

УДК 629.463

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.164.2016.92524>

АНАЛІЗ СХЕМНИХ РІШЕНЬ ТА ВИБІР ТЯГОВОГО ПРИВОДА ШВИДКІСНОГО РУХОМОГО СКЛАДУ

Канд. техн. наук Н. Д. Чигирик, Є. О. Найдьон, асист. А. Л. Сумцов

АНАЛИЗ СХЕМНЫХ РЕШЕНИЙ И ВЫБОР ТЯГОВОГО ПРИВОДА СКОРОСТНОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Канд. техн. наук Н. Д. Чигирик, Е. О. Найден, ассист. А. Л. Сумцов

ANALYSIS OF CIRCUIT DESIGN AND THE CHOICE OF TRACTION DRIVE SPEED ROLLING STOCK

Ph.D. assoc. N. D. Chigirik, E. O. Nayden, assistant A. L. Sumtsov

У даній статті проведено аналіз існуючих схемних рішень тягового привода швидкісного рухомого складу, наводиться опис сучасних конструкцій тягового привода різних країн світу.

Розглядається сучасна концепція вибору типу тягового привода швидкісного рухомого складу, яку можливо застосувати для залізниць країни. Пропонується критерій вибору тягового привода – інтегральний ККД, що враховує ККД привода з урахуванням режимів експлуатації.

Ключові слова: тяговий привод, швидкісний рухомий склад, коефіцієнт корисної дії, тяговий електродвигун, візок, компенсуюча муфта, тяговий редуктор, колісна пара, локомотив, моторвагонна тяга, зубчасте колесо, режим роботи.

В данной статье проведен анализ существующих схемных решений тягового привода скоростного подвижного состава, приводится описание современных конструкций тягового привода различных стран мира.

Рассматривается современная концепция выбора типа тягового привода скоростного подвижного состава, которую можно применить для железных дорог страны. Предлагается критерий выбора тягового привода – интегральный КПД, учитывающий КПД привода с учетом режимов эксплуатации.

Ключевые слова: тяговый привод, скоростной подвижной состав, коэффициент полезного действия, тяговый электродвигатель, тележка, компенсирующая муфта, тяговий редуктор, колесная пара, локомотив, моторвагонная тяга, зубчатое колесо, режим работы.

The text of the article provided an overview of the existing variants of the configuration of the equipment vehicle-speed locomotives. A list of design features.

The description of the design features of the chassis and traction drives of modern high-speed rolling stock, such as high-speed trains such as TGV-PSE, TGV-A (France), the ICE (Germany), in trial operation - ETR-450 (Italy) and the 300 series (Japan). Currently, all listed above the rolling stock is in regular operation at speeds above 250 km / h.

High speed trains TGV-PSE consist of eight two intermediate wagons and locomotives odnokabinnye at both ends of the train. Electric and one side followed by a car based on its own two-axle motor truck, all the rest - on the intermediate support trolleys (so-called Jacobs bogie design).

Features of the traction drive in these trains is applied frantsuskimi engineers "Tripod" coupling of Voith firm, which could compensate for the greatly enlarged axial displacement of the wheelset and gear.

Trains ISE (Intercity Express) as standard version consists of 12 wagons and two locomotives odnokabinnye at the ends of the composition. Motorized carts are driven class III and partially unloaded of the weight of the motor-gear units, which are based on the engine side to the body bracket.

Italian high-speed train ETR-500 is designed to work on high-speed section of the line Rome-Florence at a speed of 270 km / h to 300 km / h Traction drive used on this train -. Individual, class III. Unlike other high-speed trains traction motors and gear units are combined into a common unit, hanging on four suspensions under the body.

In Japan, in contrast to the European countries adopted a layout diagram of the rolling stock, motor car GSP. Short truck and on it the location of the engines help to maintain the profile of a band in a state close to the original.

A special feature is the design of the drive without gear drive class III, which is implemented on an experimental electric 85E0 company "Skoda".

We describe the phases, the algorithm procedure aimed at selection of the traction drive circuits, the formulas for the calculation of basic parameters.

At the end of the main text of the article presents the findings of the successful use of the proposed method of optimal design choice of the traction drive speed locomotives, respectively, and the vehicle-parts.

Keywords: *tractiondrive, high-speedrollingstock, efficiency, tractionmotor, truck, compensating clutch, traction gearboxwheelset, locomotive, railcartraction, gearoperation.*

Вступ. Постійне зростання пасажиропотоку на залізницях України і вимоги до швидкості перевезення пасажирів привели в останні роки до створення швидкісних поїздів, які здійснюють перевезення пасажирів між великими містами [1]. Однак швидкість руху таких поїздів обмежена через застосування на них застарілого рухомого складу, а саме тягового рухомого складу.

Ще в середині XX століття до категорії "високошвидкісного" на залізничному транспорті відносили рух зі швидкостями 140-160 км/год. За останні роки межа високошвидкісного руху піднялася до значення 200 км/год [2].

Основним елементом електрорухомого складу є тяговий електропривод – сукупність пристроїв, призначених для перетворення електричної енергії, одержуваної з контактної мережі, у корисну роботу з переміщення електрорухомого складу [3]. Найважливішим завданням, яке потребує вирішення, є створення мережі

швидкісних магістралей та рухомого складу і його найважливішого елемента – тягового електропривода. Саме від його енергетичної ефективності і витрат на експлуатацію буде залежати конкурентоспроможність пасажирських перевезень на швидкісних лініях [4].

Тому аналіз існуючих схемних рішень тягового привода, які вже впроваджені на існуючому тяговому рухомому складі розвинутих країн, та вибір оптимальної конструкції має для залізничного транспорту особливе значення.

Мета статті. Проаналізувати стан технічних рішень та конструкцію тягових приводів швидкісного рухомого складу, які серійно експлуатуються в різних країнах, та запропонувати алгоритм вибору схемних рішень тягового привода візка швидкісних локомотивів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В останнє десятиліття на залізничному транспорті йшло інтенсивне освоєння швидкостей 250-300 км/год, для

чого у Франції, Англії, ФРН, Італії, Японії були розгорнуті широкі теоретичні та експериментальні дослідження і перш за все в напрямку вдосконалення ходових частин і тягового привода [2, 5,6].

Із загальних вимог до механічної частини стосовно високошвидкісного рухомого складу домінуючими стали вимоги безпеки руху та комфорту без зниження техніко-економічної ефективності [7,8]. На перший план вийшли проблеми забезпечення динамічної стійкості візка, зменшення реакцій на збурення кінематичного характеру (нерівностей у профілі і плані), а також здатність рухомого складу довго зберігати свої динамічні характеристики в процесі експлуатації. Відносно комфорту для пасажирів поряд з необхідністю забезпечити плавність ходу і низький рівень шуму в умовах зрослих збурень виникла проблема захисту пасажирів від кидка тиску повітря при вході поїзда в тунель і проході зустрічних поїздів [8].

Основна частина дослідження. Як показує аналіз схемних рішень екіпажної частини, з двох можливих підходів до компонування високошвидкісного поїзда – моторвагонного й електровозного – основним став другий, який прийнятий у всіх країнах, окрім Японії [2,7].

Тяговий привод з інверторними перетворювачами й асинхронними тяговими електродвигунами визначив успіх у створенні високошвидкісних поїздів останніх двох десятиліть. Прогрес у галузі нової елементної бази – поява у 80-ті роки тиристорів, які запираються (GTO), – дав змогу спростити схеми перетворювачів, скоротити кількість елементів і почати широке використання на залізничному транспорті потужних, компактних, надійних і відносно дешевих асинхронних тягових двигунів.

Далеко не всі запропоновані спочатку технічні рішення виявилися ефективними та життєздатними.

Тричі зазнавала істотних змін конструкція моторного візка французького TGV; поява італійського швидкісного електропоїзда ETR-500 підготовлена дослідною експлуатацією поїзда ETR-450 на швидкостях до 250 км/год; англійський швидкісний електропоїзд АРТ був відставлений на стадії експлуатаційних випробувань [5,6].

У цей час у регулярній експлуатації при швидкостях вище 250 км/год перебувають високошвидкісні поїзди типів TGV-PSE, TGV-A (Франція), ICE (Німеччина), у дослідній експлуатації – типу ETR-500 (Італія), серії 300 (Японія).

Високошвидкісний поїзд TGV-PSE складається з восьми проміжних вагонів і двох однокабінних локомотивів у голові і хвості; навантаження від осі на рейки 170 кН. Електровоз і одна сторона наступного за ним вагона спираються на власні двовісні моторні візки, усі інші – на проміжні підтримуючі візки, на які спираються два суміжних кінці сусідніх вагонів (так звані візки Якобса).

Головне завдання – забезпечення динамічної стійкості при високих швидкостях. Це досягається за рахунок великої бази візка, зменшення її маси за рахунок перенесення на кузов кріплення моторно-редукторного блока (МРБ). Це дало зниження (у порівнянні з TGV-001) маси візка на 3,3 т, тобто практично удвічі. Був також введений гаситель коливань вилання з «фрикційною» характеристикою [7].

Значних змін зазнав у процесі відпрацювання тяговий привод поїзда TGV. У прототипі TGV-001 був застосований класичний для французьких локомотивів привод класу III з муфтою поздовжньої компенсації типу Жакмен. Однак через перенесення моторно-редукторних блоків на кузов муфта типу Жакмен не могла компенсувати значно збільшені осьові зміщення колісної пари і редуктора.

Конструктори були змушені повернутися до привода класу II – встановити

редуктор з опорно-осьовим підвішуванням для того, щоб використовувати вдалу конструкцію муфти поздовжньої компенсації «Трипод» у зв'язку редукторів з опорно-осьовим і рамним підвішуванням. Муфта «Трипод» фірми Voith складається з двох шарнірів Гука, рознесених на 0,9 м, і оригінального шліцьового вала, у якому на відміну від звичайних шліцьових валів при осьовому переміщенні реалізується тертя кочення, а не ковзання. Внутрішній вал муфти несе кульові головки, що обертаються на голчастих підшипниках трьох пальців. Кульові головки можуть переміщатися в осьовому напрямку на відстань ± 120 мм по трьох циліндричних пазах (рис. 1).

Таким чином, вирішуються дві важливі проблеми: зниження осьових сил тертя (за даними французьких фірм у 10 разів у порівнянні зі звичайним шліцьовим валом) і зменшення зносів [5,7].

Конструкція муфти «Трипод» з невеликими змінами перейшла і в подальші

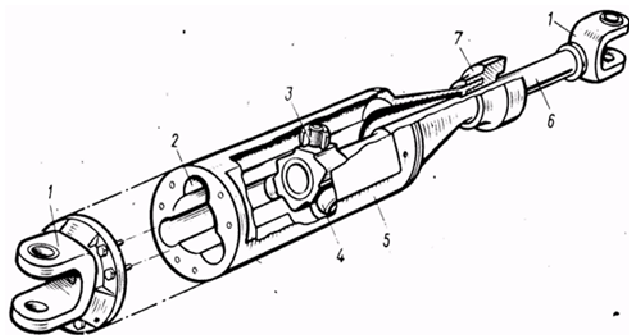


Рис. 1. Тягова муфта «Трипод»:

1 – вилка шарніра Гука; 2 – циліндричний паз; 3 – голчастий підшипник; 4 – сферичний ролик; 5 – корпус муфти; 6 – ведений вал муфти; 7 – ущільнення рухомого вала

моделі поїздів TGV, незважаючи на збільшення потужності тягового двигуна. Ревізія з розбиранням муфти «Трипод» передбачена через 2,5 млн км, для осьового редуктора – через 600 тис. км, для кузовного – через 1 млн км [9].

Поїзд ICE (Інтерсіті-експрес) у серійному варіанті складається з 12 вагонів і двох однокабінних електровозів у голові і хвості поїзда; передбачувана максимальна швидкість в експлуатації 250-280 км/год, максимальне навантаження від осі колісної пари на рейки 199 кН [6].

Моторні візки мають привод класу III і частково розвантажені від ваги моторно-редукторних блоків, які спираються з боку двигунів на кронштейни кузова. З другого боку редукторний блок спирається через дві коліскові підвіски на кінцеву балку візка, яка при повороті візка під кузовом «підтягує» його, не даючи веденому зубчастому колесу редуктора зміщуватися відносно колісної пари на відстані, більші ніж може витримати тягова муфта (рис. 2).

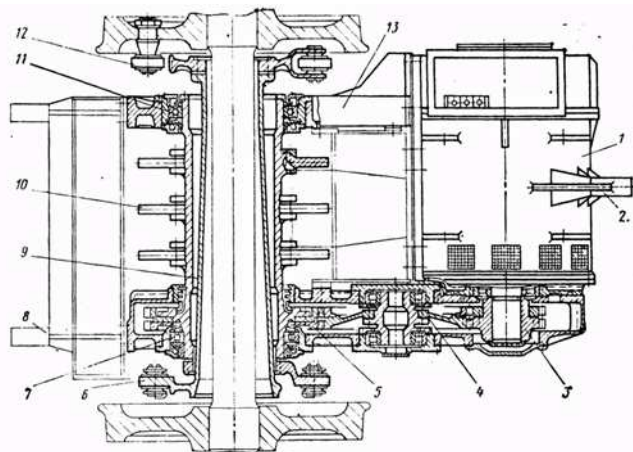


Рис. 2. Тяговий привод поїздів ICE:

1 – асинхронний тяговий двигун; 2 – кронштейн підвісу МРБ до кузова; 3, 4, 5 – шевронні шестерні; 6, 12 – шарнірно-повідкові напівмуфти; 7, 11 – підшипники; 8 – кронштейн коліскової підвіски МРБ; 9 – порожнистий вал тягової муфти; 10 – гальмівні диски; 13 – несуча рама МРБ

Особливість тягової передачі – застосування рамного підвішування редуктора з шевронними зубчастими колесами. Порожній вал веденого зубчастого колеса обертається в широко рознесених підшипниках, що дає змогу використовувати його середню частину для установалення трьох гальмівних дисків. Для розміщення їх тяговий двигун віднесений від осі колісної пари, через те, що треба було застосувати редуктор з проміжною шестірнею. Шестірня має великий діаметр, що полегшує роботу її зубів і підшипників [10].

Усередині порожнистої маточини веденого колеса пропущений проміжний порожнистий вал муфти 9 має великі осьові розміри, що сприяють зниженню амплітуд змінних складових деформації гумових втулок сайлентблоків повідків муфти при її розцентруванні, що дуже важливо для забезпечення їх довговічності. Водночас поперечна рухомість МРБ по відношенню до колісної пари, неминуха внаслідок відносних поперечних зсувів кузова і візка та коливань МРБ на колісці, викликає суттєві додаткові перекоси повідків, негативно впливаючи на довговічність гумометалевих шарнірів.

Італійський високошвидкісний поїзд ETR-500 призначений для роботи на швидкісній ділянці лінії Рим - Флоренція зі швидкістю 270 км/год до 300 км/год). Поїзд складається з 12 вагонів, головного і хвостового однокабінних локомотивів.

У процесі проектування порівнювалися різні варіанти компонування ходових частин, у результаті чого було обрано двовісний візок з базою 3 м і двигуни, які підвішені до кузова (рис. 3).

Тяговий привод індивідуальний, класу III. На відміну від інших високошвидкісних поїздів тягові двигуни і редуктори об'єднані в загальний блок, що висить на чотирьох підвісках під кузовом. Шарнірно-повідкова муфта поздовжньої компенсації з довгим порожнистим валом з'єднує ведене зубчасте колесо з колісною парою. У поздовжньому напрямку кузов

пов'язаний з рамою візка брусом низької тяги, шарнірно закріпленим на поперечній балці візка. Таким чином, візок повністю звільнений від жорсткого зв'язку з масами моторно-редукторного блока як у вертикальному, так і в поперечному напрямку. Це сприяє підняттю критичної швидкості виляння візка і зниженню впливу на колію при русі з великими швидкостями в прямих ділянках колії і кривих великих радіусів [2,7,11].

На відміну від європейських країн у Японії прийнято моторвагонний варіант високошвидкісного рухомого складу з більш низьким навантаженням від осі на рейки – 150 кН [5,7].

У конструкції всіх тягових двигунів збереглися деякі вихідні принципи:

- використання тягового привода класу II, у якому тягові двигуни постійного струму з'єднані з одноступінчастим косозубчастим редуктором за допомогою зубчастої муфти;

- буксовий вузол з пластинчастими повідками, розташованими в одному рівні, буксові підшипники – по два радіальних з циліндричними роликами та одному опорному кулькового типу на буксу;

- осі колісних пар порожнисті;

- ресорне підвішування в буксовому ступені пружинне, в кузовному – пневматичне [12].

Короткий візок (база 2,6 м) і розташування на ньому двигунів не сприяють підвищенню критичних швидкостей (до 275 км/год.). У той же час сприяють підтримці профілю бандажа в стані, близькому до вихідного.

Особливий інтерес представляє безредукторний привод класу III, який реалізований на дослідному електровозі 85E0 фірми «Шкода» (рис. 4). Асинхронний тяговий двигун 6 із порожнистим валом 3 охоплює з зазором вісь колісної пари, укріплений на рамі візка. З порожнього вала якоря момент через муфти поперечної компенсації 2 передається на диски колісних пар [7].

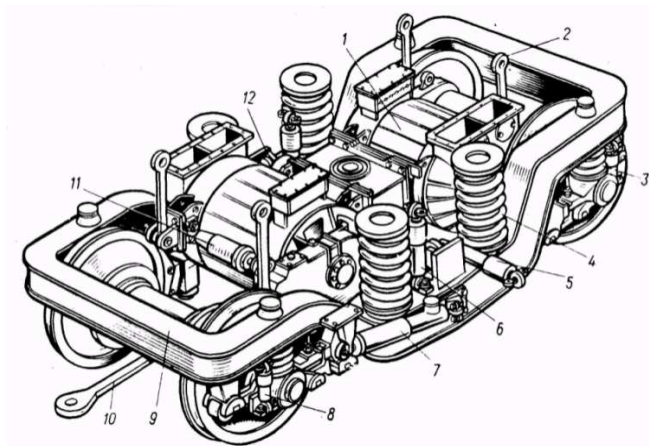


Рис. 3. Візок електропоїзда ETR-500:

1 – тяговий двигун; 2 – підвіска моторно-редукторного блока; 3, 4 – пружини буксового і кузовного ступеня; 5, 6 – гідравлічні гасителі поперечних і вертикальних коливань кузова; 7, 8 – гідравлічні гасителі коливань візка; 9 – порожнистий вал тягової муфти; 10 – брус «низької тяги»; 11 – пружний механізм; 12 – упор для пневмобалона поперечного зв'язку

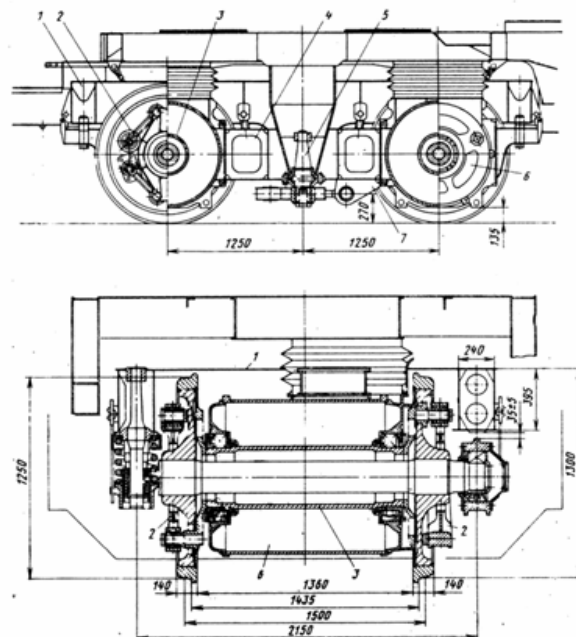


Рис. 4. Безредукторний тяговий привод третього класу електровоза 85Е0:

1 – рама візка; 2 – тягова муфта поперечної компенсації; 3 – порожнистий вал тягового двигуна; 4 – проміжна поздовжня балка; 5 – шворінь; 6 – тяговий двигун; 7 – кронштейн кріплення повідка тягового двигуна

В електропоїзді Шкода кожна вісь моторного візка обладнана тяговою системою, яка складається з тягового електродвигуна, пружної муфти та редуктора (рис. 5).

Редуктор змонтований на осі й утримується на трубчастому ригелі за допомогою реактивної штанги, яка має гумову втулку на обох кінцях. Обмежувач безпеки не дає редуктору впасти на залізничну колію в разі поломки реактивної штанги.

Пружна муфта виготовлена з урахуванням поглинання відносних зсувів осей тягового двигуна і редуктора під час коливань первинної підвіски.

В електропоїзді Хюндай між тяговим двигуном і колісною парою встановлена так звана коробка передач (рис. 6). Мова йде про двоступінчастий редуктор (чотири зубчасті колеса) з шестірнею, яка запресована на конічному кінці вала двигуна, що перебуває в зчепленні з великим проміжним колесом, установленим на проміжному валу.

Коробка передач болтами з'єднана з тяговим двигуном (на стороні шестірні), іншою стороною (з боку великого зубчастого колеса) вона закріплена болтами через гумовий сайлентблок у консолі під трубчастим буферним брусом рами візка.

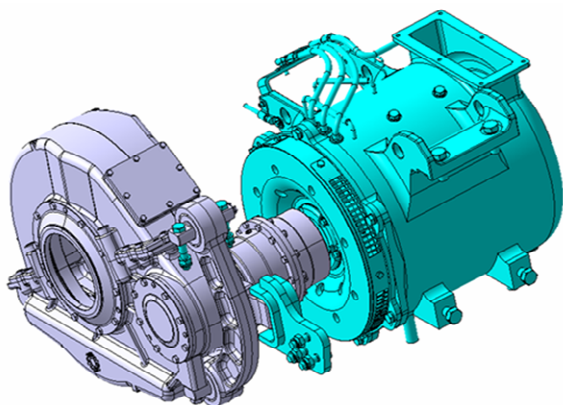


Рис. 5. Тягова система моторних візків

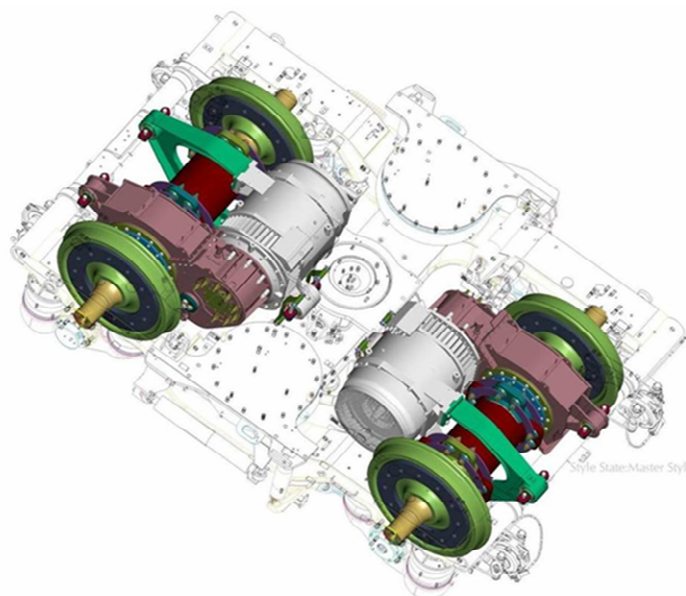


Рис. 6. Колісно-моторні блоки у візку моторного вагона

Вищенаведений аналіз дав змогу виявити деякі стійкі тенденції у схемних рішеннях і конструкціях екіпажної частини і тягового привода швидкісних локомотивів [5,7,8,10]:

- перенесення моторно-редукторної групи хоча б частково на кузов;
- збільшення бази візка і зниження його маси;
- обов'язкове застосування гасителів коливань з прямокутною характеристикою для стримування виляння;
- гнучкий поперечний зв'язок візка з кузовом;
- орієнтація в основному на привод класу III;
- асиметричний однокабінний кузов головного вагона;
- дискові гальма та ін.

Для вибору тягового привода швидкісного рухомого складу необхідно на першому етапі виробити концепцію тяги – моторвагонна або локомотивна, визначитися з осьовою характеристикою або з кількістю вагонів – кількість обмотованих осей і визначити чи вибрати основні швидкісні характеристики за існуючими методиками (розрахункова

швидкість руху, конструкційна швидкість руху, прискорення в різних режимах) [13]. На цьому етапі бажано визначити попередню тягову характеристику, а також вибрати рід струму (змінний, постійний, двосистемний, багатосистемний).

На другому етапі необхідно провести оптимальне проектування альтернативних типів тягових приводів за визначеними на першому етапі характеристиками. Залежно від роду струму можливий певний набір типів тягових приводів, які реалізують необхідні характеристики при застосуванні різних типів електромеханічних перетворювачів енергії (тягових двигунів).

З точки зору математики, такий підхід можна уявити множиною тягових приводів:

$$D=M \cap C \cap MD, \quad (1)$$

де M – множина типів тягових двигунів;

C – множина типів перетворювачів;

MD – множина типів механічних частин тягових приводів.

Для кожного з типів тягового привода проводиться оптимальне проектування

елементів його конструкції. Критерії для оптимізації викладені в роботах [7,9,13,14].

Завдання третього етапу – визначення оптимальних керуючих впливів у всьому просторі тягових характеристик привода і миттєвого ККД.

Двовимірний простір «швидкість руху – сила тяги FV » визначає всі статичні режими роботи тягового привода. У цьому просторі виділяється область D , у якій реалізуються всі тягові і гальмівні характеристики тягового привода. На цьому етапі для кожної точки цієї області необхідно знайти оптимальне значення вектора керуючих впливів і визначити ККД тягового привода при цих оптимальних співвідношеннях.

У результаті третього етапу отримана векторна функція оптимальних значень параметрів управління:

$$[U] = f(V, F). \quad (2)$$

ККД тягового привода в усіх статичних режимах його роботи, яке можна назвати миттєве ККД привода:

$$\eta_i = f(V, F). \quad (3)$$

На четвертому етапі визначається ймовірність роботи привода для будь-якої точки простору FV . Ймовірність роботи

привода в режимі при певних співвідношеннях сили тяги і швидкості:

$$Z(F, V) = \Sigma t(F, V) / T, \quad (4)$$

де $\Sigma t(F, V)$ – сумарний час роботи привода в (V, F) -му режимі; T – час тягової роботи електропривода.

Ця залежність може бути визначена різними способами [13].

У результаті вийде залежність

$$Z = f(V, F). \quad (5)$$

Завдання п'ятого етапу – визначення інтегрального ККД тягового привода і прийняття рішення про вибір оптимального типу привода. Методика визначення інтегрального ККД наведена в роботах [14,15].

На підставі отриманих даних можна бути зробити висновок про обрану схему і конструкцію привода швидкісного рухомого складу.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Проведений аналіз технічних рішень тягового привода швидкісного тягового рухомого складу та порядок вибору дає можливість отримати оптимальний тип тягового привода.

Список використаних джерел

1. Комплексна програма оновлення залізничного рухомого складу України на 2008-2020 роки [Текст]. – К.: Укрзалізниця, 2009. – 299 с.
2. Корниенко, В. В. Высокоскоростной электрический транспорт. Мировой опыт [Текст] / В.В. Корниенко, В.И. Омеляненко. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2007. – 159 с.
3. Калинин, В. К. Электровозы и электропоезда [Текст] / В.К. Калинин. – М.: Транспорт, 1991. – 480 с.
4. Програма енергозбереження на залізничному транспорті [Текст]. – К.: Укрзалізниця, 1997. – 30 с.
5. Блохін, Є. П. Високошвидкісний наземний транспорт світу [Текст]: підручник / Є.П. Блохін, О.М. Пшінько. – Дніпропетровськ: Вид-во Дніпропетровського нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2009. – 240 с.
6. Айкхофф, Дитер. Всё о поездах ICE [Текст] / Дитер Айкхофф; пер. с нем. – М.: ГОУ «Учебно-метод. центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2008. – 126 с.

7. Механическая часть тягового подвижного состава [Текст]: учеб. для вузов ж.-д. трансп. / И. В. Бирюков, А. Н. Савоськин, Г. П. Бурчак [и др.]; под ред. И.В. Бирюкова. – М.: Транспорт, 1992. – 440 с.
8. Цыганков, П. Ю. Совершенствование конструкции тележек скоростных локомотивов с целью улучшения их динамики [Текст]: автореф. дисс... канд. техн. наук / П.Ю. Цыганков. – М., 2002. – 24 с.
9. Любарский, Б. Г. Тяговый привод для высокоскоростного подвижного состава [Текст] / Б.Г. Любарский, Д.Ю. Зюзин, Е.С. Рябов, Т.В. Глебова // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»: зб. наук. праць «Нові рішення в сучасних технологіях». – Харків: НТУ «ХПІ», 2006. – №42. – С. 72-77.
10. Тележки фирмы SLM с радиальной установкой колесных пар в кривых [Текст] // Железные дороги мира. – 1998. – № 3. – С. 42–47.
11. Смит, Р. Е. Тележки с радиальной установкой колесных пар в кривых [Текст] / Р.Е. Смит, Р. Дж. Андерсон // Железные дороги мира. – 1989. – № 12. – С. 39-51.
12. Новая тележка для дизель-поездов железных дорог Японии [Текст] // Железные дороги мира. – 2001. – № 9. – С. 48-50.
13. Любарский, Б. Г. Концепция выбора типа тягового электропривода современного скоростного подвижного состава [Текст] / Б.Г. Любарский // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»: зб. наук. праць «Нові рішення в сучасних технологіях». – Харків: НТУ «ХПІ», 2010. – №74. – С. 58-64.
14. Электрические передачи переменного тока тепловозов и газотурбовозов [Текст] / А.Д. Степанов [и др.]. – М.: Транспорт, 1982. – 254 с.
15. Моделирование и оптимизация систем управления и контроля локомотивов [Текст] / В. И. Носков, В.Д. Дмитриенко, Н.И. Заполовский, С.Ю. Леонов. – Харьков: ХФИ, Транспорт Украины, 2003. – 248 с.
16. Kałuża A., General statistics of diesel engines' idle time: Shunting locomotives in industrial sidings in Poland 2009...2013 [Текст] // Transportation Research Part D: Transport and Environment. - Vol. 49, 2016. – P. 82-93.
17. Saadat M., Esfahanian M., Saket M.H., Energy-efficient operation of diesel–electric locomotives using ahead path data [Текст] // Control Engineering Practice. –Vol. 46, 2016. – P. 85-93.

Чигирик Наталія Дмитрівна, канд. техн. наук, доцент кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: 730-19-99.

Найдьон Євгеній Олександрович, магістрант, група TEMPUS-B-15-L, машиніст електровоза депо ТЧ20 «Ясинувата». Тел.: (050) 769-87-76. E-mail: Naiden87@mail.ru.

Сумцов Андрій Леонідович, асистент кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: 730 19-99.

Chigirik Nataliya Dmitrivna, techn. Ph.D., assoc. of department "Maintenance and repair of rolling stock." Tel.: 730 19-99.

Naydon Evgeniy Oleksandrovych, magistant, groups TEMPUS-B-15-L, mashinist elektrovoza depot TCH20 "Yasinuvata". Tel.: (050) 769-87-76. E-mail: Naiden87@mail.ru.

Sumtsov Andriy Leonidovich, assistant of the department "Maintenance and repair of rolling stock". Tel.: 730 19-99.

Стаття прийнята 20.09.2016 р.