Вставить титульный лист

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Род тока электровоза переменный;

тип тягового двигателя AL-442NP;

диаметр бандажа по кругу катания, м 1,25;

коэффициент регулирования возбуждения:

β1 0,72;

β2 0,58.

Расчетный подъем *i*р, ‰ 5;

передаточное число зубчатой передачи μ 3,74;

количество осей электровоза Nо 6;

масса на ось электровоза mло, т 23;

масса, приходящаяся на одну ось вагона mво, т 22.

Технические характеристики тягового двигателя НБ418-К6:

номинальная мощность на валу Рн, кВт 800;

номинальное напряжение Uн, В 850;

КПД ηдн 0,936;

сопротивление всех обмоток ТД Rд, Ом 0,0161;

число пар полюсов ТД 3;

число пар параллельных ветвей обмотки якоря а 3;

число активных проводников обмотки якоря N 522.

СОДЕРЖАНИЕ

1 Расчет электромеханических характеристик на

валу тягового электродвигателя 4

2 Расчет электромеханических характеристик тягового двигателя на

ободе колеса электровоза 6

3 Расчет тяговых характеристик электровоза

3.1 Расчет тяговых характеристик электровоза переменного тока 7

3.2 Расчет тяговых характеристик электровоза при ослаблении

возбуждения ТД 10

4 Расчет ограничения силы тяги электровоза по сцеплению 11

5 Определение расчетной массы состава 12

6 Определение установившихся скоростей движения 14

Список использованной литературы 16

Графическое приложение

Рисунок 1. Электромеханические характеристики тягового двигателя

Рисунок 2. Тяговые характеристики электровоза

1 Расчет электромеханических характеристик на валу тягового электродвигателя

Электромеханическими характеристиками на валу тягового двигателя (ТД) - зависимость частоты вращения якоря и вращающего момента от тока, потребляемого двигателем. Частоту вращения якоря тягового двигателя n (об/мин), определяем по формуле:

$n=\frac{U\_{д}-I\_{я}r\_{Д}}{С\_{n}Ф}$ (1.1)

где Uд – напряжение на зажимах ТД, В;

 Iя – ток, потребляемый двигателем, А;

 rд- сопротивление всех обмоток ТД, Ом;

 $С\_{n}$ – постоянный коэффициент;

 Ф - магнитный поток, Вб.

Вращающий момент М, (кН\*м) на валу ТД, определяем по формуле

$М=С\_{м}I\_{я}Фη\_{м}$ (1.2)

где $С\_{м}$ – постоянный коэффициент;

ηм – коэффициент полезного действия, учитывающий потери момента в ТД.

Постоянные коэффициенты, определяемые конструктивными параметрами ТД, определяем по формулам

$C\_{n}=\frac{pN}{а60}$ (1.3)

$С\_{м}=\frac{рN}{а2π}=9,55C\_{n}$ (1.4)

где р – число пар полюсов ТД;

 а – число пар параллельных ветвей ТД;

 N – число обмоток якоря ТД.

При нормальном возбуждении (НВ) ток, протекающий по катушкам главных полюсов Iв, равен току якоря Iя, то есть Iв = Iя = Iд.

Номинальный ток Iд.н (А), ТД определяем по формуле

$I\_{д.н}=\frac{P\_{H}10^{3}}{U\_{д.н}η\_{д.н}}$ (1.5)

где Рн - номинальная мощность ТД, кВт;

ηд.н - коэффициент полезного действия ТД в номинальном режиме.

$I\_{д.н}=\frac{850\*10^{3}}{800\*0,936}=1335,1$ А.

Рассчитываем постоянные по формулам (1.3),(1.4)

$C\_{n}=\frac{3\*522}{3\*60}=8,7$;

$С\_{м}=9,55\*8,7=83,09$.

Задаемся значениями тока Iд в зависимости от конструктивных особенностей заданного двигателя AL-442NP [1, рис. П1]. Определяем величины магнитной индукции Ф. Данные заносим в таблицу 1.1.

Рассчитываем значение n, М, по формулам (1.1) и (1.2).

Таблица 1.1

Электромеханические характеристики тягового двигателя

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Ток двигателя Iд, А | МагнитныйпотокФ, Вб | Частота вращения якоря n, об/мин | Вращающий момент М, Нм | Скорость движенияV, км/ч | Касательная сила тягиFкд, кН |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 200 | 0,0319 | 2871 | 508 | 174,1 | 3,103 |
| 300 | 0,0428 | 2135 | 1022 | 129,5 | 6,243 |
| 400 | 0,0507 | 1799 | 1614 | 109,1 | 9,859 |
| 500 | 0,0566 | 1608 | 2252 | 97,5 | 13,757 |
| 600 | 0,0613 | 1482 | 2927 | 89,9 | 17,880 |
| 700 | 0,0651 | 1393 | 3627 | 84,5 | 22,156 |
| 800 | 0,0683 | 1325 | 4349 | 80,4 | 26,567 |
| 900 | 0,0709 | 1273 | 5078 | 77,2 | 31,020 |
| 1000 | 0,0731 | 1233 | 5818 | 74,8 | 35,540 |
| 1135 | 0,0754 | 1192 | 6811 | 72,3 | 41,606 |
| 1200 | 0,0764 | 1175 | 7297 | 71,3 | 44,575 |
| 1300 | 0,0777 | 1152 | 8039 | 69,9 | 49,108 |
| 1400 | 0,0793 | 1127 | 8836 | 68,3 | 53,976 |
| 1500 | 0,0812 | 1098 | 9694 | 66,6 | 59,217 |
| 1600 | 0,0820 | 1085 | 10442 | 65,8 | 63,787 |

По данным расчетов в таблице 1.1 строим зависимости n(Iд) и М(Iд) (Графическое приложение. Рисунок 1).

2 Расчет электромеханических характеристик ТД на ободе колеса электровоза

Электромеханическими характеристиками на ободе колеса называют зависимости скорости движения и касательной силы тяги от тока двигателя, которые рассчитывают по формулам:

$V=\frac{U\_{д}-I\_{я}r\_{д}}{C\_{v}Ф}$ (2.1)

$F\_{кд}=C\_{F}I\_{я}Фη\_{м}$ (2.2)

где V – скорость движения, км/ч;

Fкд – сила тяги ТД, кН;

CV, CF –постоянные, определяемые конструктивными параметрами ТД и колесно-моторного блока (КМБ);

$C\_{v}=5,3\frac{μ}{D\_{к}}С\_{n}$ (2.3)

$С\_{F}=3,6C\_{v}$ (2.4)

где Dк – диаметр движущего колеса по кругу катания, м;

μ – передаточное число зубчатой передачи;

ηF – коэффициент, учитывающий потери в КМБ.

Сравнение формул (2.1) и (2.2) с (1.1) и (1.2) показывает их полную идентичность, разница заключается лишь в величинах постоянных CF, CV, Cn и См.

При наличии значений частоты вращения и вращающего момента, рассчитанных в разделе 1, определение величин V, км/ч и Fкд, кН производим по формулам:

$V=0,189\frac{D\_{к}}{μ}n$ (2.5)

$F=\frac{2Mμ}{D\_{к}}η\_{зп}10^{-3}$ (2.6)

где ηзп – коэффициент, учитывающий потери в тяговой зубчатой передаче. Принимаем ηзп=0,98 [1, п.2].

Данные расчетов V и F заносим в таблицу 1.1, п.1.

3 Расчет тяговых характеристик электровоза переменного тока

3.1 Расчет тяговых характеристик электровоза переменного тока

Определяем напряжение холостого хода Uд0(10) электровоза по формуле

$U\_{д0(10)}=U\_{дн}+0,1U\_{дн}=1,1U\_{дн}$ (3.1)

где $U\_{дн}$ – номинальное напряжение ТД.

Напряжение Uд на последней (10-й) позиции регулирования при номинальном токе Iд = Iдн равно его номинальной величине Uд = Uдн точка Б [1. п.3.3.1 рис. 3.7). Тогда по формуле (3.1)

$U\_{д0(10)}=800+0,1\*800=880$ В.

Определяем величину эквивалентного сопротивления Zэ(10) для 10й позиции по формуле

$z\_{э(10)}=\frac{0,1U\_{дн}}{I\_{дн}}$; (3.2)

$z\_{э(10)}=\frac{0,1\*800}{1135,1}=0,070$.

Рассчитываем величины Uд0(1) для 1й позиции по формуле

$U\_{д0(1)}=I\_{дн}(R\_{д}+Z\_{э(1)})$ (3.3)

где $R\_{д}$ – сопротивление обмоток ТД, Ом.

$U\_{д0\left(1\right)}=1135,1\left(0,0161+0,07\right)=97,7$ В.

Определяем величину эквивалентного сопротивления Zэ(1) для 1й позиции по формуле

$z\_{э(1)}=z\_{э(10)}\frac{R\_{д}I\_{дн}}{U\_{дн}}$, (3.4)

$z\_{э(1)}=0,107\frac{0,0161\*11}{800}=0,002$.

Определяем приращение напряжения ∆U с округлением до целых значений

$ΔU=\frac{U\_{д0(10)}-U\_{д0(1)}}{N\_{п}-1}$ (3.5)

где $N\_{п}$ - количество позиции, $N\_{п}=10$.

$ΔU=\frac{880-97,7}{10-1}=87,0$ В.

Изменение эквивалентного сопротивления ∆Zэ определяем по формуле

$Δz\_{э}=\frac{z\_{э(10)}-z\_{э(1)}}{N\_{п}-1}$ (3.6)

$Δz\_{э}=\frac{0,07-0,002}{10-1}=0,008$.

Последовательно вычитаем величины $ΔU$ и $Δz\_{э}$ соответственно из $U\_{д0(10)}$ и $z\_{э(10)}$ для десятой позиции, находим значения $U\_{д0(i)}$ и $z\_{э(i)}$ для каждой позиции регулирования по формулам

$U\_{д0(i)}=U\_{д0(10)}-(N\_{п}-i)ΔU$; (3.7)

$z\_{э(i)}=z\_{э(10)}-(N\_{п}-i)Δz\_{э}$ ; (3.8)

данный расчетов заносим в таблицу 3.1.

Принимаем те же значения токов двигателя Iд, что и при расчете электромеханических характеристик (см. табл. 1.1).

Постоянную, определяемую конструктивными параметрами ТД и колесно-моторного блока (КМБ) определяем по формуле (2.3)

$C\_{v}=5,3\frac{3,74}{1,2}8,7=143,7$.

Определяем скорости движения с учетом падения напряжения в ВУ по формуле

$V=\frac{U\_{д0}-I\_{д}z\_{э}-I\_{д}R\_{д}}{C\_{v}Ф}=\frac{U\_{д0}-I\_{д}(z\_{э}+R\_{д})}{C\_{v}Ф}$ (3.9)

Силу тяги электровоза рассчитываем по формуле

$F\_{к}=N\_{д}F\_{кд}$ (3.10)

Результаты вычислений заносим в таблицу 3.1.

Таблица 3.1

Скорость движения и сила тяги электровоза переменного тока по позициям

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер позиции i | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Напряжение Uд(i), В | 97,7 | 184 | 271 | 358 | 445 | 532 | 619 | 706 | 793 | 880 |
| Эквивалентное сопротивление Zэ(i), Ом | 0,002 | 0,006 | 0,014 | 0,022 | 0,03 | 0,038 | 0,046 | 0,054 | 0,062 | 0,070 |
| Iд, А | Ф, Вб | Fк, кН | Скорость |
| **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** | **10** | **11** | **12** | **13** |
| 200 | 0,0319 | 18,618 | 20,5 | 39,2 | 57,8 | 76,4 | 95,1 | 113,7 | 132,3 | 151,0 | 169,6 | 188,2 |
| 300 | 0,0428 | 37,458 | 15,0 | 28,8 | 42,6 | 56,3 | 70,1 | 83,9 | 97,6 | 111,4 | 125,1 | 138,9 |
| 400 | 0,0507 | 59,154 | 12,4 | 24,0 | 35,5 | 47,0 | 58,5 | 70,1 | 81,6 | 93,1 | 104,6 | 116,1 |
| 500 | 0,0566 | 82,542 | 10,9 | 21,3 | 31,5 | 41,7 | 51,9 | 62,1 | 72,3 | 82,5 | 92,7 | 102,9 |
| 600 | 0,0613 | 107,280 | 9,9 | 19,4 | 28,7 | 38,0 | 47,4 | 56,7 | 66,0 | 75,4 | 84,7 | 94,0 |
| 700 | 0,0651 | 132,936 | 9,1 | 18,0 | 26,7 | 35,4 | 44,1 | 52,8 | 61,5 | 70,2 | 78,9 | 87,6 |
| 800 | 0,0683 | 159,402 | 8,5 | 16,9 | 25,2 | 33,4 | 41,6 | 49,8 | 58,0 | 66,2 | 74,4 | 82,6 |
| 900 | 0,0709 | 186,120 | 8,0 | 16,1 | 23,9 | 31,8 | 39,6 | 47,4 | 55,3 | 63,1 | 70,9 | 78,8 |
| 1000 | 0,0731 | 213,240 | 7,6 | 15,4 | 22,9 | 30,5 | 38,0 | 45,5 | 53,0 | 60,5 | 68,1 | 75,6 |
| 1135 | 0,0754 | 249,636 | 7,1 | 14,7 | 21,9 | 29,1 | 36,2 | 43,4 | 50,6 | 57,8 | 65,0 | 72,2 |
| 1200 | 0,0764 | 267,450 | 6,9 | 14,3 | 21,4 | 28,4 | 35,5 | 42,5 | 49,6 | 56,6 | 63,7 | 70,7 |
| 1300 | 0,0777 | 294,648 | 6,6 | 13,9 | 20,8 | 27,6 | 34,5 | 41,3 | 48,2 | 55,1 | 61,9 | 68,8 |
| 1400 | 0,0793 | 323,856 | 6,3 | 13,4 | 20,1 | 26,7 | 33,4 | 40,0 | 46,7 | 53,3 | 60,0 | 66,6 |
| 1500 | 0,0812 | 355,302 | 6,0 | 12,9 | 19,4 | 25,8 | 32,2 | 38,6 | 45,1 | 51,5 | 57,9 | 64,3 |
| 1600 | 0,0820 | 382,722 | 5,8 | 12,6 | 18,9 | 25,2 | 31,5 | 37,8 | 44,1 | 50,4 | 56,7 | 63,0 |

3.2 Расчет тяговых характеристик электровоза при ослаблении возбуждения ТД

Рассчитываем, две тяговые характеристики с коэффициентами регулирования возбуждения β1 и β2 в соответствии с заданием для параллельного соединения ТД на электровозах переменного тока.

Определяем скорости и силы тяги электровоза постоянного тока при ОВ по формулам (3.9), (2.2) и (2.6) для Uд0(10) при Zэ(10). Расчет производим для принятых ранее значений тока двигателя (тока якоря), магнитный поток Ф находим с помощью магнитной характеристики ТД по току возбуждения Iв при заданных величинах β. Тогда Iв определится как

Iв = βIя = βIд. (3.11)

Результаты расчетов сводим в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Скорость и сила тяги при ОВ

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | β1=0,72 | β2=0,58 |
| Iд = Iя, А | Iв,А | Ф, Вб | V, км/ч | Fкд, кН | Fк, кН | Iв,А | Ф, Вб | V, км/ч | Fкд, кН | Fк, кН |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| 200 | 144 |  - | 188,2 |  - |  - | 116 |  - |  - |  - |  - |
| 300 | 216 | 0,0338 | 138,9 | 5025 | 30150 | 174 |  - |  - |  - |  - |
| 400 | 288 | 0,0416 | 116,1 | 8247 | 49482 | 232 | 0,0357 | 164,8 | 7077 | 42462 |
| 500 | 360 | 0,0478 | 102,9 | 11845 | 71070 | 290 | 0,0418 | 139,3 | 10358 | 62148 |
| 600 | 432 | 0,0527 | 94,0 | 15670 | 94020 | 348 | 0,0469 | 122,9 | 13946 | 83676 |
| 700 | 504 | 0,0568 | 87,6 | 19705 | 118230 | 406 | 0,0511 | 111,6 | 17727 | 106362 |
| 800 | 576 | 0,0603 | 82,6 | 23907 | 143442 | 464 | 0,0546 | 103,4 | 21647 | 129882 |
| 900 | 648 | 0,0633 | 78,8 | 28234 | 169404 | 522 | 0,0578 | 96,6 | 25780 | 154680 |
| 1000 | 720 | 0,0658 | 75,6 | 32610 | 195660 | 580 | 0,0605 | 91,3 | 29983 | 179898 |
| 1135 | 817 | 0,0688 | 72,2 | 38699 | 232194 | 658 | 0,0637 | 85,5 | 35831 | 214986 |
| 1200 | 864 | 0,0699 | 70,7 | 41570 | 249420 | 696 | 0,0650 | 83,2 | 38656 | 231936 |
| 1300 | 936 | 0,0717 | 68,8 | 46194 | 277164 | 754 | 0,0668 | 80,0 | 43037 | 258222 |
| 1400 | 1008 | 0,0732 | 66,6 | 50788 | 304728 | 812 | 0,0687 | 76,9 | 47666 | 285996 |
| 1500 | 1080 | 0,0745 | 64,3 | 55382 | 332292 | 870 | 0,0701 | 74,5 | 52111 | 312666 |
| 1600 | 1152 | 0,0756 | 63,0 | 59946 | 359676 | 928 | 0,0715 | 72,2 | 56695 | 340170 |

4 Расчет ограничения силы тяги электровоза по сцеплению

Максимальная сила тяги, кН, которую может развивать электровоз, ограничивается условиями сцепления колес с рельсами, определяем по формуле:

Fк. сц = mлgψ = Nоmлоgψ, (5.1)

где Nо – количество осей электровоза;

mло – масса электровоза, приходящаяся на одну ось, mло =23т;

mл –масса локомотива, mл =6\*26=138 т;

g = 9,81 – ускорение силы тяжести (ускорение свободного падения), м/с2;

ψ – коэффициент сцепления.

Расчетную величину коэффициента сцепления определяем по эмпирической формуле для электровозов переменного тока:

$ψ=0,28+\frac{4}{50+6V}-0,0006V$ (5.2)

Результаты, расчетов сводим в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Сила тяги по сцеплению

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Скорость V, км/ч | 0 | 5 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
| Коэфф. сцепления ψ | 0,360 | 0,330 | 0,316 | 0,304 | 0,297 | 0,294 | 0,291 | 0,290 |
| Сила тяги Fк. сц, кН | 487,36 | 446,75 | 427,79 | 411,55 | 402,07 | 398,01 | 393,95 | 392,60 |

Необходимо отметить, что сила тяги двигателя AL-442nP ограничена не по условиям сцепления колесной пары с рельсом, а ограничена по току.

Iогр=1600 А.

На основании полученных данных строим график тяговой характеристики электровоза (Графическое приложение. Рисунок 2.).

5. Определение расчетной массы состава

Расчетную массу состава определяем из условия равномерного движения по расчетному подъему участка при номинальном напряжении и нормальном возбуждении ТД с максимальной по сцеплению силой тяги.

По тяговой характеристике (Графическое приложение. Рисунок П2), определяем расчетную скорость vр и расчетную силу тяги.

Расчетную силу тяги определяем точкой пересечения тяговой характеристики при Uдн и НВ с кривой ограничения по сцеплению Fксц(V):

Fкр=391,7 кН, vр= 63 км/ч.

Определяем основное удельное сопротивление локомотива по формуле при скорости Vр=63 км/ч:

ωo' = l,9 + 0,01V + 0,0003V2; (5.1)

ωo' = l,9 + 0,01\*63 + 0,0003\*632=3,72 Н/кН;

Определяем основное удельное сопротивление составу для грузовых четырехосных вагонов на роликовых подшипниках по формуле

$ω\_{0р}^{..}=\frac{3+0,1V+0.0025V^{2}}{m\_{во}}$ (5.2)

где mво – масса, приходящаяся на одну ось вагона. Принимаем mво = 22 т [1. п.5.1].

$ω\_{0р}^{..}=\frac{3+0,1\*63+0.0025\*63V^{2}}{22}=0,874$ Н/кН

Определяем массу состава исходя из заданного расчетного подъема по формуле

$m\_{в}=\frac{F\_{кр}10^{3}-(ω\_{0р}^{,}+i\_{р})m\_{л}g}{(ω\_{0р}^{,,}+i\_{р})}$ (5.3)

где Fкр – расчетная сила тяги, кН;

mл – масса электровоза, т;

g– ускорение свободного падения, м/с2;

ωo' –удельное основное сопротивление движению электровоза, Н/кН;

ip – расчетный подъем, ‰;

mв – масса вагонов, т;

ωo'' – удельное основное сопротивление движению вагонов, Н/кН.

$m\_{в}=\frac{397,1\*10^{3}-(3,72+5)\*138\*9,81}{\left(0,874+5\right)\*9,81}=\frac{379906}{57,62}=6593$ т.

6 Определение установившихся скоростей движения

Определяем установившиеся скорости движения для поезда расчетной массы $m\_{в}=6593$ т при работе на ходовых позициях. Для электровоза переменного тока условно принимаем ходовыми 5-, 8- и 10-ю позиции при НВ и ОВ [1. п.5.2].

Для определения указанных скоростей следует рассчитываем зависимость W(V) по формуле

Fкр =W=[mлg(ωo' + ip) + mвg(ωo'' + ip)]10-3 (6.1)

Принимая скорость V=0…100 км/ч с интервалом ∆V =10 км/ч, рассчитываем ωo' и ωo" по (6.1) и (6.2), полное основное сопротивление движению поезда W0 расчетной массы и дополнительное от подъема Wi, кН

W0 = (mлωo' + mвωo'')g10-3 ; (6.2)

Wi = (mл + mв)g i10-3, (6.3)

где i – величина подъема, которую можно выбрать произвольно при выполнении условия: 0 < i < ip, ‰. Принимаем i=4 ‰.

Результаты расчета сводим в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Сопротивление движению поезда

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| V, км/ч | ωo', Н/кН | ωo", Н/кН | W0, кН | Wi, кН | W, кН |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 0 | 1,900 | 0,136 | 2,6 | 264,1 | 66,8 |
| 10 | 2,030 | 0,193 | 2,8 | 264,1 | 67,1 |
| 20 | 2,220 | 0,273 | 3,1 | 264,1 | 67,5 |
| 30 | 2,470 | 0,375 | 3,4 | 264,1 | 67,9 |
| 40 | 2,780 | 0,500 | 3,9 | 264,1 | 68,6 |
| 50 | 3,150 | 0,648 | 4,4 | 264,1 | 69,2 |
| 60 | 3,580 | 0,818 | 5,0 | 264,1 | 70,0 |
| 70 | 4,070 | 1,011 | 5,7 | 264,1 | 71,0 |
| 80 | 4,620 | 1,227 | 6,5 | 264,1 | 72,1 |
| 90 | 5,230 | 1,466 | 7,4 | 264,1 | 73,3 |
| 100 | 5,900 | 1,727 | 8,4 | 264,1 | 74,6 |
| 110 | 6,630 | 2,011 | 9,4 | 264,1 | 76,0 |

По данным табл. 6.1 строим зависимости W(V) на графике тяговых характеристик (Графическое приложение Рисунок 2), а по точкам пересечения FK(V) и W(V) находим искомые скорости движения.

При уклоне i=4 ‰, массе состава $m\_{в}=6593$ т, равномерные скорости составят:

- на 5й позиции – vр=52 км/ч;

- на 8й позиции – vр=82 км/ч;

- на 10й позиции – vр=101 км/ч.

Список использованной литературы

1. Методические рекомендации по выполнению контрольной работы.

2. Электрические железные дороги. Учебник для вузов ж.-д. трансп. / В. А. Кисляков, А. В. Плакс, В. Н. Пупынин и др.; Под ред. А. В. Плакса и В. Н. Пупынина. – М.: Транспорт, 1993. – 280 с.

3. Развитие локомотивной тяги. / Н. А. Фуфрянский, А. С. Нестрахов, А. Н. Долганов, Н. Н, Каменев, Э. А. Пахомов; Под ред. Н. А. Фуфрянского и А. Н. Бевзенко. – М.: Транспорт, 1982. – 303 с.

4. Электрические железные дороги. Учебное пособие для студентов специальности «Электрический транспорт железных дорог» / Под ред. профессора Просвирова Ю. Е. – Самара: СамИИТ, 1997. – 192 с.

5. Исаев И. П., Фрайфельд А. В. Беседы об электрической железной дороге. – М.: Транспорт, 1989. – 359 с.

6. Подвижной состав и основы тяги поездов: Учебник для техникумов ж.-д. транспорта / П. И. Борцов, В. А. Валетов, П. И. Кельперис, Л. И. Менжинский и др. Под ред. С. И. Осипова. 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1990. – 336 с.

7. Теория электрической тяги / Розенфельд В. Е., Исаев И. П., Сидоров Н. Н., Озеров М. И.; Под ред. И. П. Исаева. − М.: Транспорт, 1995.− 294 с.

8. Тихменёв Б. Н., Трахман Л. М. Подвижной состав электрифицированных железных дорог. Теория работы электрооборудования. Электрические схемы и аппараты: Учебник для вузов ж.-д. транспорта. − 3-е изд., доп. и перераб. − М.: Транспорт, 1980. – 471 с.

9. Развитие локомотивной тяги / Фуфрянский Н. А., Нестрахов А. Н., Доганов А. Н., Каменев Н. Н., Пахомов Э. А.; Под ред. Н. А. Фуфрянского. М.: Транспорт, 1982. 303 с.