

МЕХАНІКО-ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

**Кафедра електроенергетики, електротехніки
та електромеханіки**

РОЗРАХУНОК ТЯГОВОГО ДВИГУНА

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання курсової роботи
з дисципліни
*«ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ»***

Харків – 2018

Методичні вказівки розглянуто та рекомендовано до друку на засіданні кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки 15 лютого 2018 р., протокол № 7.

Рекомендуються для бакалаврів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» (за освітньою програмою «Електричний транспорт») та спеціальності 273 «Залізничний транспорт» (за освітньою програмою « Електровози та електропоїзди») денної та заочної форм навчання.

Укладачі:

доценти Н. П. Карпенко, М. Г. Давиденко,
О. М. Ананьєва, Д. Л. Сушко,
проф. М. М. Бабаєв

Рецензент

доц. С. І. Яцько

РОЗРАХУНОК ТЯГОВОГО ДВИГУНА

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання курсової роботи
з дисципліни
«ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ»

Відповідальний за випуск Сушко Д. Л.

Редактор Третьякова К. А.

Підписано до друку 03.04.18 р.

Формат паперу 60x84 1/16. Папір писальний.

Умовн.-друк.арк. 2,25. Тираж 50. Замовлення №

Видавець та виготовлювач Український державний університет
залізничного транспорту,
61050, Харків-50, майдан Фейербаха, 7.
Свідectво суб'єкта видавничої справи ДК № 6100 від 21.03.2018 р.

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Загальні положення з проектування ТЕД.....	5
2 Розрахунок активного шару якоря.....	8
3 Розрахунок магнітного кола ТЕД.....	10
4 Розрахунок комутації та допоміжних полюсів.....	15
5 Оцінка потенціальних умов на колекторі ТЕД.....	19
6 Визначення характеристик ТЕД.....	22
6.1 Визначення навантажувальних характеристик.....	22
6.2 Визначення швидкісної характеристики.....	23
6.3 Розрахунок характеристик ККД.....	24
6.4 Визначення характеристик рухомого моменту на валу ТЕД.....	26
Питання до захисту курсової роботи.....	27
Список літератури.....	28
Додаток А. Варіанти завдання на курсову роботу.....	29
Додаток Б. Основні технічні дані тягових електродвигунів....	30

ВСТУП

Випускники університету за спеціальностями 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», 273 «Залізничний транспорт» готуються до роботи як фахівці із застосування електроустаткування на підприємствах залізничної галузі. Саме тому вони мають знати характеристики електричних машин і використовувати їх відповідно до характеристик.

Для виконання курсової роботи студент повинен знати основні положення теорії електричних машин, умови та режими роботи тягових електродвигунів (ТЕД) на електричному рухомому складі (ЕРС).

У курсовій роботі рекомендується провести перевірний розрахунок одного із серійних тягових електродвигунів і порівняти оптимальність вибору параметрів активного шару якоря. Результати розрахунків на кожному етапі треба порівнювати з довідниковими даними.

При виконанні курсової роботи розраховуються:

- активний шар якоря (вибір обмотки якоря);
- магнітне коло;
- комутація;
- потенціальні умови на колекторі;
- електромеханічні характеристики;
- техніко-економічних показники ТЕД.

Тип тягового електродвигуна відповідно до свого варіанта студент обирає згідно з додатком А даних методичних вказівок. Основні технічні характеристики ТЕД, необхідні для виконання курсової роботи, наведені в додатку Б.

Робота оформляється у вигляді розрахункової записки і двох креслень на форматі А4 – повздовжнього та поперечного перетинів спроектованого двигуна. На кресленнях необхідно зазначити основні розміри, одержані при розрахунках (діаметри якоря та колектора, осьову довжину осердя якоря та ін.).

1 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ З ПРОЕКТУВАННЯ ТЕД

При проектуванні керуються загальними положеннями теорії електричних машин. Розміри машини, її вагові, експлуатаційні та економічні показники залежать переважно від головних розмірів машини: зовнішнього діаметра та осьової довжини осердя. Головні розміри пов'язані з механічними, магнітними та струмовими навантаженнями, що характеризуються частотою обертання, індукцією у повітряному проміжку і лінійним навантаженням якоря.

Залежність між розрахунковою (конструктивною) потужністю P_i та основними розмірами встановлюється через електромагнітну сталу Арнольда:

$$P_i = \frac{D_a^2 \cdot l_a \cdot n_n}{C_A}, \quad (1.1)$$

де D_a – діаметр якоря, см;

l_a – осьова довжина осердя, см;

n_n – номінальна частота обертання, об/хв;

C_A – електромагнітна стала Арнольда.

$$C_A = \frac{6,1 \cdot 10^7}{\alpha_i \cdot A \cdot B_\delta}, \quad (1.2)$$

де α_i – розрахунковий коефіцієнт полюсного перекриття;

A – лінійне навантаження якоря, [А/см];

B_δ – магнітна індукція у повітряному проміжку між полюсом та якорем у номінальному режимі.

$$P_i = P_n \cdot \frac{1+\eta}{2 \cdot \eta}, \quad (1.3)$$

де P_i – номінальна потужність ТЕД (у тривалому режимі), кВт;

η – коефіцієнт корисної дії, у відносних одиницях.

Значення η для ТЕД електровозів приблизно можна дорівнювати 0,94, а для ТЕД електропоїздів – 0,92.

Якщо немає обмежень, то діаметр якоря, см, приблизно можна визначити за формулою К.І. Шепфера:

$$D_a = \sqrt[3]{\frac{P_H}{n_H}}. \quad (1.4)$$

Для ТЕД значення діаметра якоря обмежується діаметром тягового колеса ЕРС, і його вибір робиться за умов вписування ТЕД в екіпаж.

Для електровозів постійного струму серій ВЛ10, ВЛ11 та ін., які мають діаметр тягового колеса $D_\delta = 1250$ мм – $D_a = 74$ см. Для електровозів змінного струму серії ВЛ80 з таким саме діаметром колеса з причин забезпечення надійності ТЕД при пульсуючому струмі $D_a = 66$ см.

При $D_\delta = 1200$ мм – $D_a = 66$ см (електровоз ВЛ8).

При $D_\delta = 1050$ мм – $D_a = 52$ см для електровозів, $D_a = 49,3$ см для електропоїздів.

При $D_\delta = 950$ мм – $D_a = 45$ см (перспективні електропоїзди).

Довжина осердя якоря також обмежена. При ширині колії 1520 мм, яка існує в Україні, $l_a \leq 42$ см для ТЕД вантажних електровозів. Існуючі вимоги щодо максимального використання активного об'єму якоря потребують прийняти максимально можливий діаметр якоря, тоді осьова довжина осердя, см, визначається за формулою

$$l_a = \frac{6,1 \cdot 10^7 \cdot P_i}{\alpha_i \cdot A \cdot B_\delta \cdot n_H \cdot D_a^2}. \quad (1.5)$$

Значення лінійного навантаження якоря сучасних ТЕД електровозів досягає значень 400÷500 А/см, а $B_\delta \leq 1,0$ Тл (для ТЕД електропоїздів $B_\delta \approx 0,7 \div 0,8$ Тл).

Важливим параметром є відношення полюсної дуги до полюсного ділення:

$$\alpha_i = \frac{b_p}{\tau}, \quad (1.6)$$

де τ – полюсне ділення.

$$\tau = \frac{\pi \cdot D_a}{2p}. \quad (1.7)$$

Величину α_i вибирають максимально можливою. Її називають коефіцієнтом використання машини. Величина α_i обмежується умовами забезпечення надійної комутації. Орієнтовано можна задати $\alpha_i \approx 0,62 \div 0,68$ для некомпенсованих ТЕД та $\alpha_i \approx 0,64 \div 0,72$ для компенсованих.

Важливим фактором є також вибір кількості полюсів. Кількість головних полюсів $2p$ при $D_a = 45 \div 52$ см дорівнює 4, при $D_a = 74$ см – $2p = 6$.

Наявність колектора в ТЕД постійного та пульсуючого струмів накладає обмеження на вибір обмотувальних даних і режимів роботи ТЕД, зокрема:

1) колекторне ділення

$$t_k = \frac{\pi \cdot D_k}{K} \geq 4 \text{ мм}, \quad (1.8)$$

де D_k – діаметр колеса;

K – кількість колекторних пластин.

Як правило, $D_k = (0,75 \div 0,9) \cdot D_a$. Більші значення D_k обмежуються можливістю приєднання провідників обмотки якоря до півників колектора;

2) лінійна швидкість на поверхні колектора

$$V_{k \max} = \frac{\pi \cdot D_k \cdot n_{\max}}{60} \leq 52 \div 55 \text{ м/с}, \quad (1.9)$$

де n_{\max} – максимальна робоча швидкість обертання ТЕД, об/хв;

3) максимальна напруга між сусідніми пластинами колектора для некомпенсованих ТЕД

$$u_{k \max} \leq 35 \div 37 \text{ В}; \quad (1.10)$$

4) середня напруга між сусідніми пластинами колектора

$$u_k = \frac{2p \cdot U}{K} \leq 16 \div 18 \text{ В}; \quad (1.11)$$

5) максимальне значення реактивної ЕРС при комутації і максимальній робочій швидкості обертання якоря

$$e_{p \max} \leq 8 \div 9 \text{ В}; \quad (1.12)$$

б) максимальне значення небалансної ЕРС у комутуючих секціях обмотки якоря при пульсуючому живленні

$$\Delta e \leq 0,7 \div 1,0 \text{ В}; \quad (1.13)$$

7) значення струму в пазу якоря або компенсаційної обмотки не повинно перевищувати 1200 А.

2 РОЗРАХУНОК АКТИВНОГО ШАРУ ЯКОРЯ

При розрахунку активного шару якоря вибирається тип обмотки, кількість її провідників та їх розмір, кількість пазів осердя та їх геометричні розміри.

Для ТЕД електровозів застосовується петльова обмотка якоря, яка має кількість паралельних гілок, що дорівнює кількості полюсів:

$$2a = 2p. \quad (2.1)$$

Для ТЕД електропоїздів, як правило, приймається хвильова обмотка, яка має

$$2a = 2, \quad (2.2)$$

однак при збільшенні потужності понад 200 кВт можливо застосування петльової обмотки.

Важливим етапом проектування є вибір кількості та розмірів пазів якоря. При цьому треба дотримуватися прикладів побудованих машин та користуватися такими рекомендаціями:

- ширина зубчатого ділення на поверхні якоря повинна бути, як правило, у межах:

$$t_1 = \frac{\pi \cdot D_a}{Z} = 1,8 \div 3,5 \text{ см}, \quad (2.3)$$

де Z – кількість пазів;

- кількість колекторних пластин, які приходяться на один паз, повинна бути в межах $3 \leq U_n \leq 7$;
- ширина паза дорівнює:

$$b_n \approx (0,4 \div 0,45) \cdot t_1; \quad (2.4)$$

- відношення глибини паза до його ширини за умови оптимального проектування та комутації повинно бути в межах

$$\frac{h_n}{b_n} \approx 3,2 \div 4,5. \quad (2.5)$$

Менші значення належать до ТЕД електропоїздів.

Важливим є правильний вибір конструкції ізоляції. Кількість активних провідників обмотки якоря N визначається вибраною величиною лінійного навантаження

$$A = \frac{I_a \cdot N}{2 \cdot a \cdot \pi \cdot D_a}. \quad (2.6)$$

При виборі $N = 2K$ треба слідкувати за обмеженнями, щоб $t_k \geq 4$ мм.

Площа поперечного перетину активного провідника обмотки q_a знаходиться із заданої величини теплового фактора $A \cdot j_a$, в якому j_a – щільність струму, А/мм². Тоді

$$q_a = \frac{I_a}{2 \cdot a \cdot j_a}, \quad (2.7)$$

де I_a – струм у паралельній гілці обмотки.

Тепловий розрахунок означає нагрів обмотки якоря, який нормується залежно від класу нагрівостійкості ізоляції обмотки. Для вибору $A \cdot j_a$ слід керуватися рекомендаціями [1, с. 14]. Однак треба брати до уваги, що j_a не повинна перевищувати 7 A/mm^2 .

3 РОЗРАХУНОК МАГНІТНОГО КОЛА ТЕД

Мета розрахунку – визначення основних розмірів магнітопроводу та кількості витків обмотки збудження. Магнітне коло складається з окремих ланок:

- повітряного проміжку;
- зубців якоря;
- спинки (ярма) осердя якоря;
- осердя полюса (для некомпенсованих машин разом із наконечником);
- зубців компенсаційної обмотки (для компенсованих ТЕД);
- остова (ярма) у вигляді двох складових: основної і місця переходу (виходу) із полюса в станину;
- стикування полюса з остовом.

Отже, загальна магніторушійна сила (МРС), яка необхідна для проведення магнітного потоку, знаходиться у вигляді суми таких складових:

$$F_0 = F_\delta + H_z L_z + H_a L_a + H_m L_m + H_{zk} L_{zk} + (H_0 L_0 + H_j L_j) + F_{\delta j}, \quad (3.1)$$

де H – напруженість магнітного поля у наведених ланках магнітного кола;

L – довжина ланок кола в напрямі ліній магнітного поля.

Для визначення геометричних розмірів ланок магнітного кола треба пам'ятати, що великі значення індукцій магнітного поля у феромагнітних ланках призводять до магнітного насичення ланок і непропорційного різкого зростання МРС обмотки збудження. Занижені значення індукцій збільшують масу та габарити ТЕД.

Практикою електромашинобудування відпрацьовані оптимальні значення магнітних індукцій у ланках магнітного кола ТВД. Орієнтовно в номінальному режимі вони такі:

- $B_{\delta} = 0,8 \div 1$ Тл (менші значення для ТВД електропоїздів);
- $B_{z1/3} = 2,1 \div 2,2$ Тл (на 1/3 висоти зубця від дна паза);
- $B_a = 1,4 \div 1,6$ Тл;
- $B_m = 1,5 \div 1,7$ Тл;
- $B_{zk} = 1,7 \div 1,8$ Тл;
- $B_0 = 1,3 \div 1,6$ Тл;
- $B_j \leq B_0$ (із розрахунку).

Значення вказаних магнітних навантажень можуть коливатися в межах наведених даних.

З урахуванням значень магнітних індукцій, довжини осердя якоря, полюсів і спинки знаходять поперечні розміри наведених ланок за значенням магнітного потоку в номінальному режимі роботи ТВД.

Номінальний магнітний потік у повітряному проміжку ТВД визначається номінальним значенням ЕРС обмотки якоря:

$$E = C_E \cdot \Phi \cdot n, \quad (3.2)$$

$$E = U - I \cdot \sum r, \quad (3.3)$$

де U – напруга на якорі ТВД у номінальному режимі;

$\sum r$ – сума активних опорів обмоток у полі якоря.

Як правило, $I \cdot \sum r \approx 0,054$, тоді $E = 0,95 \cdot U$.

Більш точно падіння напруги на опорах обмоток кола якоря знаходяться за розрахунковими даними опорів обмоток, які наведені у вихідних даних до проектування.

C_E визначається за обмотувальними даними конкретного ТВД з урахуванням того, що $N = 2 \cdot K$.

$$C_E = \frac{p \cdot N}{60 \cdot a}. \quad (3.4)$$

$$\Phi = \frac{E}{C_E \cdot n}. \quad (3.5)$$

За значенням магнітного потоку в номінальному режимі знаходяться індукції:

$$\begin{aligned} B_\delta &= \frac{\Phi}{S_\delta}; & B_{z1/3} &= \frac{\Phi}{S_{z1/3}}; & B_a &= \frac{\Phi}{2 \cdot S_a}; \\ B_m &= \frac{\sigma \cdot \Phi}{S_m}; & B_{zk} &= \frac{\sigma_k \cdot \Phi}{S_{zk}}; & B_0 &= \frac{\sigma \cdot \Phi}{2 \cdot S_0}; & B_j &= \frac{\sigma \cdot \Phi}{2 \cdot S_j}, \end{aligned} \quad (3.6)$$

де σ , σ_k – коефіцієнти магнітного розсіювання для головних полюсів та в зоні компенсаційної обмотки. Можна орієнтовно прийняти $\sigma = 1,2$; $\sigma_k = 1,05$;

S – площі поперечного перетину ланок магнітного кола.

Розрахунок МРС F_0 виконується, як правило, для одного полюса. МРС повітряного проміжку знаходять для його розрахункового значення:

$$F_\delta = \frac{B_\delta \cdot \delta_p}{\mu_0}, \quad (3.7)$$

де $\delta_p = \delta' \cdot K_\delta$, см;

$\delta' = \delta$ – для компенсованих ТЕД.

Для некомпенсованих ТЕД δ' визначається залежно від відношення проміжків під краєм та центром полюса, яке може бути $\frac{\delta_{kp}}{\delta_c} = 2 \div 4$;

K_δ – коефіцієнт повітряного проміжку (коефіцієнт Картера).

$$K_\delta = \frac{t_1 + 10 \cdot \delta'}{b_{z1} + 10 \cdot \delta'} \cdot \frac{t_k + 10 \cdot \delta'}{b_{zk} + 10 \cdot \delta'}, \quad (3.8)$$

де t_1 – зубчате ділення якоря;

$b_{z1} = t_1 - b_n$ – ширина зубця на поверхні якоря;

t_k – зубчате ділення компенсаційної обмотки на поверхні полюса;

b_{zk} – ширина зубця компенсаційної обмотки;
 μ_0 – магнітна проникливість повітря.

МРС сталевих ланок магнітного кола розраховуються з використанням кривих намагнічування сталей, з яких складається осердя ланки.

У місці стику полюса з остовом наявність щілини вважають товщиною 0,01 см, тоді $F_{\delta j} \approx 0,008 B_m$.

Розрахунок магнітного кола після вибору геометричних розмірів його ланок виконують для різних значень магнітного потоку:

$$\frac{\Phi}{\Phi_n} = 0,5; 0,8; 1,0; 1,15; 1,25 . \quad (3.9)$$

Дані розрахунків $\Phi = f(F_0)$ рекомендується занести до таблиці 3.1 і побудувати у вигляді графічної залежності, яка має назву магнітної характеристики ТЕД.

Далі знаходиться повна МРС обмотки збудження:

$$F_{зб} = F_0 + F_p, \quad (3.10)$$

де F_p – розмагнічувальна МРС поперечної реакції якоря.

Для некомпенсованих ТЕД F_p знаходиться у вигляді:

$$F_p = K_{ря} \cdot F_a, \quad (3.11)$$

де F_a – МРС поперечної реакції якоря.

$$F_a = \frac{A \cdot \tau}{2}. \quad (3.12)$$

Таблиця 3.1

Назва величини	Значення при Φ_{δ}^*				
	0,5	0,8	1,0	1,15	1,25
Основний магнітний потік Φ_{δ} , Вб					
Магнітна індукція у повітряному проміжку (під серединою полюса) B_{δ} , Тл					
Магнітна індукція у сталевих ділянках, Тл: <ul style="list-style-type: none"> - в осерді головного полюса B_m; - у зубчатій зоні полюса B_{zk}; - у зубчатій зоні на висоті $h_{z1/3}$ $B_{z1/3}$; - у спинці якоря B_a; - у місці виходу з полюса в остов B_j; - у спинці остова B_o 					
Напруженість магнітного поля сталевих ділянок, А/м: <ul style="list-style-type: none"> - H_m; - H_{zk}; - $H_{z1/3}$; - H_a; - H_j; - H_o 					
Магнітна напруга, А: <ul style="list-style-type: none"> - повітряного проміжку $u_{M\delta}$; - полюсів u_{Mm}; - зубців компенсаційної обмотки u_{Mzk}; - зубцевої зони якоря u_{Mz}; - спинки якоря u_{Ma}; - місця виходу з полюса в остов u_{Mj}; - спинки остова u_{Mo} 					
Магніторушійна сила обмотки збудження на полюс $F_f = \sum_k u_{MK}$					

$K_{р\text{я}}$ знаходиться залежно від $B_{z1/3}$ і значення еквівалентного повітряного проміжку по кривих [1, с. 148 (рисунок 2.55)].

У компенсованих ТЕД вплив МРС реакції якоря на МРС збудження можна не враховувати. Тоді

$$F_{зб} = F_0. \quad (3.13)$$

Кількість витків обмотки збудження знаходиться за формулою

$$\omega_{зб} = \frac{F_{зб}}{I \cdot \beta_{\Pi}}, \quad (3.14)$$

де β_{Π} – коефіцієнт постійного шунтування обмотки збудження для ТЕД пульсуючого струму.

Значення β_{Π} дається у вихідних даних до проектування ($\beta_{\Pi} \approx 0,92 \div 0,97$). Для двигунів постійного струму $\beta_{\Pi} = 1$. Якщо обмотка збудження з'єднується у дві паралельні гілки (ТЕД електропоїздів), то кількість витків обмотки треба подвоїти.

4 РОЗРАХУНОК КОМУТАЦІЇ ТА ДОПОМІЖНИХ ПОЛЮСІВ

Забезпечення надійності комутації вважається найбільш важливою проблемою. Оптимальна комутація вимагає ретельного вибору обмотки якоря, величини полюсного перекриття, ширини електрощіток, обмежує значення перевантажень, швидкості обертання та ін. При розрахунках комутації визначається ширина зони комутації – величина дуги на поверхні якоря, яку описує провідник обмотки в стані комутації, см:

$$b_k = b_{щ} \cdot \frac{D_a}{D_k} + t_1 \cdot \left(1 + \varepsilon_n - \frac{a \cdot Z}{p \cdot K} \right), \quad (4.1)$$

де ε_n – вкорочення кроку обмотки якоря.

$$\varepsilon_n = \left| \frac{z}{2 \cdot p - y_z} \right|, \quad (4.2)$$

де y_z – крок обмотки по пазах.

Для петльових обмоток ε_n дорівнює, як правило, половині паза, або $\varepsilon_n = 0,5$.

Величина b_k повинна бути в межах:

- для некомпенсованих ТЕД $b_k \leq 0,7 \cdot (\tau - b_p)$;

- для компенсованих ТЕД $b_k \leq 0,7 \cdot (\tau - b_n)$.

Значення b_k накладає обмеження на вибір величини полюсного перекриття або b_p , про що зазначалося вище.

Також одним з головних параметрів комутації є середня величина реактивної ЕРС, В,

$$e_p = 2 \cdot A \cdot l_a \cdot v_a \cdot \lambda \cdot 10^{-6}, \quad (4.3)$$

де A – лінійне навантаження, А/см;

l_a – довжина осердя якоря (розрахункова довжина якоря), см;

v_a – лінійна швидкість на поверхні якоря, м/с;

λ – відносне значення магнітної провідності потоків розсіювання, які зчеплені з комутуючими секціями.

$$\lambda = \frac{h}{b} + \frac{l_s}{l_a} + \frac{2,5 \cdot 10^5}{l_a \cdot A \cdot v_a \cdot \frac{p}{a}}, \quad (4.4)$$

де l_s – довжина лобової частини секції обмотки якоря, см.

$$l_s \approx 1,4 \cdot \tau, \quad (4.5)$$

де τ – полюсне ділення.

Як правило, $\lambda = 3,5 \div 6$.

Значення реактивної ЕРС при найбільшій швидкості обертання не має перевищувати $8 \div 9$ В, що призводить до обмеження потужності двигуна в режимах послабленого поля.

Допоміжні полюси повинні створювати в зоні комутації магнітне поле з індукцією B_k , достатньою для наведення у проміжку комутуючої ЕРС e_k , яка дорівнює реактивній ЕРС та направлена їй назустріч [1, с. 121].

$$e_k = e_p = 2B_k \cdot l_a \cdot w_c \cdot V_{ан}, \quad (4.6)$$

звідси,

$$B_k = \frac{e_p}{2l_a \cdot w_c \cdot V_{ан}}. \quad (4.7)$$

Ширина наконечника допоміжного полюса вибирається залежно від ширини зони комутації:

$$b_{\partial} = b_k - 3 \cdot \delta_{\partial}. \quad (4.8)$$

Повітряний проміжок під допоміжним полюсом збоку якоря δ_{∂} для компенсованих машин дорівнює $9 \div 10$ мм. Крім того, для зменшення потоків розсіювання застосовують другий повітряний проміжок δ'_{∂} між осердям допоміжного полюса й остовом, як правило, $4 \div 6$ мм.

Ширина осердя допоміжного полюса $b_{m\partial}$ визначається допустимим значенням індукції B_{∂} . Для забезпечення задовільної комутації при перевантаженнях магнітне коло допоміжних полюсів повинно бути ненасиченим, а при номінальному струмі $B_{\partial} \leq 0,75$ Тл.

Розрахункове значення індукції в осерді полюсів B_{∂} визначається за формулою

$$B_{\partial} \approx B_k \sigma_{\partial} \frac{b_{\partial} + 3\delta_{\partial}}{b_{m\partial}} \cdot \frac{l_a}{l_{\partial}}, \quad (4.9)$$

де σ_{∂} – коефіцієнт магнітного розсіювання.

Для компенсованих ТЕД $\sigma_{\partial} \approx 2$, а для некомпенсованих ТЕД $\sigma_{\partial} \approx 3$.

Прийнявши B_{∂} у межах допустимих значень, за формулою (4.9) можна визначити ширину осердя $b_{m\partial}$.

Магніторушійна сила, що необхідна для створення індукції B_k при наявності компенсаційної обмотки і другого повітряного проміжку, дорівнює

$$F_{\partial} = F_a - F_{ko} + F_{\delta\partial} + F'_{\delta'\partial}, \quad (4.10)$$

де $F_a = A \cdot \frac{\tau}{2}$ – МРС реакції якоря, А;

$F_{\delta\partial}$ – падіння МРС у повітряному проміжку збоку якоря, А;

$F'_{\delta'\partial}$ – падіння МРС у повітряному проміжку збоку остова, А;

$F_{ko} = W_k \cdot I_a$ – МРС компенсаційної обмотки, А.

$$F_{\delta\partial} = 0,8B_k \cdot \delta_{\partial} \cdot k_{\delta\partial} \cdot k' \cdot 10^4, \quad (4.11)$$

$$F'_{\delta'\partial} = 0,8B_{\partial} \cdot \delta_{\partial} \frac{b_{m\partial}}{b_{m\partial} + 3\delta'_{\partial}} \cdot 10^4, \quad (4.12)$$

де δ_{∂} і δ'_{∂} приймаються у сантиметрах.

$k' = 1,03 - 1,05$ – коефіцієнт, що враховує відхилення у величині проміжку;

$k_{\delta\partial} = \frac{t_1 + 10\delta_{\partial}}{b_{z1} + 10\delta_{\partial}}$ – коефіцієнт повітряного проміжку.

Скориставшись законом повного струму ($F_{\partial} = I_{ан} \cdot W_{\partial}$), можна визначити кількість витків допоміжного полюса

$$W_{\partial} = \frac{F_{\partial}}{I_{ан}}. \quad (4.13)$$

5 ОЦІНКА ПОТЕНЦІАЛЬНИХ УМОВ НА КОЛЕКТОРІ ТЕД

Підвищення напруги між сусідніми колекторними пластинами вище допустимого рівня може спричинити коловий вогонь по колектору. Максимальне значення напруги, що встановлене практичним досвідом, не повинно перевищувати

$$\Delta u_{k \max} \leq 35 \div 37 \text{ В.} \quad (5.1)$$

Ця максимальна напруга визначається максимальним значенням магнітної індукції у повітряному проміжку між головним полюсом та якорем, яка може сильно зростати під краєм полюса в некомпенсованих ТЕД завдяки дії поперечної реакції якоря.

У компенсованих ТЕД, в яких середнє значення напруги між колекторними пластинами не перевищує $16 \div 18 \text{ В}$, дія реакції якоря не призводить до критичного стану потенціальні умови на колекторі. Вони залишаються на рівні тих, які теоретично існують у режимах без навантаження. Саме тому оцінку потенціальних умов рекомендується проводити для некомпенсованих ТЕД. Якщо не враховувати падіння напруги в секції якірної обмотки, то напруга між двома сусідніми колекторними пластинами дорівнює ЕРС, яка наводиться в провідниках при їх обертанні в магнітному полі. Цю ЕРС у будь-якій точці полюсного ділення можна визначити за законом Фарадея:

$$e_x \approx \Delta u_{kx} = 2 \cdot \frac{p}{a} \cdot w_c \cdot B_{\delta x} \cdot l_a \cdot v_a, \quad (5.2)$$

де $\frac{p}{a}$ – кількість пар полюсів та паралельних гілок якоря.

w_c – кількість витків у секції;

$B_{\delta x}$ – поточне значення індукції в місці, яке розташовано від осі полюса на відстані x , Тл;

l_a – активна довжина провідника обмотки якоря, м;

v_a – колова швидкість якоря, м/с.

Початок координати x приймається на осі головного полюса.

При проектуванні використовують поняття «середня міжламельна напруга», що визначається як

$$\Delta u_{\text{ср}} = \frac{2pU_k}{K}, \quad (5.3)$$

де U_k – напруга, що підведена до колектора, В;
 K – кількість колекторних пластин.

При розрахунках треба враховувати нелінійність феромагнітних ділянок магнітного кола, де проходить потік поперечної реакції якоря. У ТЕД вирішення цього завдання полегшується тим, що найбільш небезпечні режими за потенціальними умовами існують при ослабленому полі, коли вплив насичення феромагнітних ділянок на кінцевий результат розрахунку є незначним. При визначенні міжламельної напруги не враховують падіння магнітної напруги в сталевих ділянках магнітопроводу і вважають, що вся МРС обмотки збудження прикладається до повітряного проміжку. Отже, залежність між магнітною індукцією у повітряному проміжку та МРС з урахуванням поперечної реакції якоря визначається у лінійному вигляді так:

$$B_x \approx \mu_0 \cdot \frac{F_{\text{зб}} \pm A \cdot x}{\delta_x \cdot K_{\delta x}}, \quad (5.4)$$

де $F_{\text{зб}}$ – МРС обмотки збудження;
 $K_{\delta x}$ – коефіцієнт повітряного проміжку.

Для зниження впливу поперечної реакції якоря на поле головних полюсів застосовують нерівномірний повітряний проміжок. Значення повітряного проміжку під полюсом зростає до краю полюса. Проміжок роблять ексцентричним із відношенням проміжку під краєм полюса до проміжку під центром полюса $\frac{\delta_{\text{кр}}}{\delta_0} = 2 \div 4$. При ексцентричному проміжку його значення на відстані x від осі полюса складає

$$\delta_x = \delta_0 \cdot \left[1 + \left(\frac{\delta_{Kp}}{\delta_0} - 1 \right) \cdot \left(\frac{2 \cdot x}{b_p} \right)^2 \right], \quad (5.5)$$

де b_p – ширина полюсної дуги (геометрична).

Тоді

$$B_x = \mu_0 \cdot \frac{F_{зб \pm A \cdot x}}{D}, \quad (5.6)$$

де

$$D = \frac{t_1 + 10 \cdot \delta_0 \cdot \left[1 + \left(\frac{\delta_{Kp}}{\delta_0} - 1 \right) \cdot \left(\frac{2 \cdot x}{b_p} \right)^2 \right]}{b_{z1} + 10 \cdot \delta_0 \cdot \left[1 + \left(\frac{\delta_{Kp}}{\delta_0} - 1 \right) \cdot \left(\frac{2 \cdot x}{b_p} \right)^2 \right]} \cdot \delta_0 \cdot \left[1 + \left(\frac{\delta_{Kp}}{\delta_0} - 1 \right) \cdot \left(\frac{2 \cdot x}{b_p} \right)^2 \right];$$

$$-\frac{b_p}{2} \leq x \leq \frac{b_p}{2}; \quad \mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м.}$$

Для покращення потенціальних умов на колекторі застосовують компенсаційну обмотку. Ця міра сприяє рівномірному розподіленню індукції у повітряному проміжку. Формула (5.4) має такий вигляд:

$$B_x = \mu_0 \cdot \frac{F_{зб \pm xA \mp xA_{к0}}}{K_{\delta} \cdot \delta}, \quad (5.7)$$

Повітряний проміжок δ під головним полюсом роблять рівномірним.

Визначивши індукцію B_x за формулами (5.4) або (5.7), розраховуємо міжламельну напругу за формулою (5.2) у будь-якій точці під головним полюсом.

6 ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕД

6.1 Визначення навантажувальних характеристик

Перш за все розраховуються та будуються навантажувальні характеристики:

$$\frac{E}{n} = f(I_{зб}) \text{ при } I = I_a = const. \quad (6.1)$$

Характеристики треба розрахувати та побудувати для значень струмів якоря ($I = I_a$) від 0,25 до $2 \cdot I_{ном}$. Характеристики розраховуються для незалежного збудження. Першою будується характеристика холостого ходу при $I = 0$. Вона є відображенням магнітної характеристики, розрахованої у розділі 3.

Магнітна характеристика – це залежність $\Phi = f(F_0)$. Враховуючи, що $E = C_E \cdot \Phi \cdot n$, а $F_0 = I_{зб} \cdot \omega_{зб}$, знаходимо складові характеристики холостого ходу:

$$\frac{E}{n} = C_E \cdot \Phi ; C_E = \frac{p \cdot N}{60 \cdot a} ; I_{зб} = \frac{F_0}{\omega_{зб}}. \quad (6.2)$$

Далі визначаються навантажувальні характеристики для струмів якоря: 0,25; 0,5; 1,0; 1,5; $2 \cdot I_{ном}$. Для їх побудови знаходиться значення дії поперечної реакції якоря, яка розмагнічує магнітну систему в некомпенсованих ТЕД. Дані розрахунків заносяться до таблиці 6.1 і будуються у вигляді графіків.

Таблиця 6.1 – Навантажувальні характеристики ТЕД

$I_{зб}, A$	0	$0,5 \cdot I_H$	$0,8 \cdot I_H$	$1,0 \cdot I_H$	$1,15 \cdot I_H$	$1,25 \cdot I_H$
F_0, A						
$\Phi, Tл$						
E/n						

Для компенсованих ТЕД не враховують дію реакції якоря, у зв'язку з цим усі навантажувальні характеристики подібні до характеристики холостого ходу $E/n = f(I_{зб})$ при $I = 0$.

6.2 Визначення швидкісної характеристики

Швидкісна характеристика $n = f(I)$ знаходиться при незмінній напрузі на якорі ТЕД за формулою:

$$n = \frac{U - (I \cdot \sum r + 2)}{E/n}, \quad (6.3)$$

де $\sum r = r_a - r_{зб} + r_{\partial} + r_k$;

цифра 2 – це падіння напруги в щітковому контакті.

При ослабленому полі $r'_{зб} = r_{зб} \cdot \beta$.

При повному полі або при постійному шунтуванні обмотки збудження для двигунів пульсуючого струму значення n знаходяться за допомогою навантажувальних характеристик ТЕД. По осі абсцис відкладається значення струму збудження $I_{зб} = I$ або $I_{зб} = \beta \cdot I$ для двигунів пульсуючого струму, а по осі ординат знаходиться значення E/n за навантажувальною характеристикою, яка відповідає значенню заданого струму навантаження I . За значенням E/n визначається швидкість обертання або руху ЕРС за наведеними формулами.

При ослабленому полі розрахунок характеристик подібний.

По осі абсцис відкладається значення струму збудження $I_{зб} = \beta \cdot I$, а по осі ординат знаходиться значення E/n для заданого струму навантаження I .

Дані розрахунків заносяться до таблиці 6.2 і будуються графіки для вибраних значень β .

β_{\min} не рекомендується брати меншим за 0,3 при умові потенціальної стійкості.

Таблиця 6.2 – Швидкісна характеристика

I	$0,5 \cdot I_H$	$0,8 \cdot I_H$	$1,0 \cdot I_H$	$1,15 \cdot I_H$	$1,25 \cdot I_H$
n , об/хв, при $\beta_{n.n.}$					
n , об/хв, при $\beta_{o.n.}$					

6.3 Розрахунок характеристик ККД

Значення ККД ТЕД визначається за формулою:

$$\eta = \frac{U \cdot I - \sum \Delta P}{U \cdot I} = P_1 \cdot \left(1 - \frac{\sum \Delta P}{P_1} \right), \quad (6.4)$$

де $P_1 = U \cdot I$ – підведена потужність до ТЕД;

$\sum \Delta P$ – витрати потужності в ТЕД.

$$\sum \Delta P = I^2 \cdot \sum r + 2 \cdot I + P_{\text{дод}} + P_0, \quad (6.5)$$

де $I^2 \cdot \sum r$ – джоулеві втрати потужності на опорах обмоток електричного кола якоря;

$2 \cdot I$ – втрати потужності в перехідному колі щіток;

$P_{\text{дод}}$ – додаткові витрати потужності, що дорівнюють $0,05 \cdot P_1$ для компенсованих ТЕД і $0,01 \cdot P_1$ для некомпенсованих машин;

P_0 – втрати потужності без навантаження.

$$P_0 = P_{\text{СТ}} + P_{\text{Щ}} + P_{\text{підш}}, \quad (6.6)$$

де $P_{\text{СТ}}$ – магнітні втрати в двигуні при холостому ході;

$P_{\text{Щ}}$ – втрати на тертя щіток;

$P_{\text{підш}}$ – механічні втрати в підшипниках.

Магнітні втрати в двигуні при холостому ході

$$P_{\text{СТ}} = 2,25 \cdot p_z \cdot G_z + p_a \cdot G_a, \quad (6.7)$$

де p_z – питомі втрати в зубцях якоря, Вт/кг;

G_z – вага зубців якоря, кг;

p_a – питомі втрати в ярмі якоря, Вт/кг;

G_a – вага тіла якоря, кг.

Питомі втрати в зубцях якоря

$$p_z = \left[0,044 \cdot f + 5,6 \cdot \left(\frac{f}{100} \right)^2 \right] \cdot (B_{z1/3})^2. \quad (6.8)$$

Значення B_z розраховуємо за формулою

$$B_{z1/3} = \frac{\Phi}{S_{z1/3}}. \quad (6.9)$$

Питомі втрати в ярмі якоря

$$p_a = \left[0,044 \cdot f + 5,6 \cdot \left(\frac{f}{100} \right)^2 \right] \cdot (B_a)^2. \quad (6.10)$$

Вага зубців якоря, кг,

$$G_z = \left\{ \frac{\pi}{4} [D_a^2 - (D_a - 2 \cdot h_z)^2] - Z \cdot b_n \cdot h_z \right\} \cdot l_a \cdot k_{СТ} \cdot j_{СТ}. \quad (6.11)$$

Вага тіла якоря, кг,

$$G_a = \frac{\pi}{4} [(D_a - 2 \cdot h_z)^2 - D_i^2 - m_k \cdot d_k^2] \cdot l_a \cdot k_{СТ} \cdot j_{СТ}, \quad (6.12)$$

де m_k – кількість вентиляційних каналів;

$j_{СТ}$ – щільність сталі, кг/см³;

d_k – діаметр вентиляційних каналів;

$k_{СТ}$ – коефіцієнт сталі.

Втрати на тертя щіток:

$$P_{Щ} = 9,81 \cdot \Sigma S_{Щ} \cdot p_{Щ} \cdot \rho \cdot V_k, \quad (6.13)$$

де $\Sigma S_{Щ}$ – загальна площа прилягання щіток до колектора, см²;

$p_{Щ}$ – питоме навантаження на щітку;

ρ – коефіцієнт тертя щіток по колектору, кг/см²;

V_k – колова швидкість колектора, м/с.

$$V_k = \frac{\pi \cdot D_k \cdot n}{60}. \quad (6.14)$$

Механічні втрати в підшипниках:

$$P_{\text{підш}} = 0,002 \cdot U \cdot I_H. \quad (6.15)$$

Дані розрахунків заносяться до таблиці 6.3 і будується графік характеристики ККД.

Таблиця 6.3 – Характеристика ККД

I		$0,5 \cdot I_H$	$0,8 \cdot I_H$	$1,0 \cdot I_H$	$1,15 \cdot I_H$	$1,25 \cdot I_H$
$P_1, \text{кВт}$						
$\beta_{n.n.}$	$\sum \Delta P, \text{кВт}$					
	η					
$\beta_{o.n.}$	$\sum \Delta P, \text{кВт}$					
	η					

6.4 Визначення характеристик рухомого моменту на валу ТЕД

Моментну характеристику $M = f(I)$ визначають за формулою:

$$M = C_M \cdot \Phi \cdot I, \quad (6.16)$$

де $C_M = \frac{p \cdot N}{2 \cdot \pi \cdot a}$.

Результати розрахунків заносяться до таблиці 6.4 і будується графік моментної характеристики.

Таблиця 6.4 – Моментна характеристика

I	$0,5 \cdot I_H$	$0,8 \cdot I_H$	$1,0 \cdot I_H$	$1,15 \cdot I_H$	$1,25 \cdot I_H$
M при $\beta_{n.n.}$					
M при $\beta_{o.n.}$					

ПИТАННЯ ДО ЗАХИСТУ КУРСОВОЇ РОБОТИ

- 1 Що характеризує машинна стала Арнольда?
- 2 З якою метою розраховують магнітне коло тягового двигуна?
- 3 Яким чином враховується зубчата будова якоря при визначенні магнітної напруги повітряного проміжку?
- 4 Яким чином визначається коефіцієнт насичення магнітного кола?
- 5 Що являє собою магнітна характеристика тягового двигуна?
- 6 З яких міркувань визначається тип обмотки якоря тягового двигуна?
- 7 Як впливає застосування компенсаційної обмотки на розміри і вагу машини?
- 8 Чому секції обмоток якорів тягових двигунів виконують одновитковими?
- 9 Які умови симетрії обмоток?
- 10 У яких випадках застосовують вирівнювачі та в якому місці тягового двигуна їх розташовують?
- 11 Як впливає поперечна реакція якоря на роботу тягового двигуна?
- 12 Від яких факторів залежить максимально допустима напруга між пластинами колектора?
- 13 У яких випадках виконують «скос» пазів на якорі тягового двигуна?
- 14 Яким чином оцінюють якість комутації на стадії проектування тягового двигуна?
- 15 З яких міркувань роблять другий повітряний проміжок у магнітному колі додаткових полюсів?
- 16 Як впливає ширина щітки на величину реактивної ЕРС?
- 17 Як пов'язані ККД та потужність тягового двигуна?
- 18 При якій температурі визначають електричні втрати в міді обмоток?
- 19 Ізоляцію яких класів нагрівостійкості застосовують у тягових двигунах?
- 20 Як розраховують електромеханічні характеристики тягового двигуна?

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1 Проектирование тяговых электрических машин [Текст] : учеб. пособие для вузов ж.-д. трансп. / М. Д. Находкин, Г. В. Василенко, В. И. Бочаров, М. А. Козорезов ; под ред. М. Д. Находкина. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Транспорт, 1976. – 624 с.

2 Гольдберг, О. Д. Проектирование электрических машин [Текст] : учебник / О. Д. Гольдберг, И. С. Свириденко. – 3-е изд., перераб. – М. : Высшая школа, 2006. – 431 с.

ДОДАТОК А

Варіанти завдання на курсову роботу

Номер варіанта		Тип електродвигуна
1	14	НБ-406
2	15	ТЛ-2К
3	16	НБ-420А
4	17	НБ-412М
5	18	НБ-412К
6	19	НБ-418К
7	20	УРТ-110А
8	21	РТ-117
9	22	РТ-51Д
10	23	1ДТ.003.8У
11	24	1ДТ.003.11У
12	25	ДК-116А
13	26	ДК-117А

ДОДАТОК Б

Основні технічні дані тягових електродвигунів

Таблиця Б.1 – Основні технічні дані ТЕД електровозів

Параметри	Значення параметрів тягової машини типу						
	НБ-406	ТЛ-2К	НБ-420А	НБ-412М	НБ-412К	НБ-418К	
1	2	3	4	5	6	7	
Рід струму	постійний	постійний	пульсуючий	пульсуючий	пульсуючий	пульсуючий	
Кількість полюсів $2p$	4	6	4	6	6	6	
Напряга U_n , В	1500/3000	1500/3000	1500/3000	1450	1600	950	
Номінальна потужність P_n , кВт	470	560		550	550	740	
Номінальний струм I_n , А	340	400		410	410	820	
Номінальна частота обертання n_n , об/хв	765	815		825	895	915	
Годинна потужність P_z , кВт	525	650	700	690	690	790	
Годинний струм I_z , А	380	466	495	515	515	880	
Годинна частота обертання n_z , об/хв	735	770	885	755	850	890	
Швидкість якоря V_j , м/с	25,4	29,8	30,6	29,3	32,9	30,8	
Діаметр якоря, мм	660	740	660	740	740	660	
Довжина пакета якоря, мм	400	430	375	440	440	385	
Кількість пазів якоря	58	75	58	75	75	87	

Продовження таблиці Б.1

1	2	3	4	5	6	7
Розміри паза $h_n \times b_n$, мм	13,76×51	12,7×47,5	13,8×51,1	12×43,5	12×43,5	10×42,2
Розміри дроту, мм	2(1,08×8,6)	2(0,9×8)	2,63×9,3	2(1×7,4)	2(1×7,4)	3,53×6,9
Кількість провідників	812	1050	696	1050	1050	696
Діаметр колектора, мм	565	660	480	660	660	520
Кількість колекторних пластин	406	525	348	525	525	348
Кількість витків головного полюса	48	19	25	34	20	11
Проміжок $\delta_{кр} / \delta_{ц}$, мм/мм	15,4/7,7	4,5/4,5	5,15/5,15	15/7,5	4,5/4,5	4,7/4,7
Коефіцієнт полюсного перекриття α	0,665	0,7	0,705	0,65	0,62	0,67
Кількість витків додаткового полюса	34	10	15	21	10	8
Магнітний потік $\Phi \cdot 10^{-2}$, Вб	14,1	10,6	14	10,6	10,3	8,84
Кількість витків комп. обмотки	-	10	15	-	10	6

Таблиця Б.2 – Основні технічні дані ТЕД електропоїздів серії EP

Параметри	Значення параметрів тягової машини типу		
	УРТ-110А	РТ-117	РТ-51Д
І	2	3	4
Серія електропоїзда	EP2	EP22	EP9
Рід струму	постійний	постійний	пульсуючий
Напруга, В	1500	750	825
Коефіцієнт збудження: - номінальний; - мінімальний	0,5	0,5	0,54
	0,5	0,23	0,32
Потужність на валу, кВт	200	230	160
Струм, А	146	344	215
Годинна частота обертання, об/хв	1145	800	960
Осердя якоря			
Діаметр зовнішній, мм	520	520	520
Діаметр внутрішній, мм	135	–	135
Кількість пазів	46	46	47
Розміри паза $h_n \times b_n$, мм	$43 \times 13,6$	$45,7 \times 13,3$	$43 \times 13,8$
Обмотка якоря			
Тип	хвильова	петльова	хвильова
Кількість провідників загальна	658	644	470
Кількість провідників у пазу	14	14	10
Кількість паралельних гілок $2a$	2	4	2
Розміри провідника $b_m \times h_m$, мм	$1 \times 13,5$	$(10 \times 74) \times 2$	$1,81 \times 14,5$
Опір обмотки при 20°C, Ом	0,164	0,0379	0,056

Продовження таблиці Б.2

1	2	3	4
Колектор			
Діаметр, мм	460	440	460
Довжина робочої частини, мм	79	100	88
Кількість колекторних пластин	329	322	235
Колекторне ділення t_k , мм	4,4	4,3	6,14
Щітки			
Кількість щіткоутримувачів	4	4	4
Кількість щіток в одному щіткоутримувачі	2	2	2
Розміри щіток $b_{щ} \times l_{щ}$, мм	16×32	20×40	(12,5×2)×32
Котушки головних полюсів			
Кількість полюсів	4	4	4
Кількість витків W_{zn}	76	58	68
Опір обмотки при 20°C, Ом	0,182	0,0965	1,128
Котушки додаткових полюсів			
Кількість витків $W_{дп}$	57	25	37
Опір обмотки при 20°C, Ом	0,0695	0,0127	0,025
Повітряні проміжки			
Проміжок під головними полюсами $\delta_{ц}/\delta_{кр}$, мм			12 (4,75)
Проміжок під дод. полюсами збоку якоря, мм	6	6,5	6
Проміжок під дод. полюсами збоку остова, мм	4,5	2,5	3,5

Таблиця Б.3 – Основні технічні дані ТЕД електропоїздів серії ЕПЛ

З/п	Параметри	Значення параметрів тягової машини типу			
		1ДТ.003.8У	3	4	1ДТ.003.11У
1	2				
1	Серія електропоїзда	ЕПЛ2Т			ЕПЛ9Т
2	Режим роботи короткочасний	60 хвилин			
2.1	Потужність, кВт	240			220
2.2	Струм, А	350			295
2.3	Напруга, В	750			825
2.4	Ступінь збудження, %	20			50
2.5	Режим роботи	годинний			
2.6	Частота обертання, об/хв	1240			820
2.7	Коефіцієнт пульсації, %				25
2.8	ККД, %	91,5			90
3	Максимальна експлуатаційна частота обертання, об/хв	2065			2165
4	Напрямок обертання	в обидві сторони			в обидві сторони
5	Збудження	послідовне			послідовне
6	Спосіб охолодження	самовентиляція			самовентиляція
7	Ізоляція обмоток відносно корпусу на номінальну напругу, В	3300			2000
8	Клас нагрівостійкості ізоляції обмоток	F			F
	Опір обмотки якоря при 20°C, Ом				0,050 ± 0,003
	Опір обмотки головних полюсів при 20°C, Ом				0,097 ± 0,0058

Продовження таблиці Б.3

1	2	3	4
	Опір обмотки додаткових полюсів при 20°C, Ом		0,0152 ± 0,00091
9	Маса, кг, не більше	2300	2300
10	Дані щіток: - марка; - розміри, мм; - найменший радіальний розмір, мм; - тиск на щітку, Н (кгс); марки EG2A; марки EG61A	EG2A або EG61A (2×10)×40×50 26 22,5 ÷ 25 (2,3 ÷ 2,55) 25,5 ÷ 27,5 (2,6 ÷ 2,8)	EG61A (2×10)×40×50 26 25,5 ÷ 27,5 (2,6 ÷ 2,8)
11	Кількість щіток	8	
12	Дані колектора, мм: - діаметр; - найменший діаметр; - проміжок між колектором та обіймою щіткоутримувача	440 424 3 ± 1	440 424 3 ± 1

Таблиця Б.4 – Основні технічні дані ТЕД поїздів метрополітену

Параметри	Значення параметрів тягової машини типу	
	ДК-116А	ДК-117А
1	2	3
Якір		
Діаметр, мм	280	306
Внутрішній діаметр, мм	75	90
Ефективна довжина осердя, мм	260	282
Кількість пазів	35	42
Розміри паза, мм	11,35×31	9,4×23,2
Кількість сторін секцій у пазу	10	10
Кількість витків у секції	1	1
Кількість ефективних провідників у пазу	10	10
Кількість провідників обмотки	350	420
Обмотка	хвильова	петльова
Маса міді обмотки, кг	29,0	27,3
Опір обмотки при 20°C, Ом	0,0604	0,0285
Розрахункова напруга ізоляції обмотки, В	750	750
Клас ізоляції дроту	Н	Н
Головні полюси		
Кількість полюсів	4	4
Розміри дроту, мм	1,81×25	2,26×25
Кількість витків обмотки	32	26

Продовження таблиці Б.4

1	2	3
Маса міді обмотки, кг	48	52
Клас ізоляції обмотки	F (H)	F
Опір обмотки при 20°C, Ом	0,0445	0,0316
Полюсне ділення, мм	220	240
Ширина осердя полюса, мм	–	104
Розрахункова напруга ізоляції обмотки, В	750	750
Додаткові полюси		
Кількість полюсів	4	4
Розміри дроту, мм	2,26×25	3,28×25
Кількість витків обмотки	26	15
Маса міді обмотки, кг	35,2	36
Клас ізоляції обмотки	F	F
Опір обмотки при 20°C, Ом	0,0242	0,0106
Ширина осердя полюса, мм	–	34
Розрахункова напруга ізоляції обмотки, В	750	750
Колектор		
Діаметр, мм	245	250
Довжина робочої частини, мм	70	72
Кількість колекторних пластин	175	210
Кількість колекторних пластин на паз	5	5
Щітки		

Продовження таблиці Б.4

1	2	3
Кількість щіткоутримувачів	4	4
Кількість щіток у щіткоутримувачі	2	2
Розміри щітки, мм	16×32×40	20×32×50
Годинний режим		
Напруга на записках, В	375	375
Струм обмотки якоря, А	218	330
Лінійне навантаження, А/см	435	360
Реактивна ЕРС, В	1,06	1,36
Ослаблення збудження, %	50	50
Струм збудження, А	109	165
Частота обертання якоря, об/хв	1360	1480
Потужність на валу, кВт	72	110
ККД, %	88	89
Тривалий режим		
Напруга на записках, В	375	375
Струм обмотки якоря, А	185	280
Лінійне навантаження, А/см	370	305
Ослаблення збудження, %	65	65
Струм збудження, А	120	182
Частота обертання якоря, об/хв	1220	1340
Потужність на валу, кВт	62	95