкий вал),  $П_{124}$  – проміжні деталі.

Для конкретизації елементів конструкції на різних ієрархічних рівнях на рис. 2 подано елементи 3-, 4- та 5-го рівнів модуля тягової зубчастої передачі (модуль  $З$ ).

Особливого значення набуває використання запропонованого підходу при вирішенні складних науково-технічних задач, пов'язаних з підвищенням надійності функціонування існуючих ТП. Це підтверджується результатами його використання і проведених в Українському державному університеті залізничного транспорту досліджень з аналізу пошкоджень, які виникають у різних модулях конструкції ТП сучасного ТРС та МВРС.

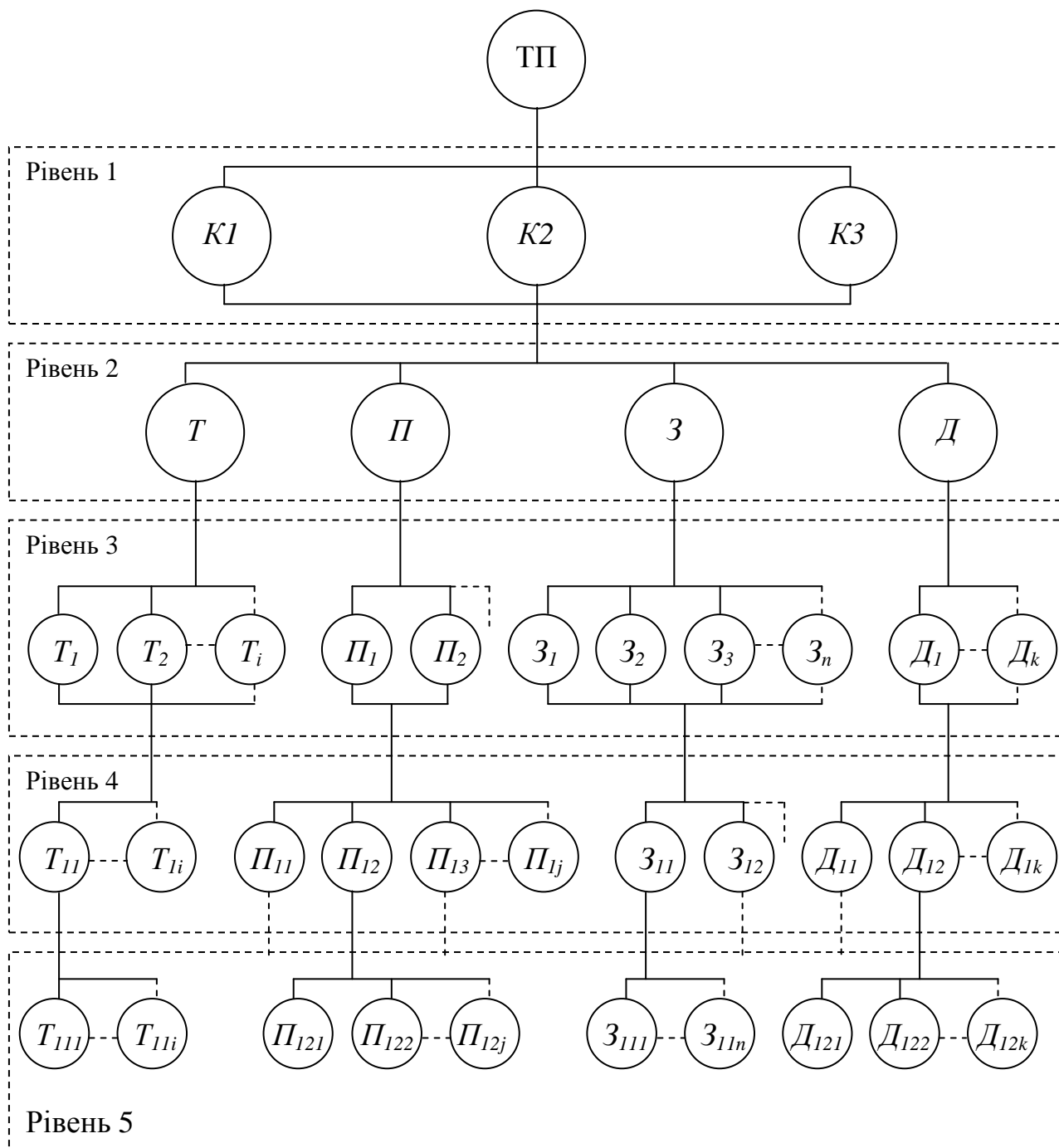


Рис. 1. Модульно-декомпозиційна схема сучасного тягового привода

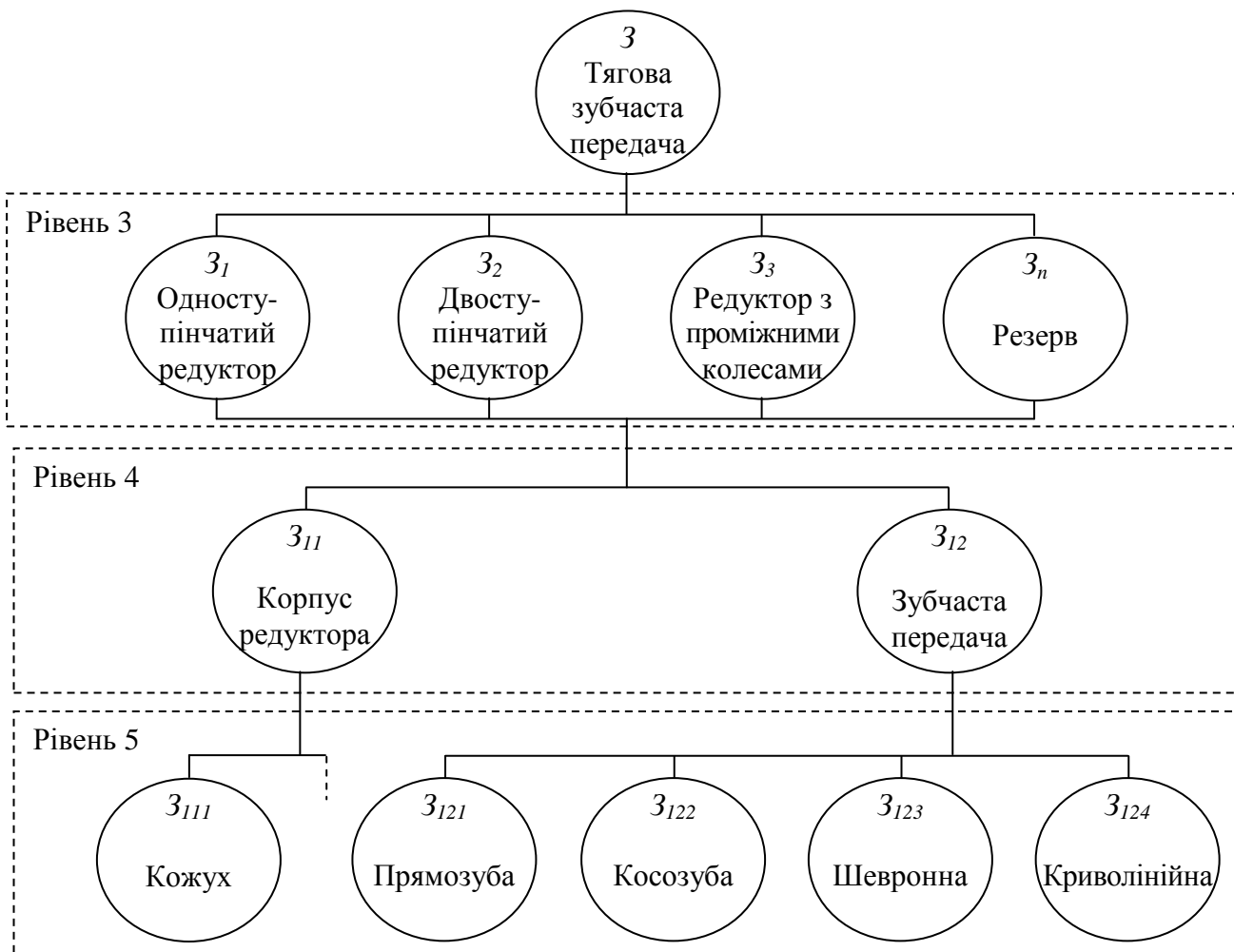


Рис. 2. Декомпозиційний склад модуля зубчастої передачі

Як приклад, нижче, наведені результати дослідження ТП електропоїздів серії EP [9]. Його конструктивну схему подано на рис. 3. Відповідно до запропонованої схеми (рис. 2) такий привод описується такими елементами. Розташування ТЕД та редуктора відповідає класу II – елемент K2 (рівень 1). Основними модулями конструкції є ТЕД – T, перший модуль з’єднання – П, ТЗП (редуктор) – З, другий модуль з’єднання – Д (рівень 2). ТЕД постійного струму T<sub>1</sub>, з’єднання вала ТЕД із вхідним валом редуктора здійснюється через муфту П<sub>1</sub>, використовується одноступінчатий редуктор З<sub>1</sub>, зубчасте колесо жорстко закріплено на осі колісної пари Д<sub>2</sub>

(рівень 3). Основні елементи конструкції ТЕД, гумокордова муфта П<sub>11</sub>; елементами редуктора є корпус З<sub>11</sub> та зубчаста передача З<sub>12</sub> (рівень 4). Базові елементи ТЕД, базові елементи муфти П<sub>111</sub> – П<sub>114</sub>, верхній та нижній кожухи З<sub>111</sub>, елементи кріплення З<sub>112</sub>, прямозубі шестерні і колеса З<sub>121</sub> (рівень 5).

Подана модульно-декомпозиційна схема також дає змогу описати варіанти окремих конструкційних модулів або ТП у цілому у вигляді відповідних структурних формул. Наприклад, конструкція модуля тягової зубчастої передачі електропоїзда серії EP відповідає формулі:

$$Z(3_1) = 3_{11}(3_{111} + 3_{112}) + 3_{12}(3_{121}). \quad (1)$$

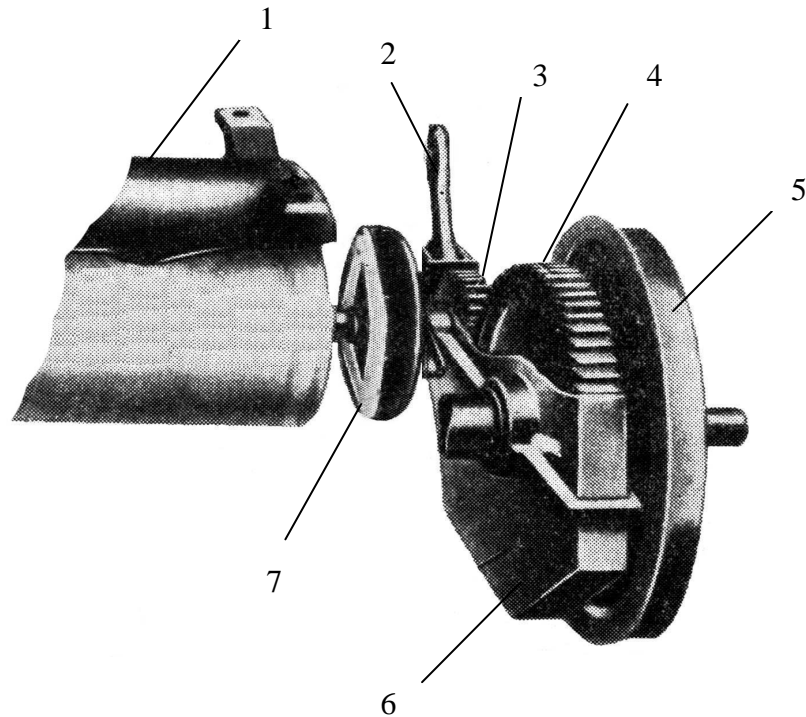


Рис. 3. Схема тягової передачі електропоїзда EP-2:

1 – тяговий електричний двигун; 2 – стержень підвішування редуктора; 3 – шестірня; 4 – зубчасте колесо; 5 – колісна пара; 6 – нижня половина кожуха редуктора; 7 – гумо-кордова муфта

**Висновки.** Поданий у статті модульно-декомпозиційний опис дає змогу проводити більш детальний аналіз із визначенням пошкоджень складових елементів модулів конструкції ТП. Так, за результатами аналізу пошкоджень ТП, що розглядається, на частку модуля ТЗП у цілому припадає до 63 %. При цьому пошкодження шестерні

складає близько 78 %, кожухів редуктора – 2 %, елементів закріплення – 19 %, зубчастого колеса – приблизно 1 %. Запропонований підхід доцільно використовувати при вирішенні проектно-конструкторських задач з удосконалення конструкції та підвищення надійності ТП сучасного ТРС та МВРС.

#### *Список використаних джерел*

1. Бирюков, И. В. Тяговые передачи электроподвижного состава железных дорог [Текст] / И. В. Бирюков, А. И. Беляев, Е. К. Рыбников. – М. : Транспорт, 1986. – 256 с.
2. ChengWang, Shou-renWang, Gao-qiWang. A method for calculating gear meshing efficiency by measured data from gear test machine [Text] // Measurement. – 2018. – Vol. 119. – P. 97–101.
3. Шацилло, А. А. Тяговый привод электроподвижного состава [Текст] / А. А. Шацилло. – М. : Транспорт, 1961. – 222 с.
4. Калихович, В. Н. Тяговые приводы локомотивов: устройство, обслуживание, ремонт [Текст] / В. Н. Калихович. – М. : Транспорт, 1983. – 111 с.
5. Медель, В. Б. Подвижной состав электрических железных дорог. Конструкция и динамика [Текст] / В. Б. Медель. – М. : Транспорт, 1974. – 232 с.

6. Мороз, В. І. Новий підхід до класифікації тягових приводів рухомого складу залізниць [Текст] / В. І. Мороз, О. В. Братченко, С. В. Бобрицький // Зб. наук. праць ДонІЗТ. – Донецьк, 2012. – Вип. 29. – С. 162-166.

7. Мороз, В. І. Основи конструювання і САПР [Текст] : навч. посібник / В. І. Мороз, О. В. Братченко, В. В. Ліньков. – Харків : Нове слово, 2003. – 194 с.

8. Братченко, О. В. Блочно-ієрархічне описання конструкції енергетичних установок сучасних тепловозів [Текст] / О. В. Братченко // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків : УкрДАЗТ, 2014. – Вип. 143. – С. 47-54.

9. Цукало, П. В. Електропоезда ЭР2 и ЭР2Р [Текст] / П. В. Цукало, Н. Г. Ерошкин. – М. : Транспорт, 1986. – 359 с.

---

Павшенко Андрій Васильович, канд. техн. наук, доцент кафедри механіки і проектування машин Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.(057) 730-10-53. E-mail: mpmkafedra@gmail.com.

Бобрицький Сергій Владиславович, канд. техн. наук, доцент кафедри механіки і проектування машин Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.(057) 730-10-52. E-mail: mpmkafedra@gmail.com.

Громов Володимир Ігорович, аспірант кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.(057) 730-10-53. E-mail: eltech@kart.edu.ua.

Павшенко Андрей Васильевич, канд. техн. наук, доцент кафедры механики и проектирования машин Украинского государственного университета железнодорожного транспорта. Тел.(057) 730-10-53. E-mail: mpmkafedra@gmail.com.

Бобрицкий Сергей Владиславович, канд. техн. наук, доцент кафедры механики и проектирования машин Украинского государственного университета железнодорожного транспорта. Тел.(057) 730-10-52. E-mail: mpmkafedra@gmail.com.

Громов Владимир Игоревич, аспирант кафедры электроэнергетики, электротехники и электромеханики Украинского государственного университета железнодорожного транспорта. Тел.(057) 730-10-53. E-mail: eltech@kart.edu.ua.

Pavshenko Andriy, PhD. Sc. Associate Professor, department mechanical engineers and designing the machines Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.(057) 730-10-53. E-mail: mpmkafedra@gmail.com.

Bobritskiy Sergiy, PhD. Sc. Associate Professor, department mechanical engineers and designing the machines Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.(057) 730-10-52. E-mail: mpmkafedra@gmail.com.

Gromov Vladimir, graduate student of department electric power engineering, electrical engineering and electromechanics State University of Railway Transport. Tel.(057) 730-10-53. E-mail: eltech@kart.edu.ua.

Статтю прийнято 15.05.2018 р.