

МЕХАНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра автоматизованих систем електричного транспорту

РОЗРАХУНОК ТЯГОВОГО ДВИГУНА

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

**до виконання курсової роботи
з дисципліни**

«ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ»

Харків - 2015

Методичні вказівки розглянуто і рекомендовано до друку на засіданні кафедри автоматизованих систем електричного транспорту 17 листопада 2014 р., протокол №4.

Рекомендуються для студентів спеціальності 05070203 «Електричний транспорт» денної та заочної форм навчання.

Укладачі:

доц. Н.П. Карпенко,
асист. В.П. Нерубацький

Рецензент

доц. А.Ф. Агулов

РОЗРАХУНОК ТЯГОВОГО ДВИГУНА
МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання курсової роботи
з дисципліни

«ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ»

Відповідальний за випуск Нерубацький В.П.

Редактор Решетилова В.В.

Підписано до друку 16. 12. 14 р.

Формат паперу 60x84 1/16. Папір писальний.

Умовн.-друк.арк. 0,75. Тираж 100. Замовлення №

Видавець та виготовлювач Українська державна академія залізничного транспорту,

61050, Харків-50, майдан Фейєрбаха, 7.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 2874 від 12.06.2007 р.

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Загальні положення по проектуванню ТЕД.....	5
2 Розрахунок активного шару якоря.....	8
3 Розрахунок магнітного кола ТЕД.....	10
4 Розрахунок комутації та допоміжних полюсів.....	14
5 Оцінка потенціальних умов на колекторі ТЕД.....	17
6 Визначення характеристик ТЕД.....	20
6.1 Визначення навантажувальних характеристик.....	20
6.2 Визначення швидкісної характеристики.....	21
6.3 Розрахунок характеристик ККД.....	22
6.4 Визначення характеристик рухомого моменту на валу ТЕД.....	25
Питання до захисту курсової роботи.....	26
Список літератури.....	27
Додаток А Варіанти завдання на курсову роботу.....	28
Додаток Б Основні технічні дані тягових електродвигунів.....	29

ВСТУП

Випускники академії за фахом 05070203 «Електричний транспорт» готуються для роботи в ролі фахівців із застосування електроустаткування на підприємствах залізничної галузі. Тому фахівці повинні знати характеристики електричних машин і використовувати електричні машини відповідно до їх 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).

В курсовій роботі слід провести перевірочний розрахунок одного із серійних тягових електродвигунів і перевірити оптимальність вибору параметрів активного шару якоря. Результати розрахунків на кожному кроці слід порівнювати з довідниковими даними.

При перевірочному розрахунку виконуються розрахунки:

- активного шару якоря (вибір обмотки якоря);
- магнітного кола;
- комутації;
- потенціальних умов на колекторі;
- електромеханічних характеристик;
- техніко-економічних показників 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 креслень на форматі А1 – повздовжнього та поперечного перетинів спроектованого двигуна. На кресленнях необхідно вказати основні розміри, одержані при розрахунках (діаметри якоря та колектора, осьову довжину осердя якоря та ін.).

1 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ ПО ПРОЕКТУВАННЮ ТЕД

При проектуванні керуються загальними положеннями теорії електричних машин. Головним в проектуванні є правильний вибір основних розмірів якоря – зовнішнього діаметра та осьової довжини осердя. Важливим фактором є також вибір кількості полюсів.

Залежність між розрахунковою потужністю та основними розмірами встановлюється через електромагнітну постійну Арнольда

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

де D_a – діаметр якоря, см;

l_a – осьова довжина осердя, см;

n_i – номінальна частота обертання (в тривалому режимі), об/хв.;

C_A – електромагнітна постійна Арнольда.

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

де α_s – розрахунковий коефіцієнт полюсного перекриття;

A – лінійне навантаження якоря, А/см;

B_δ – магнітна індукція у повітряному зазорі між полюсом та якорем в номінальному (тривалому) режимі.

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

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

η – коефіцієнт корисної дії, в.о.

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

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

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

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

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

При $D_s = 1200$ мм – $D_a = 66$ см (електровоз ВЛ8).

При $D_s = 1050$ мм – $D_a = 52$ см для електровозів та $D_a = 49,3$ см для електропоїздів.

При $D_s = 950$ 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 максимально використати активний об'єм якоря вимагають прийняти максимально можливий діаметр якоря, тоді осьова довжина осердя, см, визначається за формулою

$$l_a = \frac{6,1 \cdot 10^7 \cdot P_s}{\alpha_i \cdot A \cdot B_s \cdot n_i \cdot D_a^2}. \quad (1.5)$$

Значення лінійного навантаження якоря сучасних ТЕД електровозів сягає значень 400÷500 А/см, $B_s \leq 1,0$ Тл. Для ТЕД електропоїздів $B_s \approx 0,7 \div 0,8$ 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 $\alpha_i \approx 0,62 \div 0,67$ для некомпенсованих ТЕД.

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 ряд обмежень на вибір обмотувальних даних та режимів роботи ТЕД. Ці обмеження полягають в такому:

1) колекторне ділення

$$t_{\dot{e}} = \frac{\pi \cdot D_{\dot{e}}}{K} \geq 4 \text{ мм}, \quad (1.8)$$

де $D_{\dot{e}}$ – діаметр колеса;

K – кількість колекторних пластин.

Зазвичай $D_{\dot{e}} = (0,75 \div 0,9) \cdot D_a$. Більші значення $D_{\dot{e}}$ обмежуються можливістю приєднання провідників обмотки якоря до прапорців колектора;

2) лінійна швидкість на поверхні колектора

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

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

3) максимальна напруга між сусідніми пластинами колектора для некомпенсованих ТЕД

$$U_{\dot{e} \max} \leq 35 \div 37 \text{ В}; \quad (1.10)$$

4) середня напруга між сусідніми пластинами колектора

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

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

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

б) максимальне значення небалансної ЕРС в 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 і їх геометричні розміри.

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

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

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

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

хоча при збільшенні потужності понад 200 кВт не виключено застосування петльової обмотки.

Важливим етапом проектування є вибір кількості та розмірів пазів якоря. При цьому слід додержуватись прикладів побудованих машин та користуватись такими рекомендаціями:

- ширина зубцевого ділення на поверхні якоря повинна бути, як правило, в 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 припадають на один паз, повинна лежати в межах $3 \leq U_i \leq 7$;
- ширина паза дорівнює

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

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

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

Менші значення належать до ТЕД електропоїздів.

Дуже 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 $t_e \geq 4$ мм.

Площа поперечного перетину активного провідника обмотки q_a знаходиться з 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 в паралельній гілці обмотки.

Тепловий розрахунок означає нагрів обмотки якоря, який нормується в залежності від класу нагрівостійкості ізоляції обмотки. Для вибору $A \cdot j_a$ слід керуватись рекомендаціями [1, с. 14]. Однак слід також мати на увазі, що j_a не повинна перевищувати 7 А/мм².

3 РОЗРАХУНОК МАГНІТНОГО КОЛА ТЕД

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

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

Таким чином, загальна МРС, яка необхідна для проведення магнітного потоку, знаходиться у вигляді суми складових

$$F_0 = F_\delta + H_z L_z + H_a L_a + H_m L_m + H_{zk} L_{zk} + (H_j L_j + H_z^1 L_z^1) + F_{\delta j}, \quad (3.1)$$

де H – напруженості магнітного поля в перелічених ланках магнітного кола;

L – довжина ланок кола в напрямі ліній магнітного поля.

Для визначення геометричних розмірів ланок магнітного кола слід 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 в ланках магнітного кола ТЕД. Орієнтовно в номінальному режимі вони такі:

- $B_\delta = 0,8 \div 1$ Тл (менші значення для ТЕД 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;
- $B_j = 1,45$ Тл;
- $B_j^1 \leq B_j$ (із розрахунку);
- $B_{\delta j} = B_m = 1,5 \div 1,7$ Тл.

Значення вказаних магнітних навантажень можуть коливатись поблизу наведених даних.

З урахуванням значень магнітних індукцій, довжини осердя якоря, полюсів та спинки визначаються поперечні розміри перерахованих ланок за значенням магнітного потоку в номінальному режимі роботи ТЕД.

Номінальне значення магнітного потоку в повітряному зазорі ТЕД визначається номінальним значенням ЕРС обмотки якоря

$$E = C_E \cdot \hat{O} \cdot n, \quad (3.2)$$

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

де U – напруга на якорі ТЕД в номінальному режимі;

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

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

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

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

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

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

За значенням магнітного потоку в номінальному режимі знаходяться індукції:

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

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 зазора знаходять для його розрахункового значення

$$F_\delta = 0,8 \cdot B_\delta \cdot \delta_p \cdot 10^4, \quad (3.7)$$

де $\delta_p = \delta^1 \cdot K_\delta$, см;

$\delta^1 = \delta$ – для компенсованих ТЕД. Для некомпенсованих ТЕД δ' визначається в залежності від відношення зазорів під краєм та центром полюса, яке може бути $\frac{\delta_{kp}}{\delta_\delta} = 2 \div 4$;

K_δ – коефіцієнт повітряного зазора (коефіцієнт Картера).

$$K_\delta = \frac{t_1 + 10 \cdot \delta^1}{b_{z1} + 10 \cdot \delta^1} \cdot \frac{t_k + 10 \cdot \delta^1}{b_{zk} + 10 \cdot \delta^1}, \quad (3.8)$$

де t_1 – зубцеве ділення якоря;

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

t_k – зубцеве ділення компенсаційної обмотки на поверхні полюса;

b_{zk} – ширина зубця компенсаційної обмотки.

Останні ланки магнітного кола розраховуються з використанням кривих намагнічування сталей, з яких складається осердя ланки. В місці стику полюса зі станиною вважають наявність щілини товщиною 0,01 см, тоді $F_{\delta'} \approx 80 \cdot B_m$.

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

$$\frac{\hat{O}}{\hat{O}_i} = 0,5; 0,8; 1,0; 1,15; 1,25. \quad (3.9)$$

Дані розрахунків $\hat{O} = f(F_0)$ бажано занести до таблиці і побудувати у вигляді графічної залежності, яка має назву магнітної характеристики ТЕД.

Далі знаходиться повна МРС обмотки збудження

$$F_{\zeta a} = F_0 + F_p, \quad (3.10)$$

де F_p – розмагнічуюча МРС поперечної реакції якоря.

Для некомпенсованих ТЕД F_p знаходиться у вигляді

$$F_p = K_p \cdot F_a, \quad (3.11)$$

де F_a – МРС поперечної реакції якоря.

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

K_p знаходиться в залежності від $B_{z=1/3}$ і значення еквівалентного повітряного зазора по кривих [1, с. 148, рисунок 2.55].

В компенсованих ТЕД впливом МРС реакції якоря на МРС збудження можна знехтувати. Тоді

$$F_{\zeta a} = F_0. \quad (3.13)$$

Кількість витків обмотки збудження знаходиться за формулою

$$\omega_{\zeta a} = \frac{F_{\zeta a}}{2 \cdot \beta_I}, \quad (3.14)$$

де β_I – коефіцієнт постійного шунтування обмотки збудження для ТЕД пульсуючого струму.

Значення β_I дається у вихідних даних до проектування ($\beta_I \approx 0,92 \div 0,97$). Для двигунів постійного струму $\beta_I = 1$. Якщо обмотка збудження з'єднується в дві паралельні вітки (ТЕД електропоїздів), то кількість витків обмотки слід 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 – величини дуги на поверхні якоря, яку описує провідник обмотки в стані комутації, см,

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

де ε_r – вкорочення кроку обмотки якоря.

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

де y_z – крок обмотки по пазах.

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

Величина b_k повинна бути в межах:

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

- для компенсованих ТЕД $b_k \leq 0,55 \cdot (\tau - b_r)$.

Значення b_k накладає обмеження на вибір величини полюсного перекриття або b_p , про що згадувалось раніше.

Другим і головним параметром комутації є середня величина реактивної ЕРС, В:

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

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.

Зазвичай $\lambda = 3,5 \div 6$.

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

Розрахунок допоміжних полюсів об'єднує вибір повітряного зазора, розмірів осердя та кількості витків обмотки. Кількість витків змінюється дискретно, тому її приймають з урахуванням коефіцієнта

$$v = \frac{F_{\bar{a}} + F_k}{F_a} \approx 1,15 \div 1,3, \quad (4.6)$$

в якому $F_{\bar{a}} = \omega_{\bar{a}} \cdot I$; $F_k = \omega_k \cdot I$, $F_a = \frac{A \cdot \tau}{2}$ – МРС обмоток допоміжних полюсів, компенсаційної обмотки та якоря.

Величина повітряного зазора під допоміжними полюсами, см, визначається за формулою

$$\delta \cong \frac{(v-1) \cdot \tau}{1,6 \cdot K_{\delta\bar{a}} \cdot \lambda}, \quad (4.7)$$

де $K_{\delta\bar{a}}$ – коефіцієнт повітряного зазора.

$$K_{\delta\bar{a}} \cong \frac{t_1 + 10 \cdot \delta_{\bar{a}}}{b_{z1} + 10 \cdot \delta_{\bar{a}}}. \quad (4.8)$$

Значення $\delta_{\bar{a}}$ береться із вихідних даних або приймається приблизно $1 \div 1,5$ см. Далі розрахунок корегується в залежності від одержаних результатів.

Ширина осердя допоміжних полюсів та ширина наконечника полюса повинні бути мінімальними з урахуванням недостачі місця для розташування полюсів в ТЕД. При перевантаженні в $2 \cdot I_i$ не повинно бути магнітного насичення осердя полюсів: $B_{\delta\bar{a}} \leq 1,5$ Тл, а при номінальному струмі $B_{\delta\bar{a}i} \leq 0,75$ Тл.

$$B_{\delta\ddot{a}} \cong \frac{\hat{O}_{\delta\ddot{a}}}{l_{\delta\ddot{a}} \cdot b_{\delta\ddot{a}}}; \quad l_{\delta\ddot{a}} = l_a; \quad \hat{O}_{\delta\ddot{a}} = \sigma_{\ddot{a}} \cdot \hat{O}_k, \quad (4.9)$$

де $\sigma_{\ddot{a}}$ – коефіцієнт магнітного розсіювання.

Для некомпенсованих ТЕД $\sigma_{\ddot{a}} \approx 3$, а для компенсованих $\sigma_{\ddot{a}} \approx 2$. Неточність вибору $\sigma_{\ddot{a}}$ корегується дослідним налагодженням комутації методом області безіскрової роботи.

$$\hat{O}_k = B_k \cdot b_k \cdot L_{\delta\ddot{a}} \cdot 10^{-4}; \quad (4.10)$$

$$\hat{O}_k = \lambda \cdot \dot{A} \cdot 10^{-4}. \quad (4.11)$$

Значення b_k , $L_{\delta\ddot{a}}$ вимірюються в сантиметрах (см), а значення амперів (А) в ампер на сантиметр (А/см).

Ширина наконечника полюса вибирається в залежності від ширини зони комутації

$$b_{\ddot{a}} \approx b_k - 3 \cdot \delta_{\ddot{a}} \quad (4.12)$$

або приймається рівною ширині осердя полюса, якщо значення $b_{\ddot{a}}$ близькі до неї.

5 ОЦІНКА ПОТЕНЦІАЛЬНИХ УМОВ НА КОЛЕКТОРІ ТЕД

Підвищення напруги між сусідніми колекторними пластинами вище допустимого рівня може призвести до явищ кругового вогню по колектору. Максимальне значення напруги, що встановлене практичним досвідом, не повинно перевищувати

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

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

В компенсованих ТЕД, в яких середнє значення напруги між колекторними пластинами не перевищує $16 \div 18$ В, дія реакції якоря не призводить до критичного стану потенціальні умови на колекторі. Вони залишаються на рівні тих, які теоретично існують в режимах без навантаження. Тому оцінку потенціальних умов слід проводити для некомпенсованих ТЕД. Напруга між сусідніми колекторними пластинами визначається за формулою

$$l_x = 2 \cdot \frac{P}{a} \cdot B_{\delta\delta} \cdot l_a \cdot v_a, \quad (5.2)$$

де $\frac{P}{a}$ – кількість пар полюсів та паралельних віток якоря.

Величина $B_{\delta\delta}$ вимірюється в Теслах (Тл), l_a в метрах (м), v_a в метрах на секунду (м/с). Початок координати X приймається на осі головного полюса.

При суворій постановці задачі треба враховувати нелінійність феромагнітних ділянок магнітного кола, де проходить потік поперечної реакції якоря. В ТЕД розв'язання цієї задачі полегшується тим, що найбільш небезпечні режими за потенціальними умовами існують при ослабленому полі, коли вплив насичення феромагнітних ділянок на кінцевий результат розрахунку незначний. Таким чином, залежність між магнітною індукцією в повітряному зазорі та МРС визначається в лінійному вигляді

$$B_{\delta} \approx \mu_0 \cdot \frac{F_{\delta} \pm A \cdot X}{\delta_X \cdot K_{\delta X}}. \quad (5.3)$$

Звичайно, значення повітряного зазора під полюсом зростає до краю полюса. Зазор роблять ексцентричним з відношенням зазора під краєм полюса до зазора під центром полюса $\frac{\delta_{kp}}{\delta_0} = 2 \div 4$. При ексцентричному зазорі його значення на відстані X від осі полюса

$$\delta_{\delta} = \delta_0 \cdot \left[1 + \left(\frac{\delta_{kp}}{\delta_0} - 1 \right) \cdot \left(\frac{2 \cdot \delta}{b_p} \right)^2 \right], \quad (5.4)$$

де b_p – ширина полюсної дуги (геометрична).

Тоді

$$B_{\delta} = \mu_0 \cdot \frac{F_{\delta} + A \cdot X}{D}, \quad (5.5)$$

де

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

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

Зазвичай, $F_{\delta} \geq \frac{A \cdot b_p}{2}$ або $B_{\delta} \geq 0$.

Для визначення $B_{\delta \max}$ найбільш раціонально побудувати залежність $B_{\delta} = f(X)$. В протилежному випадку слід знайти екстремум функції $B_{\delta}(X)$ за правилами математики.

Значення F_{δ} у формулі для B_{δ} можна приблизно прирівняти до значення МРС обмотки збудження

$$F_{\delta} \approx F_{\text{сд}} \cdot \beta, \quad (5.6)$$

де β – максимально допустиме (за умовами комутації) значення струму при ослабленому полі;

β – коефіцієнт ослаблення поля.

6 ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕД

6.1 Визначення навантажувальних характеристик

Перш за все слід розрахувати та побудувати навантажувальні характеристики

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

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

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

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

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

Таблиця 6.1 – Навантажувальні характеристики ТЕД

$I_{\zeta a}, \text{ A}$	0	$0,5 \cdot I_f$	$0,8 \cdot I_f$	$1,0 \cdot I_f$	$1,15 \cdot I_f$	$1,25 \cdot I_f$
$F_0, \text{ A}$						
$\hat{O}, \text{ Тл}$						
E/n						

Для компенсованих ТЕД нехтують дією реакції якоря, тоді всі навантажувальні характеристики подібні до характеристики холостого ходу $E/n = f(I_{\zeta a})$ при $\alpha = 0$.

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 $\sum r = r_a + r_{\zeta a} + r_{\bar{a}} + r_k$;

цифра 2 – це 2 В на падіння напруги в щітковому контакті.

При ослабленому полі $r_{\zeta a}^1 = r_{\zeta a} \cdot \beta$.

При повному полі або при постійному шунтуванні обмотки збудження для двигунів пульсуючого струму значення n визначається за допомогою навантажувальних характеристик ТЕД. По осі абсцис відкладається значення струму збудження $^2_{\zeta a} = ^2$ або $^2_{\zeta a} = \beta \cdot ^2$ для двигунів пульсуючого струму, а по осі ординат знаходиться значення E/n за навантажувальною характеристикою, яка відповідає значенню заданого струму навантаження 2 . 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 $^2_{\zeta a} = \beta \cdot ^2$, а по осі ординат знаходиться значення E/n для заданого струму навантаження 2 .

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

β_{\min} не слід брати меншим 0,3 за умови потенціальної стійкості.

Таблиця 6.2 – Швидкісна характеристика

I	$0,5 \cdot I_i$	$0,8 \cdot I_i$	$1,0 \cdot I_i$	$1,15 \cdot I_i$	$1,25 \cdot I_i$
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.

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

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

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

$P_{\text{ооо}}$ – 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.

$$P_0 = P_{\text{Nо}} + P_{\text{U}} + P_{\text{rао}}, \quad (6.6)$$

де P_{CT} – магнітні втрати в двигуні при ХХ;

P_{U} – втрати на тертя щіток;

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

Магнітні втрати в двигуні при ХХ

$$P_{\text{Nо}} = 2,25 \cdot (P_z \cdot G_z + P_a \cdot G_a), \quad (6.7)$$

де P_z – питомі втрати в зубцях якоря;

G_z – вага тіла якоря;

P_a – питомі втрати в ярмі якоря;

G_a – вага зубців якоря.

$$P_z = \left[0,044 \cdot \rho + 5,6 \cdot \left(\frac{t}{100}\right)^2 \right] \cdot \left(\frac{B_{z1/3}}{10000}\right)^2. \quad (6.8)$$

Значення B_z визначаємо за формулою

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

Питомі втрати в ярмі якоря

$$P_{\dot{a}} = \left[0,044 \cdot \rho + 5,6 \cdot \left(\frac{t}{100} \right)^2 \right] \cdot \left(\frac{B_{\dot{a}1/3}}{10000} \right)^2, \quad (6.10)$$

Вага зубців якоря, кг,

$$G_a = \frac{\pi}{4} \cdot \left[(D_a - 2 \cdot h_z)^2 - D_i - m_k \cdot d_k^2 \right] \cdot l_a \cdot 0,94 \cdot j_{\text{ст}}, \quad (6.11)$$

де m_k – кількість вентиляційних каналів;

$j_{\text{ст}}$ – щільність сталі, кг/см³;

d_k – діаметр вентиляційних каналів.

Втрати на тертя щіток

$$P_{\dot{v}} = 9,81 \cdot \sum S_{\dot{v}} \cdot \rho_{\dot{v}} \cdot \rho \cdot V_k, \quad (6.12)$$

де $\sum S_{\dot{v}}$ – загальна площа прилягання щіток до колектора, см²;

$\rho_{\dot{v}}$ – питоме навантаження на щітку;

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

V_k – обвідна швидкість, м/с.

$$V_k = \frac{\pi \cdot D_k \cdot \eta}{60} \quad (6.13)$$

Механічні втрати в підшипниках

$$P_{i^{\text{в}}\text{ш}} = 0,002 \cdot U \cdot I_y, \quad (6.14)$$

Дані розрахунків слід занести до таблиці 6.3 і побудувати графік характеристики ККД.

Таблиця 6.3 – Характеристика ККД

I	$0,5 \cdot I_i$	$0,8 \cdot I_i$	$1,0 \cdot I_i$	$1,15 \cdot I_i$	$1,25 \cdot I_i$
P_1 , 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 $\dot{I} = f(I)$ визначають за формулою

$$M = C_M \cdot \dot{O} \cdot I, \quad (6.15)$$

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	$0,5 \cdot I_i$	$0,8 \cdot I_i$	$1,0 \cdot I_i$	$1,15 \cdot I_i$	$1,25 \cdot I_i$
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 зубчаста будова якоря при визначенні магнітної напруги повітряного зазора?
- 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 В 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 В яких випадках виконують «скос» пазів на якорі тягового двигуна?
- 14 Яким чином оцінюють якість комутації на стадії проектування тягового двигуна?

15 З яких міркувань виконують другий повітряний зазор в магнітному колі додаткових плюсів?

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 в 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. – 2-е изд., перераб. и доп; под. ред. М.Д. Находкина. – М.: Транспорт, 1976. – 624 с.

2 Гольдберг, О.Д. Проектирование электрических машин [Текст] / О.Д. Гольдберг, Я.С. Гурин, И.С. Свириденко. – М.: Высшая школа, 1984. – 431 с.

3 Копылов, И.П. Электрические машины. [Текст]: учеб. для вузов / И.П. Копылов. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 360 с.

4 Гаврилов, Я.И. Вагоны метрополитена с импульсными преобразователями [Текст] / Я.И. Гаврилов, В.А. Мнацаканов. – М.: Транспорт, 1986. – 229 с.

5 Вольдек, А.И. Электрические машины. Введение в электромеханику. Машины постоянного тока и трансформаторы [Текст]: учеб. для вузов / А.И. Вольдек, В.В. Попов. – СПб.: Питер, 2008. – 320 с.

6 Вольдек, А.И. Электрические машины. [Текст]: учеб. для студентов высш. техн. учебн. заведений. – 3-е изд., перераб. / А.И. Вольдек. – Л.: Энергия, 1978. – 832 с.

7 Китаев, В.Е. Электрические машины. Ч. I. Машины постоянного тока. Трансформаторы [Текст]: учеб. пособие для техникумов / В.Е. Китаев, Ю.М. Корхов, В.К. Свирин / под. ред. В.Е. Китаева. – М.: Высш. школа, 1978. – 184 с.

8 Китаев, В.Е. Электрические машины. Ч. II. Машины переменного тока [Текст]: учеб. пособие для техникумов / В.Е. Китаев, Ю.М. Корхов, В.К. Свирин; под. ред. В.Е. Китаева. – М.: Высш. школа, 1978. – 184 с.

ДОДАТОК А

Варианты задания на курсовую работу

Вариант		Тип электродвигуна
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
Число полюсів $2p$	4	6	4	6	6	6
Напруга 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_g , кВт	525	650	700	690	690	790
Годинний струм I_g , А	380	466	495	515	515	880
Годинна частота обертання n_g , об/хв	735	770	885	755	850	890
Швидкість якоря $V_{я}$,	25,4	29,8	30,6	29,3	32,9	30,8

м/с						
-----	--	--	--	--	--	--

Продовження таблиці Б.1

1	2	3	4	5	6	7
Діаметр якоря, мм	660	740	660	740	740	660
Довжина пакета якоря, мм	400	430	375	440	440	385
Число пазів якоря	58	75	58	75	75	87
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 провoda, 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
Число провідників	812	1050	696	1050	1050	696
Діаметр колектора, мм	565	660	480	660	660	520
Число колекторних пластин	406	525	348	525	525	348
Число витків головного полюса	48	19	25	34	20	11
Зазор $\delta_{кр} / \delta_{ц}$, 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
Число 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
Число витків ком. об.	-	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
1	2	3	4
Серія електропоїзда	EP2	EP22	EP9
Рід струму	постійний	постійний	пульсуючий
Напруга, В	1500	750	825
Коефіцієнт збудження			
- номінальний	0,5	0,5	0,54
- мінімальний	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	43×13,6	45,7×13,3	43×13,8
Обмотка якоря			
Тип	хвильова	петльова	хвильова
Кількість провідників загальна	658	644	470

Кількість провідників в пазу	14	14	10
Кількість паралельних гілок $2a$	2	4	2
Розміри провідника $b_m \times h_m$, мм	1×13,5	(10×74)×2	1,81×14,5

Продовження таблиці Б.2

1	2	3	4
Опір обмотки при 20°C, Ом	0,164	0,0379	0,056
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			
Число полюсів	4	4	4
Число витків W_{en}	76	58	68
Опір обмотки при 20°C, Ом	0,182	0,0965	1,128
Котушки додаткових полюсів			
Число витків W_{on}	57	25	37
Опір обмотки при 20°C, Ом	0,0695	0,0127	0,025
Повітряні зазори			
Зазор під головними полюсами $\delta_u/\delta_{кр}$, мм			12 (4,75)

Зазор під додатковими з боку якоря, мм	6	6,5	6
Зазор під додатковими з боку остова, мм	4,5	2,5	3,5

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

Параметри	Значення параметрів тягової машини типу	
	1ДТ.003.8У	1ДТ.003.11У
1	2	3
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 обидва боки	в обидва боки
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
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 ЭГ2А марки ЭГ61А	ЭГ2А або ЭГ61А (2×10)×40×50 26 22,5÷25 (2,3÷2,55) 25,5÷27,5 (2,6÷2,8)	ЭГ61А (2×10)×40×50 26 25,5÷27,5 (2,6÷2,8)
11 Кількість щіток	8	
12 Дані колектора, мм		
- діаметр	440	440
- найменший діаметр	424	424
- зазор між колектором та обіймою щіткоутримувача	3±1	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
Число пазів	35	42
Розміри паза, мм	11,35×31	9,4×23,2
Число сторін секцій в пазу	10	10
Число витків в секції	1	1
Число ефективних провідників в пазу	10	10
Число 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 провoda	Н	Н
Головні полюси		
Число полюсів	4	4
Розміри провoda, мм	1,81×25	2,26×25
Число 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
Полосне ділення, мм	220	240
Ширина осердя полюса, мм	-	104
Розрахункова напруга ізоляції обмотки, В	750	750
Додаткові полюси		
Число полюсів	4	4
Розміри дрота, мм	2,26×25	3,28×25
Число 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
Число колекторних пластин	175	210
Число колекторних пластин на паз	5	5
Щітки		

Продовження таблиці Б.4

1	2	3
Число щіткоутримувачів	4	4
Число щіток в щіткоутримувачі	2	2
Розміри щітки, мм	16×32×40	20×32×50
Годинний режим		
Напруга на затисках, 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 затисках, 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

