

УДК 629.429.3 : 621.313

О.М. Петренко¹, Б.Г. Любарський²¹ Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Харків² Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків

ВИЗНАЧЕННЯ ЧИННИКІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЕЛЕКТРИЧНОГО ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ

В науковій статті розглядаються дві основні групи чинників, що впливають на ефективність роботи тягового приводу: електромеханічні – пов'язані з його рухом на ділянці та теплові – пов'язані з виділенням втрат в тягових двигунах при його роботі, що додає обмеження в роботу тягового приводу. Зазначено, що для рухомого складу з проміжним контактною мережею на ефективність електрорухомого складу можна нехтувати. Розглянутий у статті підхід дозволяє визначити перевищення температури тягового двигуна, як однорідного тіла.

Ключові слова: критерій ефективності електрорухомого складу, витрати енергії, середня швидкість руху, теплоємність тягового двигуна, коефіцієнт тепловіддачі тягового двигуна.

Вступ

Постановка проблеми. В даний час, в основному, для електричної передачі потужності на транспортних засобах з електричною передачею потужності – електрорухомому складі (ЕРС), таких як потужні тягачі та трактори, а також у залізничному транспорті України використовуються тягові електроприводи на основі колекторних тягових двигунів. Однак з початком ХХІ століття в усіх країнах світу намітилася стійка тенденція щодо їх заміни приводами на основі безколекторних асинхронних тягових двигунів.

Крім того, створені теоретичні передумови розрахунків, в яких з єдиних позицій для таких перспективних електромеханічних перетворювачів енергії знаходяться криві руху рухомого складу і можуть бути визначені показники їх ефективності.

Тому розробка критеріїв і методик визначення ефективності електрорухомого складу, є актуальною науково-практичною проблемою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У роботах [1, 2] розглядаються підходи до визначення ефективності рухомого складу.

Зазначено, що найбільш поширеними критеріями ефективності є витрати енергії на роботу тягового приводу та середня швидкість руху транспортного засобу.

В роботах [1 – 15] розглядаються дві основні групи чинників, що впливають на ефективність роботи тягового приводу: електромеханічні – пов'язані з рухом поїзда на ділянці колії і теплові – пов'язані з виділенням втрат в тяговому двигуні (ТД) при його роботі, що додає обмеження в роботу тягового приводу.

Метою даної статі є визначення чинників електромеханічного та теплового характеру, що впливають на ефективність електричного транспортного засобу.

Результати досліджень

Розглянемо основні процеси, що відбуваються у тяговому приводі електрорухомого складу.

1. Електромеханічні процеси в тяговому приводі

На основі [1 – 6] математична модель руху (ЕРС) складається з двох диференціальних рівнянь: рівняння руху поїзда і рівняння зміни температури ТД.

Рівняння руху [1-6]:

$$m \frac{dv_{\text{пс}}}{dt} = \frac{1}{1 + \gamma} (F - W_{\text{пс}} - F_z), \quad (1)$$

де m – маса ЕРС; $v_{\text{пс}}$ – швидкість руху ЕРС; $1 + \gamma$ – коефіцієнт інерції частин тягового приводу (ТП), що обертаються; t – поточне значення часу; F – сила тяги; F_z – гальмівна сила; $W_{\text{пс}}$ – повний опір руху; γ – безрозмірний коефіцієнт, що враховує вплив частин, що обертаються, на прискорення руху електропоїзда.

Для ЕРС величину $1 + \gamma$ визначають як середньозважене значення

$$1 + \gamma = 1 + \frac{\sum m_i \gamma_i}{m}, \quad (2)$$

де m_i – маса частини електропоїзда з однотипного рухомого складу. Для електропоїзда γ приймається рівним 1,068.

Сила тяги, обмежена максимальною потужністю тягових двигунів і зчепленням коліс з рейками,

визначається виразами [1-6]:

$$F_d = \frac{3.6P_2\eta_{зп}}{v_{пс}}, \quad (3)$$

де $\eta_{зп}$ – ККД зубчастої передачі для тягових приводів з приводом редуктора, складає величину 0,98, а для безредукторного приводу рівний 1; P_2 – потужність на валу двигуна [1-6].

$$F_k' = 9,81 \psi m_d \cdot 1000, \quad (4)$$

де ψ – коефіцієнт зчеплення колеса з рейкою;

$$\psi = 0,28 + \frac{3}{50 + 20v_{пс}} - 0,0007v_{пс}. \quad (5)$$

Сила тяги на колесі в результаті визначається вираженням

$$F = \text{MIN}(F_k', F_d). \quad (6)$$

Потужність на валу тягового двигуна визначається режимом його роботи і залежить від його електромагнітного моменту і частоти обертання [1,3-6]

$$P_2 = \frac{M \cdot n}{9,55}, \quad (7)$$

де M – електромагнітний момент двигуна, n – частота обертання ТД.

Електромагнітний момент двигуна залежить від режиму його роботи, частоти його обертання і температури. Оптимальні залежності електромагнітного моменту ТД залежать від законів управління ТП і траєкторій ведення ЕРС. Також на електромагнітний момент ТД накладаються обмеження, що вносяться поточною температурою ТД і окремих його частин.

Швидкість руху електропоїзда визначається з вираження

$$v_{пс} = \frac{3,6 \pi D_{кол} n}{60\mu}, \quad (8)$$

де μ – передатне відношення редуктора ТП ЕРС; $D_{кол}$ – діаметр середньозношеного бандажа колісної пари ЕРС, для моторного вагону електропоїзда 1,015 м [1,3-6]. Швидкість руху не повинна перевищувати задану швидкість для поточної ділянки шляху. Тому графік руху також чинить свій вплив на час руху ЕРС, і як наслідок – на середню швидкість руху – складову критерію ефективності.

Опір руху визначається з вираження [7]

$$W_{пс} = (\omega_0 + i_{пут} + \omega_{кр}) mg, \quad (9)$$

де $\omega_0 = 1,224 + 0,02 v_{пс} + 0,000267 v_{пс}^2$ [1, 8] – основний питомий опір руху; $\omega_{кр} = 700/R_{кр}$ – додатковий питомий опір руху від кривої радіусом $R_{кр}$; $i_{пут}$ – ухил ділянки колії, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – прискорення вільного падіння.

Як видно з (9), профіль шляху, а також криві вносять додаткові складові в повний опір руху ($W_{пс}$) і тим самим значно впливають на результат рішення рівняння руху потягу (1).

Гальмівна сила, обмежена потужністю тягових двигунів і зчепленням колеса з рейкою, визначається за вираженням (4) [1]:

$$F_z = \text{MIN}(F_k', F_{top}), \quad (10)$$

де F_{top} – гальмівна сила, що реалізується в режимі рекуперативного гальмування:

$$F_{top} = \frac{3.6P_2}{v_{пс}\eta_{зп}}. \quad (11)$$

Для електрорухомого складу з рекуперативним гальмуванням витрата електроенергії записується у вигляді наступного функціонала

$$A_{пс} = \frac{n_{ЭП}}{3600} \int_0^{T_{п}} \text{sign} \frac{P_2}{(\eta)_{\text{sign}}} dt, \quad (12)$$

де $n_{ЭП}$ – кількість тягових двигунів ЕРС; $T_{п}$ – час руху ЕРС; $\eta_{с}$ – ККД ТП.

Таким чином, на критерії ефективності ЕРС – витрату енергії і середню швидкість руху (час руху на даній ділянці шляху) впливають наступні чинники електромеханічного характеру:

- режими роботи ТП ЕРС визначають електромагнітний момент і частоту обертання ТД а також його ККД;
- тепловий стан ТД і його елементів, додають обмеження в роботу тягового приводу;
- графік руху ЕРС визначає максимальну встановлену швидкість руху на ділянках шляху;
- профіль шляху і наявність кривих ділянок шляху вносять зміни в опір руху ЕРС і навантаження ТП.

Зважаючи на розгляд в роботі тільки рухомого складу з проміжним контуром постійної напруги, що стабілізує напругу в цій ланці тягового приводу, впливом контактної мережі на ефективність ЕРС можна нехтувати.

2. Теплові процеси в тяговому приводі

Основним елементом тягового приводу, в якому зосереджені втрати, є ТД. Його ККД в основному визначає ККД тягового приводу ЕРС в тривалих режимах роботи. Тому основними тепловими обмеженнями, що накладаються на роботу тягового приводу ЕРС, є обмеження, що накладаються на електромеханічний перетворювач (ЕМП). Розглянемо основні підходи для їх визначення.

Нагрівання ТД — один з найважливіших чинників, що обмежують навантаження ЕРС на ділянці шляху, який враховують при визначенні маси потягу і режиму його ведення, виконанні тягових розрахун-

ків і розробці систем автоматичного управління ЕРС.

На попередньому етапі доцільно оцінювати нагрівання ТД, користуючись методом теплових параметрів, розробленим для асинхронних і колекторних машин [9, 10]. При цьому електричну машину розглядають як лінійну теплову систему [9]. Це означає, що коефіцієнт теплопровідності матеріалів (провідників, ізоляції та ін.), а також теплопередачі від одного тіла до іншого вважають незалежними від втрат у вузлах машини (обмотках, сердечниках, на колекторі і т. д.) та від рівнів температур матеріалів. При цій інтенсивності вентиляції приймають також постійним результуючий коефіцієнт теплопередачі від міді обмоток до охолоджувального повітря [11]. Усе це дозволяє застосовувати при дослідженні теплових процесів в електричній машині метод суперпозиції теплових потоків.

Процес нагрівання ТД представляє собою одне з найважливіших питань, пов'язаних як з їх розрахунком і конструюванням, так і з подальшою їх експлуатацією. Двигун буде тільки тоді придатний для роботи, якщо температура його не перевершуватиме заздалегідь встановлених для неї норм.

При вивченні нагріву ТД, як і взагалі електричних машин, доводиться виходити із загальних законів нагрівання. Для того, щоб дослідити процес нагріву тягового електродвигуна, що представляє собою в тепловому відношенні складну систему, необхідно заздалегідь з'ясувати закони нагріву однорідних тіл, на базі яких можна вирішити питання і про нагрів машин в цілому.

Також при розгляді процесів приймається допущення про відсутність дії на ТД інших тіл.

Кількість тепла, що утворюється ним за будь-який проміжок часу dt , можна визначити вираженням [12-17]:

$$Q = P_n dt, \quad (13)$$

де P_n , – сума втрат в електричній машині.

У загальному випадку частина тепла, визначеного приведеною формулою, йде частково на нагрів електричної машини, частково ж воно тим або іншим способом виділяється у довкілля. Кількість тепла, що йде на нагрів самого тіла, визначається його теплоємністю. Якщо впродовж елементу часу dt температура його змінилася на $d\tau$, то кількість теплоти, визначувана теплоємністю, дорівнює:

$$q_1 = A d\tau, \quad (14)$$

де через A позначена теплоємність в джоулях.

Кількість теплоти, що виділяється за той же елемент часу в навколишнє середовище, залежить від інтенсивності тепловіддачі тіла та від міри перевищення температури його над температурою довкілля:

$$q_2 = B \tau dt. \quad (15)$$

де B – коефіцієнт тепловіддачі, тобто тепловий потік, що виділяється цим тілом при перевищенні його температури над довкіллям в 1° , а τ – перевищення температури тіла над довкіллям.

Тепловий баланс при зроблених припущеннях визначиться диференціальним рівнянням [12-17]:

$$P_n dt = A d\tau + B \tau dt. \quad (16)$$

Виразення (16) є диференціальним рівнянням теплового балансу електричної машини (тягового двигуна).

Представимо вираження в зручній для вирішення формі – у вигляді задачі Коші [12]:

$$\frac{d\tau}{dt} = \frac{\tau_{\text{кн}} - \tau}{T}, \quad (17)$$

де $T = \frac{A}{B}$ – постійна часу нагріву тягових двигунів,

$\tau_{\text{кн}} = \frac{P_n}{B}$ – температура ЕМП, що встановилася, яка визначається співвідношенням:

$$\tau_{\text{кн}} = \frac{P_n}{B} = \frac{M_2 n}{B \eta_{\text{тд}}} (1 - \eta_{\text{тд}}), \quad (18)$$

де $\eta_{\text{тд}}$ – ККД тягового двигуна.

Розглянемо аналітичне рішення диференціального рівняння (17).

Враховуючи початкову температуру нагріву ТД – τ_0 , рівняння (16) після його інтегрування можна привести до виду:

$$t = \frac{A}{B} \ln \frac{P_n - B\tau_0}{P_n - B\tau}. \quad (19)$$

Провівши перетворення, формулу (16) можна написати у вигляді виразу:

$$\tau = \frac{P_n}{B} \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right) + \tau_0 e^{-\frac{t}{T}}. \quad (20)$$

Виразення (20) – найбільш поширена форма представлення рішення диференціального рівняння нагріву ТД, як однорідного тіла [1, 12-17].

При відомих величинах P_n , B , T і τ_0 воно дає можливість для будь-якого періоду часу t встановити відповідне підвищення температури над довкіллям τ .

Особливу увагу слід приділити втратам в міді ТД, оскільки при збільшенні температури росте й електричний опір обмотки. Рівняння нагріву (16) з урахуванням вище сказаного можна представити у вигляді [18]:

$$I^2 r_0 (1 + \alpha\tau) dt = A d\tau + B\tau dt, \quad (21)$$

де r_0 – опір обмоток при $\tau = 0$ і α – температурний коефіцієнт опору.

Результатом вирішення рівняння (21) є функція:

$$\tau = \frac{I^2 r_0}{B - \alpha I^2 r_0} \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right) + \tau_0 e^{-\frac{t}{T}}. \quad (22)$$

Аналізуючи вираження (22) можна укласти наступне – незважаючи на безперервне збільшення з температурою опору, процес нагрівання як і раніше підкоряється вже отриманій раніше однозначній залежності (20).

Особливості тільки полягають в тому, що в якості втрат тут фігурують втрати $I^2 r_0$, тобто віднесені до $\tau = 0$, і замість нормального коефіцієнта тепловіддачі тут доводиться вводити деякий еквівалентний B_t , рівний значенню [18]

$$B_t = B - \alpha I^2 r_0. \quad (23)$$

Враховуючи дію інших складових втрат (окрім втрат в міді) таких, як втрати в сталі, механічні додаткові та ін., вираження (22) повинне набути вигляду [18]:

$$\tau = \frac{I^2 r_0 + P_x}{B_t} \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right) + \tau_0 e^{-\frac{t}{T}}. \quad (24)$$

Основною проблемою при використанні наведеного вище виразу (20) є встановлення теплових коефіцієнтів. B і T .

Для складання уявлення про їх суть, необхідно дослідити основне рівняння нагріву при найбільш характерних моментах роботи машини.

Виходячи з рішення виразу (20) для режиму роботи, що встановився, отримаємо

$$B = \frac{P_n}{\tau_\infty}. \quad (25)$$

Виходячи з цього вираження, коефіцієнт B можна визначити, як чисельно рівний втратам, здатним при тривалому режимі підтримувати перевищення температури над довкіллям в 1°C . При тривалому режимі втрати машини чисельно дорівнюють повній її тепловіддачі.

З вираження (19) і (25) можна знайти постійну часу:

$$T = \frac{A}{P_n} \tau_\infty. \quad (26)$$

При втратах годинного режиму P_n , що викликають після закінчення години підвищення температури τ_h , формула нагріву, при вимірі часу в хвилинах, отримає вид [18]:

$$\tau_h = \frac{P_n}{B_h} \left(1 - e^{-\frac{60}{T_h}} \right). \quad (27)$$

Звідси постійна часу стосовно годинного режиму може бути встановлена на підставі формули [18]:

$$T_h = \frac{3600}{2,3 \lg \left(1 - \frac{B_h \tau_h}{P_n} \right)}. \quad (28)$$

Слід мати на увазі, що для однорідних тіл B , множене на T має завжди дорівнювати теплоємності A [18]:

$$A = B T. \quad (29)$$

Цей вираз показує, що при цій теплоємності постійна часу цілком залежить від коефіцієнта тепловіддачі B . Чим більше буде останній, наприклад, у разі підвищення інтенсивності штучного охолодження тіла, тим менше буде T .

Формула (24), що є універсальною, справедливою не лише для процесу нагріву, але і для процесу охолодження, набуває вигляду [12-18]

$$\tau = \tau_0 e^{-\frac{t}{T}}. \quad (30)$$

Отримане вираження характеризує охолодження, даючи можливість за кожен конкретний проміжок часу t визначити пониження перевищення температури від початкового τ_0 .

На рис. 1 воно побудовано для випадку $\tau_0 = 0$ і позначено цифрою I .

Розгляд кривої нагрівання показує, що теоретично температура, яка встановилася, досягається після закінчення нескінченно довгого проміжку часу t .

Крива нагріву має асимптоту, що знаходиться від осі абсцис на відстані, рівній τ_∞ .

Проте, практично температура встановлюється вже після закінчення декількох годин роботи. Крім того, для ТД однієї й тієї ж тривалої потужності при одному й тому ж навантаженні без примусової вентиляції період практичного встановлення температури настає значно повільніше, ніж у ТД, що мають примусове охолодження. Пояснюється це тим, що закриті машини при одних і тих же тривалих потужностях мають відносно більшу теплоємність, зумовлену більшою їх вагою на одиницю втрат, що виділяються ними. Можна вважати, що для закритих ТД встановлення температури настає після 10 – 12 годин роботи, тоді як для двигунів з особливо інтенсивною вентиляцією цей період скорочується до 3 – 5 годин.

Аналогічно кривій нагрівання, на рис. 1 зображена і крива охолодження. Вона побудована згідно з формулою (30). Аналогічно кривій нагрівання, вона дає можливість визначити температуру, виходячи як з початкового перевищення температури, так і з якого завгодно проміжного.

Якщо початкове перевищення температури буде деяке τ_0 , те за будь-який період часу Δt_k її перевищення визначиться, як показано на рис. 1, величиною τ_k .

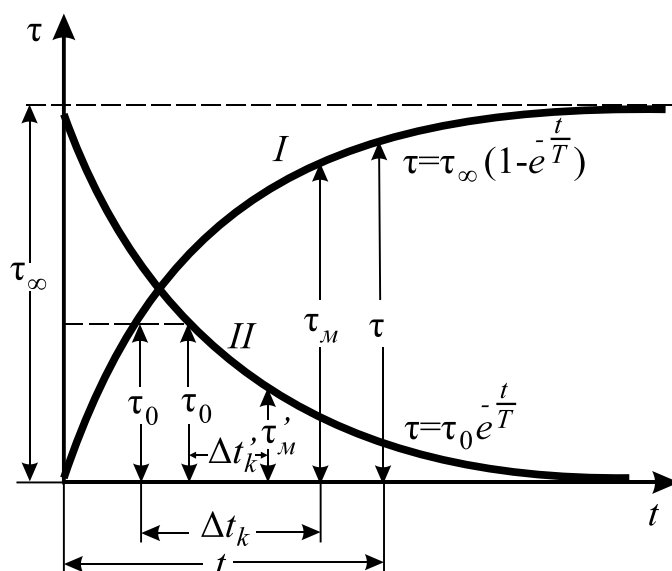


Рис. 1. Криві нагріву і охолодження двигуна, як однорідного тіла

З рівняння (30) видно, що для зниження перевищення температури до нуля вимагається так само, як і для досягнення температури, що встановилася, при нагріванні, нескінченно довгий проміжок часу. Асимптотою для кривої охолодження є вісь абсцис. При цьому криві нагрівання і охолодження є кривими, симетричними відносно осі АВ, паралельній осі абсцис і що знаходиться від неї на відстані $\frac{\tau_{\infty}}{2}$.

З рис. 1 ясно видно, що відстані від цієї осі до гілок тієї й іншої кривої для кожної точки мають бути однакові.

Реальні тягові двигуни мають дуже великі постійні часу нагріву: від 1200 с до 4000 с [19]. Тому можливе підвищення потужності ТД, а також усього ТП ЕРС, за рахунок його роботи у повторно-короткочасному режимі експлуатації.

Цей підхід дуже поширено на практиці для ЕРС постійного струму з колекторними ТД. Однак його застосування на ЕРС з асинхронними ТД потребує додаткових досліджень для визначення максимальної можливої потужності ЕРС та його приводу в цілому, оскільки сталі нагріву напівпровідникових перетворювачів значно менші за ТД. Тягові статичні перетворювачі працюють здебільш у сталих температурних режимах.

Визначення оптимальної потужності ТД ЕРС дозволить підвищити його ККД у цьому режимі, що позитивно вплине на ККД та час руху ЕРС на ділянці колії (підвищивши його середню швидкість).

Висновки

1. Визначено, що на критерії ефективності ЕРС – витрату енергії і середню швидкість руху (час

руху на даній ділянці шляху) впливають наступні чинники електромеханічного характеру:

- режими роботи ТП ЕРС, визначають електромагнітний момент і частоту обертання ТД а також його ККД;
- тепловий стан ТД і його елементів, додають обмеження в роботу тягового приводу;
- графік руху ЕРС, визначає максимальну встановлену швидкість руху на ділянках шляху;
- профіль шляху і наявність кривих ділянок шляху, вносять зміни в опір руху ЕРС і навантаження ТП;

а також наступні чинники теплового характеру – теплоємність та коефіцієнт тепловіддачі ТД.

2. Для рухомого складу з проміжним контуром постійної напруги, що стабілізує напругу в цій ланці тягового приводу, впливом контактної мережі на ефективність ЕРС можна нехтувати.

3. Розглянутий підхід дозволяє визначити перевищення температури ТД, як однорідного тіла. Проте його використання можливо тільки в інженерних або оцінних розрахунках режимів роботи ТД, зважаючи на досить вагомий рівень прийнятих допусків, що не враховують окремі температурні навантаження в конструкції ТД. Тому для визначення найбільш значущих конструктивних елементів, що впливають на температурний стан ТД, необхідно застосування біль детальних методів аналізу його теплового стану.

Список літератури

1. Любарский Б.Г. Теоретичні основи для вибору та оцінки перспективних систем електромеханічного перетворення енергії електрорухомого складу : дисс ... д-ра техн. наук : 05.22.09 – електротранспорт / Любарский Борис Григорьевич. – Національний технічний універси-

тет «Харківський політехнічний інститут». – Харків, 2014. – 368 с.

2. Мугинишейн Л.А. Энергооптимальные методы управления движением поездов / Л.А. Мугинишейн, А.У. Илютович, И.А. Ябло – М.: Интекст, 2012. – 80 с.

3. Гребенюк П.Т. Правила тяговых расчетов поездной работы / П.Т. Гребенюк – М.: Транспорт, 1985. – 287 с.

4. Осипов С.И. Основы тяги поездов / С.И. Осипов, С.С. Осипов, - М.: УМК МПС России, 2000. – 592 с.

5. Осипов С.И. Основы тяги поездов / С.И. Осипов, С.С. Осипов, - М.: УМК МПС России, 2000. – 592 с.

6. Бегазин Э.И. Тяговые расчеты для поездной работы: Методическое руководство к курсовому проекту. / Э.И. Бегазин, О.И. Ветлугина. – Екатеринбург: УрГУПС, 2004 – 24 с.

7. Любарський Б.Г. Сили опору руху електрорухомого складу залізниць / Б.Г. Любарський, С.Ю. Червяков, М.М. Калюжний // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». – 2012. – № 20. – С. 91-96

8. Основы электричної тяги, режими роботи електрорухомого складу постійного струму з асинхронним тяговим двигуном. Для студентів спеціальності 6.050702 електричний транспорт усіх форм навчання : Навч.-метод. посібн. / Б.Г. Любарський, Л.В. Овер'янова, Д.І. Якунін, О.В. Демидов. – Х.: НТУ «ХПІ», 2015. – 205 с.

9. Шевченко В.В. Исследование асинхронной машины как тепловой системы / В.В. Шевченко // Труды МЭИ. – М.: МЭИ, 1958. – Вып. 111. – С. 294 – 312.

10. Некрасов О.А. Об экспериментальном определении нагрева обмоток машин переменного тока / О.А. Некрасов // Вестник электропромышленности. – 1948. – № 11. – С. 14 – 18.

11. Некрасов О.А. Взаимосвязь между условиями работы электроподвижного состава и нагреванием обмоток тяговых двигателей / О.А. Некрасов // Тр. ЦНИИ МПС. – 1977. – Вып. 576. – С. 40 – 65.

12. Безрученко В.М. Тягові електричні машини електрорухомого складу / В.М. Безрученко, В.К. Варченко, В.В. Чулак. – Днепр-ск : Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2003. – 252 с.

13. Носков В.И. Тепловая модель тягового двигателя тепловоза / В.И. Носков // Вестник НТУ «ХПИ». – Х., 2012. – Вып. 62 (968). – С. 142-147.

14. Космодамианский А.С. Теоретические основы и разработка систем регулирования температуры тяговых электрических машин локомотивов дисс ... д-ра техн. наук / А.С. Космодамианский. – М., 2002. – 285 с.

15. Некрасов О.А. Взаимосвязь между условиями работы электроподвижного состава и нагреванием обмоток тяговых двигателей / О.А. Некрасов // Труды ВНИИ ж.-д. транспорта. – 1977. – Вып. 576. – С. 4 – 65.

16. Щербаков В.В. Моделирование теплового состояния тягового электродвигателя для прогнозирования ресурса / В.В. Щербаков, О.Л. Рапопорт, А.Б. Цукублин // Известия Томского политехнического университета. – 2005. – Т. 308. – №7. – С. 156 – 159.

17. Филонов С.П. Тепловоз 2Т116. Издание второе, переработанное и дополненное / С.П. Филонов и др. – М.: Транспорт, 1985. – 222 с.

18. Лебедев А.Б. Основы электрической тяги / А.Б. Лебедев. – Ленинград-Москва: ОНТИ-НКТП-СССР Главная ред. энергетической литературы, 1937. – 620 с.

19. Яковлев Д.В. Управление электровозом и его обслуживание. Учебник для техн. школ / Д.В. Яковлев. – М. Транспорт, 1978. – 304 с.

Надійшла до редколегії 15.10.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.Т. Доманський, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

А.Н. Петренко, Б.Г. Любарский

В научной статье рассматриваются две основные группы факторов, влияющих на эффективность работы тягового привода: электромеханические - связанные с движением его на участке пути и тепловые - связанные с выделением потерь в тяговых двигателях при его работе, что добавляет ограничения в работу тягового привода. Отмечено, что для подвижного состава с промежуточным контуром постоянного напряжения, стабилизирующим напряжение в этом звене тягового привода, влиянием контактной сети на эффективность электроподвижного состава можно пренебречь. Рассматриваемый в статье подход позволяет определять превышение температуры тягового двигателя, как однородного тела.

Ключевые слова: критерий эффективности электроподвижного состава, расход энергии, средняя скорость движения, теплоемкость тягового двигателя, коэффициент теплоотдачи тягового двигателя.

CERTAIN FACTORS AFFECTING THE EFFICIENCY OF ELECTRIC VEHICLES

A.N. Petrenko, B.G. Liubarskyi

In a scientific paper, two main groups of factors that affect the efficiency of the traction drive: electro-mechanical - associated with the movement in the area of its path and heat - related to the allocation of losses in the traction motors during its operation, which adds restrictions to the work of the traction point. It is noted that for the rolling stock with the intermediate circuit DC voltage, voltage stabilizing at this level of traction drive, the impact of the contact network on the efficiency of electric rolling stock can be neglected. Viewed in the article approach allows to determine the temperature rise of traction motor as a homogeneous body.

Keywords: criterion of efficiency of electric rolling stock, energy consumption, average speed, the heat capacity of the traction motor, the heat transfer coefficient of the traction motor.