АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДИКИ ПОДБОРА ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ПО СКОРОСТНЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ БЕЗ СИЛОВОГО ИХ НАГРУЖЕНИЯ МАГИСТРАЛЬНОГО ТЕПЛОВОЗА UZTE16M

Мамаев Шерали Иброхимович
ст. преподаватель
кафедры «Материаловедения и машиностроение»
Ташкентский государственный транспортный университет,
Республика Узбекистан, г. Ташкент
E-mail: mamayevsherali@gmail.com

Авдеева Анна Николаевна
доцент
кафедры «Материаловедение и машиностроение»
Ташкентский государственный транспортный университет,
Республика Узбекистан, г. Ташкент
E-mail: nyusik22@mail.ru

Турсунов Шукурали Эхсонович
ст. преподаватель
кафедры "Материаловедения и машиностроение"
Ташкентский государственный транспортный университет,
Республика Узбекистан, г. Ташкент
E-mail: tursunovshukurali@mail.com

Нигматова Дилноза Исламовна
ст. преподаватель
кафедры «Материаловедения и машиностроение»
Ташкентский государственный транспортный университет,
Республика Узбекистан, г. Ташкент
E-mail: islamovna.dilnoza@gmail.com

ANALYTICAL SUBSTANTIATION OF THE METHOD OF SELECTION OF TRACTION ELECTRIC MOTORS ACCORDING TO SPEED CHARACTERISTICS WITHOUT THEIR POWER LOADING OF THE UZTE16M MAIN DIESEL LOCOMOTIVE

Sherali Mamaev
Art. teacher
Department of "Materials Science and Mechanical Engineering"
Tashkent State Transport University,
Republic of Uzbekistan, Tashkent

Anna Avdeeva
assistant professor
Department "Materials Science and Mechanical Engineering"
Tashkent State Transport University,
Republic of Uzbekistan, Tashkent

Shukurali Tursunov
Art. teacher
Department "Materials Science and Mechanical Engineering"
Tashkent State Transport University,
Republic of Uzbekistan, Tashkent

Библиографическое описание: АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДИКИ ПОДБОРА ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ПО СКОРОСТНЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ БЕЗ СИЛОВОГО ИХ НАГРУЖЕНИЯ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТЕПЛОВОЗА UZTE16M // Universum: технические науки : электрон. научн. журн. Мамаев Ш.И. [и др.]. 2023. 5(110). URL: *https://7universum.com/ru/tech/archive/item/15423*

Dilnoza Nigmatova
Art. teacher
Department of "Materials Science and Mechanical Engineering"
Tashkent State Transport University,
Republic of Uzbekistan, Tashkent

АННОТАЦИЯ

Уравниванию тягового усилия в каждой колесной паре на тяговых электродвигателях локомотивов всегда уделялось большое внимание. Аналитически обоснован метод подбора тяговых электродвигателей по скоростным характеристикам без их нагружения. Представлена модель пульсаций тока между полярными щеточными кронштейнами тягового электродвигателя тепловоза. На основе модели построена система уравнений и выведена формула для определения токов, протекающих по каждой цепи.

ABSTRACT

Lots of attention has always been paid to equalizing the traction force in each wheelset on the traction electric motors of locomotives. The method of selection of traction electric motors according to speed characteristics without their loading is analytically substantiated. A model of current pulsations between polar brush brackets of a traction electric motor of a diesel locomotive is presented. Based on the model, a system of equations was built and a formula was derived to determine the currents flowing for each circuit.

Ключевые слова: асимметрия, магнитная система, катушка, фаза, тяговый двигатель, электрическая машина, якорь, щетка, крюк, пульсация тока.

Keywords: asymmetry, magnetic system, coil, phase, traction motor, electric machine, armature, brush, hook, current ripple.

Введение. Большое внимание всегда уделялось тому, чтобы тяга тяговых двигателей локомотивов была одинаковой в каждой колесной паре. По скоростным характеристикам тяговых электродвигателей (ТЭД) аналитически обоснован метод отбора без нагрузки. В данном исследовании разработана модель пульсаций тока между униполярными щеточными кронштейнами ТЭД локомотива. На основе модели построена система уравнений и выведена формула для определения токов, протекающих по каждому контуру.

Эффективное использование локомотивов в железнодорожной отрасли остается актуальным вопросом и на сегодняшний день. Проблема эффективной эксплуатации и использования тепловозов неразрывно связана с классификациями скоростей тяговых электродвигателей. В разные годы в разных странах проводились исследования по теории адгезии и изучению ее физических основ. Интеграция колес с рельсами, процессы, происходящие при движении локомотивов, изучались многими учеными в своих работах, и их продолжение до сих пор остается актуальным вопросом.

Метод. Аналитическое обоснование методики подбора ТЭД по скоростным характеристикам без силового их нагружения.

Для Аналитическое обоснование методики подбора ТЭД по скоростным характеристикам без силового их нагружения принимаем следующие допущения:

- по соединениям между однополярными щеточными бракетами токи протекают в произвольных направлениях.
- внутри обмотки якоря эти токи замыкаются через проводники, находящиеся в зоне коммутации.
- на токи в коммутирующих контурах накладываются составляющие от тока, протекающего между однополярными щеточными бракетами.
- магнитные и электрические цепи в исследуемом диапазоне линейны.

Эти допущения, сформулированные в [1-6] для тягового генератора с лягушачьей обмоткой, работающего при больших нагрузках, тем более справедливы для ТЭД с петлевой обмоткой и уравнительными сопротивлениями на якоре без силового их нагружения.

На рис.1. приведена схема коммутирующих витков секций обмотки якоря ТЭД тепловозов типа UZTE16M. Согласно принятым допущениям, составим систему уравнений и токов в коммутирующих витках обмотки:

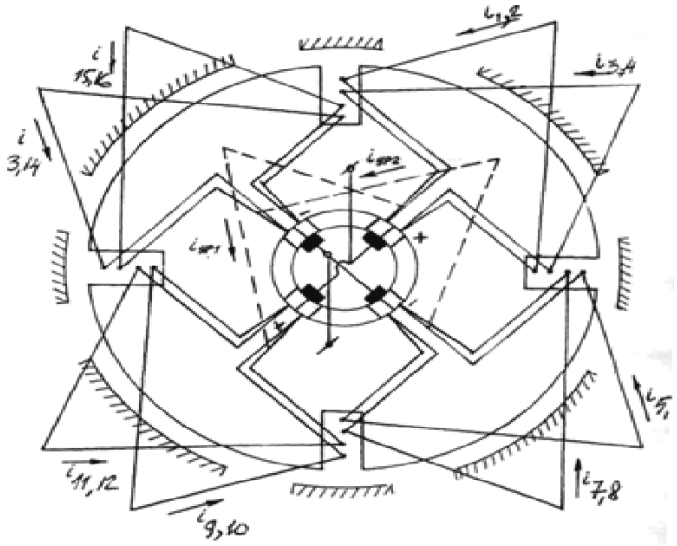


Рисунок 1. схема коммутирующих витков секций обмотки якоря ТЭД тепловозов типа UZTE16M

Для двигателей постоянного тока система незначимых дифференциальных уравнений для участка обмотки процесса коммутации q = 1… .N выражается следующим образом:

$$L_k \frac{di_1}{dt} + \sum M_{1k} \frac{di_k(t)}{dt} = -i_k(t)R_k - e_{nk}(t)$$

Воспользовавшись тем, что обмотка якоря исследуемого тягового электродвигателя ЭД-118Б(А) равна 16, получим следующую систему уравнений:

$$L_i \frac{di_1}{dt} + M_{i2} \frac{di_2}{dt} + M_{i3} \frac{di_3}{dt} + M_{i4} \frac{di_4}{dt} - M_{i5} \frac{di_5}{dt} - M_{i6} \frac{di_6}{dt} - \\ -M_{i7} \frac{di_7}{dt} - M_{i8} \frac{di_8}{dt} - -M_{i13} \frac{di_{13}}{dt} - M_{i14} \frac{di_{14}}{dt} - M_{i15} \frac{di_{15}}{dt} - -M_{i16} \frac{di_{16}}{dt} = -\Delta U(I_2(t)) - \Delta U(I_4(t)) - R_i I_i \quad (1)$$

$$L_j \frac{di_5}{dt} + M_{j6} \frac{di_6}{dt} + M_{j7} \frac{di_7}{dt} + M_{j8} \frac{di_8}{dt} - M_{j9} \frac{di_9}{dt} - M_{j10} \frac{di_{10}}{dt} - \\ -M_{j11} \frac{di_{11}}{dt} - M_{j12} \frac{di_{12}}{dt} - -M_{j1} \frac{di_1}{dt} - M_{j2} \frac{di_2}{dt} - M_{j3} \frac{di_3}{dt} - M_{j4} \frac{di_4}{dt} = -\Delta U(I_3(t)) - \Delta U(I_2(t)) - R_j I_j \quad (2)$$

$$L_k \frac{di_9}{dt} + M_{k10} \frac{di_{10}}{dt} + M_{k11} \frac{di_{11}}{dt} + M_{k12} \frac{di_{12}}{dt} - M_{k13} \frac{di_{13}}{dt} - M_{k14} \frac{di_{14}}{dt} - \\ -M_{k15} \frac{di_{15}}{dt} - -M_{k16} \frac{di_{16}}{dt} - M_{k5} \frac{di_5}{dt} - M_{k6} \frac{di_6}{dt} - -M_{k7} \frac{di_7}{dt} - M_{k8} \frac{di_8}{dt} = -\Delta U(I_4(t)) - \Delta U(I_2(t)) - R_k I_k \quad (3)$$

$$L_n \frac{di_{13}}{dt} + M_{n14} \frac{di_{14}}{dt} + M_{n15} \frac{di_{15}}{dt} + M_{n16} \frac{di_{16}}{dt} - M_{n1} \frac{di_1}{dt} - -M_{n2} \frac{di_{12}}{dt} - M_{n3} \frac{di_3}{dt} - -M_{n4} \frac{di_4}{dt} - M_{n9} \frac{di_9}{dt} - M_{n10} \frac{di_{10}}{dt} - \\ -M_{n11} \frac{di_{11}}{dt} - M_{n12} \frac{di_{12}}{dt} = -\Delta U(I_1(t)) - -\Delta U(I_3(t)) - R_n I_n \quad (4)$$

где e - ЭДС. наводимая в витке при протекании по другому витку тока, равного 1 А,

L_i - индуктивность коммутирующего витка;

M_i - взаимоиндуктивность коммутируемых витков;

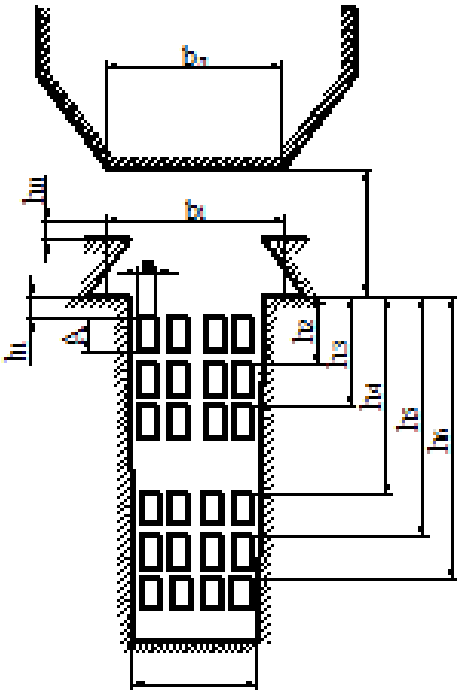
R_i - сопротивление коммутирующего витка;

$i = 1 \div 4$ - для первого-четвертого контура;

$j = 5 \div 8$ - для пятого-восьмого контуров;

$k = 9 \div 12$ - для девятого и второго контуров

$n = 13 \div 16$ - для тринадцатого и шестнадцатого контуров.



Рисунов 2. Принципиальная схема проводников якоря

По схеме паза упрощения заключаются в следующем.

С учетом уравнивающих соединений имеем следующий список уравнений:

$$2L\frac{dI_1}{dt} - M\frac{dI_2}{dt} - M\frac{dI_4}{dt} + n(I_2 - I_4) + RI_1 = 0 \quad (5)$$

$$L\frac{dI_2}{dt} - M\frac{dI_3}{dt} - M\frac{dI_1}{dt} + n(I_3 - I_1) + RI_2 = 0 \quad (6)$$

$$L\frac{dI_3}{dt} - M\frac{dI_4}{dt} - M\frac{dI_2}{dt} + n(I_4 - I_2) + RI_3 = 0 \quad (7)$$

$$L\frac{dI_4}{dt} - M\frac{dI_1}{dt} - M\frac{dI_3}{dt} + n(I_1 - I_3) + RI_4 = 0 \quad (8)$$

$$R_{n1}(I_1 - I_3) + R_{\text{ур}1}I_{\text{ур}1} = 0 \quad (9)$$

$$R_{n2}(I_2 - I_4) + R_{\text{ур}2}I_{\text{ур}2} = 0 \quad (10)$$

где: $R_{П1}$, $R_{П2}$ - сопротивления перемычек между однополярными щеточными бракетами.

$R_{ур1}$, $R_{ур2}$ - сопротивления коммутирующих уравнительных соединений.

Составим изображение системы по Лапласу:

$$P[LI_1(P) - MI_2(P) - MI_4(P)] + nI_2(P) + RI_1(P) - nI_4(P) = Li_1(0) - Mi_2(0) - Mi_4(0) \quad (11)$$

$$P[LI_2(P) - MI_3(P) - MI_1(P)] + nI_3(P) + RI_1(P) - nI_2(P) = Li_2(0) - Mi_3(0) - Mi_1(0) \quad (12)$$

$$P[LI_3(P) - MI_2(P) - MI_4(P)] + nI_4(P) + RI_2(P) - nI_3(P) = Li_3(0) - Mi_2(0) - Mi_4(0) \quad (13)$$

$$P[LI_4(P) - MI_1(P) - MI_3(P)] + nI_1(P) + RI_3(P) - nI_4(P) = Li_4(0) - Mi_1(0) - Mi_3(0) \quad (14)$$

$$R_{n1}I_1(P) - R_{n1}I_3(P) - R_{\text{ур}1}I_{\text{ур}1}(P) = 0 \quad (15)$$

$$R_{n2}I_2(P) - R_{n2}I_4(P) - R_{\text{ур}2}I_{\text{ур}2}(P) = 0 \quad (16)$$

Составим определитель характеристической функции:

$$L_P + R - M_P - n;$$

$$D(p) = \begin{vmatrix} L_P+R; & -M_P+n; & 0; & -M_P-n; & 0; & 0; \\ -M_P-n; & pL+R; & -M_P+n; & 0; & 0; & 0; \\ 0; & -M_P+n; & pL+R; & -M_P+n; & 0; & 0; \\ -M_P+n; & -M_P-n; & -M_P+n; & pL+R; & 0; & 0; \\ R_{n1}; & 0; & -R_{n1}; & 0; & -R_{\text{ур}1}; & 0; \\ 0; & R_{n2}; & 0; & -R_{n2}; & 0; & -R_{\text{ур}2}; \end{vmatrix} \quad (17)$$

Раскрыв Д(р) и приравняв его нулю, получим:

$$\text{p}^4\ L^4R_{\text{ур}}^2 + 4\text{p}^3\ L^3R_{\text{ур}} + 6\text{p}^2\ L^2RR_{\text{ур}}^2 + 4pR^3R_{\text{ур}}^2 + R^4R_{\text{ур}}^2 = 0 \quad (18)$$

где: $R_{\text{ур}}^2 = R_{\text{ур}1}R_{\text{ур}2}$

Введем обозначения:

$$a = L^4R_{\text{ур}}^2;\ b = 4L^3RR_{\text{ур}}^2;\ c = 6L^2R^2R_{\text{ур}}^2;$$
$$d = 4LR^3R_{\text{ур}}^2;\ e = R^4R_{\text{ур}}^2;$$

Используя метод Гаусса [7] составим таблицу коэффициентов:

$$\begin{array}{l|ll|} p^4 & a; & c; \quad e; \\ p^3 & b; & d; \quad o; \\ p^2 & k; & e; \\ p^1 & kd-be; & o; \\ p^0 & e; & \end{array} \quad (19)$$

где: $K = \frac{be-ad}{b}$

$$D_1(p) = \begin{vmatrix} L_{i1}(0) - Mi_1(0) - Mi_4(0); & -M_P+n; & 0; & -M_P+n; & 0; & 0; \\ L_{i2}(0) - Mi_3(0) - Mi_1(0); & pL+R; & -M_P+n; & 0; & 0; & 0; \\ L_{i3}(0) - Mi_4(0) - Mi_2(0); & -M_P-n; & pL+R; & -M_P+n; & 0; & 0; \\ L_{i4}(0) - Mi_1(0) - Mi_3(0); & 0; & -M_P+n; & pL+R; & 0; & 0; \\ R_{n1}; & 0; & -R_{n1}; & 0; & R_{\text{ур}1}; & 0; \\ 0; & R_{n2}; & 0; & -R_{n1}; & 0; & R_{\text{ур}2}; \end{vmatrix} \quad (22)$$

$$D_2(p) = \begin{vmatrix} L_P+R; & L_{i1}(0) - Mi_1(0) - Mi_4(0); & 0; & -M_P-n; & 0; & 0; \\ -M_P-n; & L_{i2}(0) - Mi_3(0) - Mi_1(0); & -M_P+n; & 0; & 0; & 0; \\ 0; & L_{i3}(0) - Mi_4(0) - Mi_2(0); & -M_P-n; & -M_P+n; & 0; & 0; \\ -M_P+n; & L_{i4}(0) - Mi_1(0) - Mi_3(0); & -M_P-n; & pL+R; & 0; & 0; \\ R_{n1}; & 0; & -R_{n1}; & 0; & R_{\text{ур}1}; & 0; \\ 0; & R_{n2}; & 0; & -R_{n2}; & 0; & R_{\text{ур}2}; \end{vmatrix} \quad (23)$$

Построим операторные выражения токов $I_1(p)$ и $I_2(p)$:

$$I_1(p) = \frac{\dot{a}\cdot p^3 + \dot{b}\cdot p^2 + \dot{c}\cdot p + \dot{d}}{a\cdot p^4 + b\cdot p^3 + c\cdot p^2 + d\cdot p + e} \quad (24)$$

где: $\dot{a} = A\cdot L^3;\ \dot{b} = 3L^2RA;\ \dot{c} = 3LR^2A;\ \dot{d} = R^3A;$

$A = Li_1(0) - Mi_2(0) - Mi_4(0)$

Анализируем значения коэффициентов первого столбца:

Если $a > 0;\ b > 0$; тогда:

$$K = \frac{be-ad}{b} = \frac{4L^3RR_{\text{ур}}^2\cdot 6L^2R^2R_{\text{ур}}^2 - L^4R_{\text{ур}}^2\cdot 4LR^3R_{\text{ур}}^2}{4L^3RR_{\text{ур}}^2} = 6L^2R^2R_{\text{ур}}^2 - -L^2R^2R_{\text{ур}}^2 = 5L^2R^2R_{\text{ур}}^2 \quad (20)$$

Значить: $\boldsymbol{K} > 0$

посмотрим на предел следующим образом:

$$\frac{kd-be}{k} = d - \frac{be}{k} = 4LR^3R_{\text{ур}}^2 - \frac{4L^3RR_{\text{ур}}^2\cdot R^4R_{\text{ур}}^2}{5L^2R^2R_{\text{ур}}^2} = 4LR^3R_{\text{ур}}^2 - \frac{4}{5}LR^3R_{\text{ур}}^2 \quad (21)$$

Яъни $\frac{kd-be}{k} > 0;$

Таким образом, все пределы первого столбца таблицы коэффициентов положительны. Исправим идентификаторы типа D1(p) и D2(p):

$$I_2(p) = \frac{\ddot{a}\cdot p^3 + \ddot{b}\cdot p^2 + \ddot{c}\cdot p + \ddot{d}}{a\cdot p^4 + b\cdot p^3 + c\cdot p^2 + d\cdot p + e} \quad (25)$$

Где: $\ddot{a} = A\cdot L^3;\ \ddot{b} = 3L^2RA;\ \ddot{c} = 3LR^2A;\ \ddot{d} = R^3A;$

$A = Li_2(0) - Mi_3(0) - Mi_4(0)$

Results

Если знак коэффициентов в первом столбце уравнения (23) не меняется, то в характеристическом функциональном уравнении (22) нет положительных корней [13]. Это приводит к предположению, что при переходе от описания токов $i_1(t)$ и $i_2(t)$ к оригиналам корни характеристического уравнения могут быть отрицательными, равными звездочкам, равным нулю, а могут быть полностью объединены. Поэтому, согласно [14], токовые выражения $i_1(t)$ и $i_2(t)$ также имеют составляющие для колебаний. Соображения для токов i3 (t) и i4 (t) аналогичны. Токи, протекающие через кронштейны щеток, соответственно равны

$$i_{Б1}(t) = i_1(t) - i_3(t) \quad (26)$$

$$i_{Б2}(t) = i_2(t) - i_4(t) \quad (27)$$

где: $i_{Б1}(t)$ и $i_{Б2}(t)$- токи между кронштейнами щеток.

В случае абсолютной симметрии магнитной системы и перемычек между компенсаторами и униполярными щеточными кронштейнами характеристическое уравнение (23) имеет два нулевых и два комплексных согласующих значения [14], за исключением активных сопротивлений между ними, решение системы уравнений (17-20).

$$I_1 = A_1 sin(\omega \cdot t + \varphi_1) \quad (28)$$

$$I_2 = A_2 sin(\omega \cdot t + \varphi_2) \quad (29)$$

$$I_3 = A_3 sin(\omega \cdot t + \varphi_3) \quad (30)$$

$$I_4 = A_4 sin(\omega \cdot t + \varphi_4) \quad (31)$$

$$\varphi_2 = \varphi_1 - \frac{\pi}{2}; \quad (32)$$

$$\varphi_3 = \varphi_2 - \pi; \quad (33)$$

$$\varphi_4 = \varphi_1 - \frac{3\pi}{2}; \quad (34)$$

Токи между однополюсными щеточными кронштейнами:

$$i_{Б1}(t) = \frac{A_1 + A_3}{2} \sin(\omega \cdot t + \varphi_1); \quad (35)$$

$$i_{Б2}(t) = \frac{A_2 + A_4}{2} \sin(\omega \cdot t + \varphi_1 - \pi); \quad (36)$$

Фаза смещена на угол, показанный ниже:

$$\varphi = \frac{360}{n}; \quad (37)$$

Где: n — количество пар полюсов. В этом случае предполагается следующее уравнение:

$$i_1(t) = i_2(t) = i_3(t) = i_4(t); \quad (38)$$

$$i_5(t) = i_6(t) = i_7(t) = i_8(t); \quad (39)$$

$$i_9(t) = i_{10}(t) = i_{11}(t) = i_{12}(t); \quad (40)$$

$$i_{12}(t) = i_{14}(t) = i_{15}(t) = i_{16}(t); \quad (41)$$

Вывод. Активные сопротивления перемычек между уравнительными проводами и униполярными щеточными кронштейнами равны Rrn с учетом асимметрии геометрии магнитной системы и различных дефектов при решении системы уравнений (17-22) и представляют собой результаты уравнений (50-53).

Таким образом, сигналы, полученные от однополюсных щеточных кронштейнов, различаются не только по амплитуде, но и по фазе.

$$\varphi = \frac{360}{n} \pm \Delta\varphi \quad (42)$$

Значения сигналов ± Δph и их разные амплитуды характеризуют асимметрию геометрии магнитной системы и наличие дефектов ТЭД.

Список литературы:

1. Скалин А.В., Бухтеев В.Ф., Кононов В.Е. Электрические машины и аккумуляторные батареи тепловозов (конструкция, ремонт и испытание). – М.: Желдориздат, Трансинфо. 2005, - 232 с.
2. Электрооборудование тепловозов: Справочник. В.С. Марченко, А.А. Сергеев, В.Т. Иванченко и др. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2003.-248с.:ил. ISBN 5-94628-115-1
3. Грищенко А.В., Стрекопытов В.В. Электрические машины и преобразователи подвижного состава: Учебник для студ.проф. образование. – М.: Издательский цент «Академия», 2005.-320 с.
4. Стрекопытов В.В., Грищенко А.В., Кручек В.А. Электрические передачи локомотивов: Учебник для вузов ж.д. транспорта.-М.: Машрут, 2003.-310 с.
5. Кононов В.Е., Хуторянский Н.М., Скалин А.В. Тепловозы. – М.: Желдориздат, 2005, 555 с.
6. Скалин А.В., Кононов В.Е., Шаров В.Д. Справочник машиниста тепловоза. – М.: Желдориздат, 2004, 320 с.
7. Зеленченко А.П. Устойства диагностики тяговых двигателей электрического подвижного состава – М.: 2002, 35 с.
8. Матюшков С.Ю. Система автоматизированного управления тяговым электроприводом с асинхронными двигателями / С.Ю. Матюшков, Д.В. Кочевинов, Г.В. Роговцев, Г.А. Федяева // Вест. Брянского техн. ун-та: Изд-во БГТУ.- 2012. -№ 1.-С. 81-88.

9. Грищенко А.В., Козаченко Е.В. Новые электрические машины локомотивов: Учебное пособие для вузов ж.д. траснпорта. – М.:ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2008.-271с. ISBN 978-5-89035-520-1
10. Вайгель В.Д. Современный трехфазный тяговый привод - состояние и перспективы / В.Д. Вайгель // Железные дороги мира.- №10.- 2003 г.- С. 26-31.
11. Динамические процессы в асинхронном тяговом приводе магистральных электровозов / Ю.А. Бахвалов [и др.]; под ред. А.А. Зарифьяна- М. : Маршрут, 2006.-374 с.
12. А.П. Мостовской. Численные методы и система Mathematica: Учебное пособие.- Мурманск: 2009.-249 с.
13. Вержбицкий В.М. Основы численных методов. – М: 2002 г.
14. Лосев А.К. Теория линейных электрических цепей. - М.: Высшая школа, 1987 – 511 с.