

**УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

МЕХАНІКО-ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

**Кафедра електроенергетики, електротехніки
та електромеханіки**

**РОЗРАХУНОК МАГНІТНОГО КОЛА
ТЯГОВОГО ДВИГУНА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання контрольної роботи**

**з дисципліни
«ТЯГОВІ ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ»**

Харків – 2022

Методичні вказівки розглянуто та рекомендовано до друку на засіданні кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки 25 травня 2020 р., протокол № 12.

Рекомендуються для магістрів спеціальності 273 «Залізничний транспорт» за освітньою програмою «Електровози та електропоїзди» заочної форми навчання.

Укладачі:

професори О. М. Ананьєва,
М. М. Бабаєв,
В. С. Блиндюк,
доцент Н. П. Карпенко

Рецензент

доц. С. І. Яцько

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Завдання до контрольної роботи.....	4
2 Загальні відомості до виконання завдання.....	5
Питання до захисту контрольної роботи.....	12
Список літератури.....	13
Додаток А Варіанти завдання на контрольну роботу	14
Додаток Б Вихідні дані до виконання контрольної роботи...	15
Додаток В Дані для розрахунку магнітного кола.....	17
Додаток Г Криві намагнічування феромагнітних матеріалів..	20

ВСТУП

Згідно з навчальним планом спеціальності 273 «Залізничний транспорт» за освітньою програмою «Електровози та електропоїзди» при вивченні дисципліни «Тягові електричні машини» здобувачі вищої освіти заочної форми навчання виконують контрольну роботу за розділом «Тягові двигуни постійного струму».

Метою запропонованого завдання є допомога здобувачам при вивченні та закріпленні матеріалу з розділу «Тягові двигуни постійного струму».

Виконання контрольної роботи з розрахунку магнітного кола двигуна постійного струму рекомендується починати після ретельного опрацювання відповідного розділу курсу наведеної літератури.

Тип тягового електродвигуна (ТЕД) відповідно до свого варіанта здобувач обирає за додатком А даних методичних вказівок. Основні технічні дані ТЕД, необхідні для виконання контрольної роботи, наведено в додатку Б.

1 ЗАВДАННЯ ДО КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ

При виконанні завдання необхідно:

- намалювати ескіз магнітного кола однієї пари полюсів двигуна постійного струму;
- провести перевірочний розрахунок магнітного кола при холостому ході;
- побудувати криву намагнічування $\Phi_{\delta}(F_{\delta})$;
- визначити коефіцієнт насичення магнітного кола.

При виконанні завдання прийняти, що осердя якоря, головні полюси набрано з листів електротехнічної сталі марки 1211 або 1212 товщиною 0,5 мм ($k_c = 0,93$), матеріал остова – лита сталь.

Осердя якоря виконано без радіальних вентиляційних каналів, завдяки чому довжина пакетів якоря l_c дорівнює активній довжині якоря l_a .

Осьова довжина полюсного наконечника l_m на 5 мм менша, ніж довжина якоря l_a .

Розрахункова довжина якоря при цьому визначається за формулою:

$$l_\delta = \frac{l_a + l_m}{2}. \quad (1.1)$$

Висоту спинки якоря h_a , товщину остова h_o та ширину осердя головного полюса b_m необхідно вибрати таким чином, щоб при номінальному значенні потоку в повітряному проміжку $\Phi_{\delta H}$ значення магнітної індукції знаходилися у допустимих межах:

- в осерді якоря $B_a = 1,4 \div 1,5$ Тл;
- в остові $B_o = 1,4 \div 1,45$ Тл;
- в осерді головних полюсів $B_m = 1,5 \div 1,7$ Тл;
- у зубчатому шарі якоря $B_z = 2,1 \div 2,2$ Тл;
- у зубцях компенсаційної обмотки $B_{zk} = 1,6 \div 1,8$ Тл;
- у повітряному проміжку $B_\delta = 0,8 \div 1$ Тл;
- у місці виходу з полюса в остов $B_j = 1,3 \div 1,6$ Тл.

Значення вказаних магнітних навантажень можуть коливатися у межах наведених даних.

2 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ДО ВИКОНАННЯ ЗАВДАННЯ

Ескіз магнітного кола двигуна постійного струму для однієї пари полюсів необхідно накреслити на міліметровому папері за масштабом 1:1 або 1:2, указавши при цьому розміри та межі ланок магнітного кола. Остаточні всі необхідні розміри визначаються після розрахунку висоти спинки якоря h_a та товщини остова h_o . Розрахунок магнітного кола полягає у визначенні магніторушійної сили обмотки збудження на полюс, яка необхідна для створення заданого основного магнітного потоку Φ_δ (потік у повітряному проміжку):

$$F_{зб} = w_{зб} \cdot I_{зб}. \quad (2.1)$$

Розрахунок магнітного кола виконується на підставі закону повного струму:

$$\oint \vec{H} \cdot d\vec{l} = \sum i, \quad (2.2)$$

за яким лінійний інтеграл по замкнутому контуру від вектора напруженості магнітного кола H дорівнює сумі струмів, що охоплені контуром інтегрування.

Точний розрахунок магнітного кола за допомогою формули (2.2) виконати неможливо, оскільки визначення лівої частини передбачає знання будови кола. Таким чином, розрахунок магнітного кола тягових машин проводять приблизно, зважаючи на те, що:

1) магнітні лінії в зубцях, повітряному проміжку між якорем і полюсним наконечником, а також в осерді полюсів направлені радіально, а в спинках остова та якоря – по дугах, описаних із центра машини;

2) у будь-якому перерізі сталевих ділянок потік розподілено рівномірно, а за розрахункову магнітну лінію приймають лінію, яка проведена посередині поперечного перерізу ділянки;

3) випинання магнітних ліній на торцях машини на її розрахунковій довжині не враховують;

4) збільшення магнітного опору повітряного проміжку, що зумовлено його зубчатою будовою, визначають шляхом збільшення розрахункової довжини проміжку.

Магнітне коло тягового двигуна (рисунок 1) розподіляють на окремі ділянки: повітряний проміжок δ , зубці якоря h_z , спинку якоря L_a , головні полюси з наконечниками h_m , зубці компенсаційної обмотки для компенсованих тягових двигунів h_{zk} , вихід полюс-остов L_j і остов L_o .

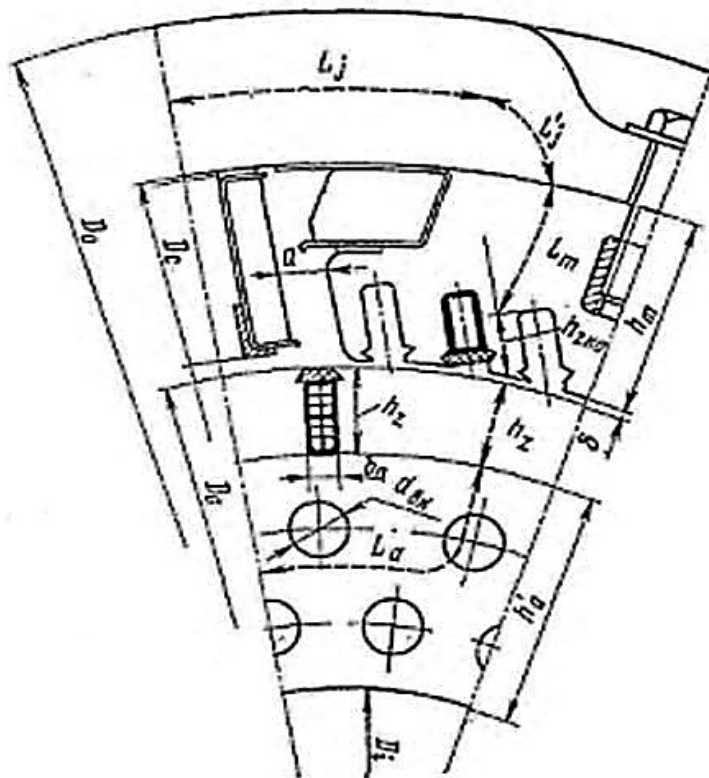


Рисунок 1 – Магнітне коло тягового двигуна

Припускаючи, що на кожній ділянці напруженість поля H_j стала, а напрям обходу контуру збігається із вектором напруженості кола, інтеграл (2.2) замінюють сумою

$$\sum u_{M \cdot j} = F_{зб} , \quad (2.3)$$

де $u_{M \cdot j}$ – магнітна напруга j -ї ділянки магнітного кола.

$$u_{M \cdot j} = H_j \cdot L_j , \quad (2.4)$$

де $H_j \cdot L_j$ – напруженість магнітного кола і довжина j -ї ділянки.

Якщо прийняти позначення і довжини ділянок за рисунком 1, то одержимо

$$u_{M\delta} + u_{Mz} + u_{Ma} + u_{Mm} + u_{Mzk} + u_{mj} + u_{Mo} = F_{зб} = w_{зб} \cdot I_{зб} , \quad (2.5)$$

де

$$u_{Mz} = H_z \cdot h_z; \quad (2.6)$$

$$u_{Ma} = H_a \cdot L_a; \quad (2.7)$$

$$u_{Mm} = H_m \cdot h_m; \quad (2.8)$$

$$u_{mzk} = H_m \cdot h_{zk}; \quad (2.9)$$

$$u_{mj} = H_j \cdot L_j; \quad (2.10)$$

$$u_{Mo} = H_o \cdot L_o; \quad (2.11)$$

$$u_{M\delta} = \frac{B_\delta}{\mu_0} \cdot \delta', \quad (2.12)$$

де δ' – еквівалентний (приведений) повітряний проміжок

$$\delta' = \delta \cdot K_\delta. \quad (2.13)$$

Методика розрахунку магнітного кола докладно викладена в розділі 3 посібника [1] і розділі 9 посібника [2].

Схема розрахунку магнітного кола:

1) за заданими геометричними розмірами визначаємо площу поперечного перерізу ділянки, таблиця В.1 додатка В;

2) за значенням магнітного потоку визначаємо величину магнітної індукції в ділянці, таблиця В.1 додатка В;

3) за отриманою величиною магнітної індукції по кривих намагнічування для сталей визначаємо напруженість магнітного поля у ділянці за додатком Г;

4) визначаємо магнітну напругу j -ї ділянки магнітного кола: $u_{M \cdot j} = H_j \cdot L_j$. Довжину магнітного шляху L_j у ділянці визначаємо за таблицею В.1 додатка В;

5) визначаємо загальну магнітну напругу.

Розрахунок необхідно виконати для чотирьох значень основного магнітного потоку:

$$0,5 \cdot \Phi_{\delta H}; 0,75 \cdot \Phi_{\delta H}; \Phi_{\delta H}; 1,25 \cdot \Phi_{\delta H}, \quad (2.14)$$

де $\Phi_{\delta H}$ – номінальне значення основного потоку, яке визначається за номінальним значенням ЕРС обмотки якоря:

$$E = c_E \cdot \Phi \cdot n, \quad (2.15)$$

$$E = U - I \cdot \Sigma r, \quad (2.16)$$

де U – напруга на якорі ТЕД у номінальному режимі;

Σr – сума активних опорів обмоток тягового двигуна.

Як правило, $I \cdot \Sigma r \approx 0,054$, тоді $E = 0,95U$; c_E визначається за обмотувальними даними конкретного ТЕД з урахуванням того, що $N = 2 \cdot K$.

$$c_E = \frac{P \cdot N}{60 \cdot a}, \quad (2.17)$$

$$\Phi = \frac{E}{c_E \cdot n}. \quad (2.18)$$

Розрахунок магнітного кола рекомендується спочатку провести для номінального значення основного потоку, де подати всі розрахункові формули, а потім – для інших значень потоку.

При розрахунку магнітного кола рекомендується використовувати криві намагнічування феромагнітних матеріалів, що наведені в таблицях Г.1, Г.2, Г.3 додатка Г.

За даними таблиці 2.1 будується крива намагнічування машини $\Phi_{\delta}(F_{\delta})$ [3] і визначається коефіцієнт насичення K_H при $\Phi_{\delta}^* = 1$:

$$K_H = \frac{\Sigma u_{MK}}{u_{M\delta}}. \quad (2.19)$$

Вплив насичення магнітної системи на характеристики тягових двигунів викладено в [3].

Таблиця 2.1

Назва величини	Значення при Φ_{δ}^*			
	0,5	0,75	1,0	1,25
1	2	3	4	5
Основний магнітний потік Φ_{δ} , Вб				
Магнітна індукція у повітряному проміжку (під серединою полюса) $B_{\delta 1}$, Тл				
Магнітна індукція у сталевих ділянках, Тл: - 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: - H_m ; - H_{zk} ; - $H_{z1/3}$; - H_a ; - H_j ; - H_o				

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5
<p>Магнітна напруга, А:</p> <ul style="list-style-type: none"> - повітряного проміжку $u_{M\delta}$; - полюсів u_{Mt}; - зубців компенсаційної обмотки u_{Mzk}; - зубчатої зони якоря u_{Mz}; - спинки якоря u_{Ma}; - місця виходу з полюса в остов u_{Mj}; - спинки остова u_{Mo} 				
<p>Магніторушійна сила обмотки збудження на полюс</p> $F_f = \sum_k u_{MK}$				

ПИТАННЯ ДО ЗАХИСТУ КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ

- 1 З якою метою розраховують магнітне коло тягових двигунів?
- 2 Що є магнітною характеристикою тягового двигуна?
- 3 Як визначають криву намагнічування тягової машини?
- 4 З яких міркувань магнітне коло тягового двигуна розбивають на окремі ділянки?
- 5 Що таке основний магнітний потік?
- 6 Чим пояснюється лінійний характер магнітної характеристики в початковій частині?
- 7 Чим характеризується ступінь насичення магнітного кола?
- 8 Як впливає ступінь насиченості на регулювальні властивості ТЕД?
- 9 Як можна зменшити насичення магнітного кола тягового двигуна?
- 10 Які двигуни за коефіцієнтом насичення вважають малонасиченими, середньонасиченими та сильнонасиченими?
- 11 Як визначити коефіцієнт насичення графічним способом?
- 12 Яким чином впливає магніторушійна сила (МРС) реакції якоря на МРС намагнічування машини?
- 13 Що таке навантажувальна характеристика тягового двигуна?
- 14 Як враховують зубчасту будову магнітопроводів при розрахунку магнітного кола?
- 15 Чому осердя якоря тягового двигуна виготовляють з електротехнічної сталі?
- 16 На яку ділянку магнітного кола припадає значна частина МРС намагнічування машини?
- 17 Як впливає ступінь насичення на тягові характеристики тягових двигунів?

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1 Осташевський М. О., Юр'єва О. Ю. Електричні машини і трансформатори: навч. посіб. / за ред. В. І. Мілих. Київ: Каравела, 2018. 452 с.

2 Проєктування електричних машин: навч. посіб. / Д. В. Циленков, О. Б. Іванов, О. В. Бобров, В. В. Кузнецов, В. В. Артемчук, М. О. Баб'як; нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». Дніпро: НТУ «ДП», 2020. 408 с.

3 Безрученко В. М. Варченко В. К., Чумак В. В. Тягові електричні машини електрорухомого складу: навч. посіб. Дніпропетровськ: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2003. 252 с.

ДОДАТОК А

Варіанти завдання на контрольну роботу

Таблиця А.1

Варіант		Тип електродвигуна
1	12	НБ-406
2	13	ТЛ-2К
3	14	НБ-420А
4	15	НБ-412М
5	16	НБ-412К
6	17	НБ-418К
7	18	УРТ-110А
8	19	РТ-117
9	20	РТ-51Д
10	21	ДК-116А
11	22	ДК-117А

ДОДАТОК Б

Вихідні дані до виконання контрольної роботи

Таблиця Б.1

Назва величини	Номери варіантів										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1 Діаметр якоря D_a , мм	660	740	660	740	740	660	520	520	280	306	
2 Активна довжина якоря l_a , мм	400	430	375	440	440	385	320	320	260	282	
3 Кількість пар полюсів p	2	3	2	3	3	3	2	2	2	2	2
4 Напряга U_n , В	1500	1500	1500	1450	1600	950	1500	750	375	375	
5 Номінальна частота обертання n_n , об/хв	765	815	855	825	895	915	1145	800	1360	1480	
6 Коефіцієнт полюсного перекриття α	0,665	0,7	0,705	0,65	0,62	0,67	0,65	0,65	0,657	0,635	
7 Розміри паза $h_z \times b_z$, мм	13,75×51	12,7×47,5	13,8×51,1	12×43,5	12×43,5	10×42,2	43×13,6	45,7×13,3	43×13,8	11,35×31	9,4×23,2

Продовження таблиці Б.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
8 Повітряний проміжок $\delta_{кр} / \delta_{ц}$ під головними полюсами, мм	15,4/7,7	4,5/4,5	5,15/5,15	15/7,5	4,5/4,5	4,7/4,7	12/4,75	12/4,75	12/4,75	3,25/9	2,5/6
9 Кількість колекторних пластин K	406	525	348	525	525	348	329	322	235	175	210
10 Кількість пазів якоря Z	58	75	58	75	75	87	46	46	47	35	42
11 Коефіцієнт магнітного розсіювання σ	1,1	1,22	1,2	1,1	1,17	1,23	1,15	1,12	1,18	1,06	1,08
12 Кількість пазів компенсаційної обмотки на полюс	–	6	8	–	6	8	–	–	–	–	–
13 Тип обмотки якоря	пет-льова	пет-льова	пет-льова	пет-льова	пет-льова	пет-льова	хви-льова	пет-льова	хви-льова	хви-льова	пет-льова

ДОДАТОК В

Дані для розрахунку магнітного кола

Таблиця В.1

Довжина ділянки l_j , мм	Ширина ділянки b_j , мм	Площа ділянки s_j , м ²	Середня (розрахункова) довжина магнітної лінії L_j , м	Магнітна індукція B_j , Тл
1	2	3	4	5
1 Повітряний проміжок під головним полюсом				
$l_\delta = \frac{l_a + l_m}{2},$ $l_m = l_a - 5$	$b_\delta = a_\delta \cdot \tau,$ $\tau = \frac{\pi \cdot D_a}{2 \cdot p}$	$s_\delta = l_\delta \cdot b_\delta$	$L_\delta = \delta' = \delta \cdot K_\delta,$ $K_\delta = \frac{t_1 + 10\delta}{b_{z1} + 10\delta}$ (для ТЕД без КО), $K_\delta = \frac{t_1 + 10\delta}{b_{z1} + 10\delta} \cdot \frac{t_k + 10\delta}{b_{zk} + 10\delta}$ (для ТЕД з КО)	$\Phi_{\delta\text{НОМ}} = \frac{E}{c_E \cdot n'}$ $B_{\delta\text{НОМ}} = \frac{\Phi_{\delta\text{НОМ}}}{S_\delta}$
2 Зубчатий шар якоря				
$l_z = l_a \cdot K_{\text{ст}}$	$t_1 = \frac{\pi \cdot D_a}{z},$ $b_{z1} = t_1 \cdot b_n,$	$S_{z1/3} = \frac{b_{z1/3} \cdot z \cdot \alpha \cdot l_a \cdot k_c}{2p}$	$L_z = h_z$	$B_{z1/3} = \frac{\Phi_{\delta\text{НОМ}}}{S_{z1/3}},$ $B_{z1/3\text{НОМ}} = 2,1 \div 2,3 \text{Тл}$

Продовження таблиці В.1

1	2	3	4	5
	$t_{1/3} = \frac{\pi(D_a - \frac{4}{3}h_n)}{z}$ $b_{z1/3} = t_{1/3} \quad b_n$			
3 Осередя головного полюса				
$l_{тр} = l_m \cdot K_{ст}$	$h_m = \frac{\Phi_{тнном}}{l_{тр} \cdot B_{тном}}$	$s_m = b_m \cdot l_{тр}$	$L_m = h_m$	$B_m = \frac{\Phi_m}{S_m}$ $\Phi_m = \sigma \cdot \Phi_{\delta ном}$ $B_{тнном} = 1,4 \div 1,7 \Gammaл$
4 Спинка якоря				
$l_{ар} = l_z$	$h_a = \frac{\Phi_{аном}}{l_{ар} \cdot B_{аном}}$	$s_a = l_z \cdot h_a$	$L_a = \frac{\pi \cdot (D_a - h_a - 2 \cdot h_z)}{4 \cdot p} + 0,5 \cdot h_a$	$B_a = \frac{\Phi_a}{S_a}$ $\Gamma_{\delta ном} = \frac{\Phi_{\delta ном}}{2}$ $B_{снном} = 1,4 \div 1,6 \Gammaл$

Продовження таблиці В.1

1	2	3	4	5
5 Остов				
$l_o = l_m + 0,4 \cdot D_a$	$h_o = \frac{\Phi_{\text{ОНОМ}}}{l_o \cdot B_{\text{ОНОМ}}}$	$s_o = l_o \cdot h_o$	$L_o = \frac{\pi [D_a + (\delta + h_m + h_o)]}{4 \cdot p} + 0,5 \cdot h_o$	$B_o = \frac{\Phi_o}{s_o},$ $\Phi_o = \frac{\Phi_m}{2},$ $R_{\text{ОНОМ}} = 1,3 : 1,6 \text{Тл}$
6 Зубчатий шар полюса				
$l_{mk} = l_m \cdot K_{\text{СТ}}$	$b_{zk} = \alpha \tau$	$S_{zk} = l_{mk}(\alpha \tau - b_{nk})$	$L_{zk} = h_{zk}$	$B_{zk} = \frac{\sigma_{ko} \cdot \Phi_{\delta_{\text{НОМ}}}}{S_{zk}},$ $\sigma_{ko} = 1,05$
7 Вихід із полюса в остов				
$l_{\text{ВИХ}} = h_o$	$b_{\text{ВИХ}} = l_m + b_m$	$S_{\text{ВИХ}} = h_o \cdot (l_m + b_m)$	$L_{\text{ВИХ}} = L_m/2$	$B_{\text{ВИХ}} = \frac{\Phi_m}{2S_{\text{ВИХ}}}$

ДОДАТОК Г

Криві намагнічування феромагнітних матеріалів

Таблиця Г.1 – Крива намагнічування листової електротехнічної сталі марок 1211, 1212

B, Тл	H, А/см										
	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
0,4	1,4	1,43	1,46	1,49	1,52	1,53	1,58	1,61	1,64	1,67	
0,5	1,71	1,75	1,79	1,83	1,87	1,91	1,95	1,99	2,03	2,07	
0,6	2,11	2,16	2,21	2,26	2,31	2,36	2,41	2,46	2,51	2,56	
0,7	2,61	2,66	2,71	2,76	2,81	2,87	2,93	2,99	3,06	3,12	
0,8	3,18	3,24	3,30	3,37	3,44	3,52	3,60	3,69	3,78	3,87	
0,9	3,97	4,07	4,17	4,27	4,37	4,47	4,58	4,69	4,80	4,91	
1,0	5,02	5,14	5,27	5,41	5,55	5,70	5,85	6,00	6,15	6,31	
1,1	6,47	6,64	6,82	7,01	7,20	7,39	7,59	7,79	8,00	8,21	
1,2	8,43	8,66	8,91	9,18	9,46	9,76	10,1	10,4	10,7	11,0	
1,3	11,4	11,8	12,2	12,6	13,0	13,4	13,8	14,3	14,8	15,3	
1,4	15,8	16,4	17,1	17,8	18,6	19,5	20,5	21,5	22,6	23,8	
1,5	25,0	26,4	27,9	29,5	31,1	32,8	34,6	36,6	38,8	44,12	
1,6	43,7	46,3	49,1	52,2	55,3	58,8	62,3	66,0	69,8	73,7	
1,7	77,8	82,0	86,3	90,7	96,3	101	106	111	116	122	
1,8	128	134	142	146	152	159	166	173	180	188	
1,9	197	206	216	226	236	246	256	268	282	296	

Продовження таблиці Г.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2,0	310	325	343	356	390	420	455	495	545	595
2,1	655	725	800	880	960	1040	1120	1200	1280	1360
2,2	1144	1520	1600	1680	1760	1840	1920	2000	2080	2160
2,3	2240	2320	2400	2480	2560	2640	2720	2800	2880	2960
2,4	3040	3120	3200	3280	3360	3440	3520	3600	3680	3760
2,5	3840	3920	4000	4080	4160	4240	4320	4400	4480	4560

Таблиця Г.2 – Крива намагнічування сталі марки 3411 (для полюсів)

B, Тл	H, А/см										
	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	
1,0	1,70	1,70	1,80	1,85	1,90	1,90	2,0	2,0	2,10	2,10	
1,1	2,20	2,20	2,30	2,35	2,40	2,40	2,50	2,60	2,60	2,70	
1,2	2,80	2,90	3,0	3,10	3,20	3,20	3,30	3,40	3,50	3,60	
1,3	3,70	3,80	4,0	4,10	4,20	4,30	4,50	4,60	4,70	4,80	
1,4	5,0	5,20	5,40	5,60	5,80	6,0	6,20	6,40	6,60	6,80	
1,5	7,0	7,30	7,60	7,90	8,20	8,50	8,80	9,10	9,40	9,70	
1,6	10,0	11,0	12,0	13,0	14,0	15,0	16,0	17,0	18,0	19,0	
1,7	20,0	21,0	22,0	23,0	24,0	25,0	28,0	31,0	34,0	37,0	
1,8	40,0	43,0	46,0	50,0	54,0	59,0	65,0	71,0	78,0	85,0	
1,9	92,0	100	112	130	155	190	225	260	300	350	
2,0	400	450	500	550	600	—	—	—	—	—	

Таблиця Г.3 – Крива намагнічування литої сталі, товстих листів (Ст. 3), поковок

B, Тл	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
	H, A/cm									
0	0	0,08	0,16	0,24	0,32	0,40	0,48	0,56	0,64	0,72
0,1	0,80	0,88	0,96	1,04	1,12	1,20	1,28	1,36	1,44	1,52
0,2	1,6	1,68	1,76	1,84	1,92	2,0	2,08	2,16	2,24	2,32
0,3	2,40	2,48	2,50	2,64	2,72	2,80	2,88	2,96	3,04	3,12
0,4	3,20	3,28	3,36	3,44	3,52	3,60	3,68	3,76	3,84	3,92
0,5	4,00	4,04	4,17	4,26	4,34	4,43	4,52	4,61	4,70	4,79
0,6	4,88	4,97	5,06	5,16	5,25	5,35	5,44	5,54	5,64	5,74
0,7	5,84	5,93	6,03	6,13	6,23	6,32	6,42	6,52	6,62	6,72
0,8	6,82	6,93	7,03	7,24	7,34	7,45	7,55	7,66	7,76	7,87
0,9	7,98	8,10	8,23	8,35	8,48	8,50	8,73	8,85	8,98	9,11
1,0	9,24	9,38	9,53	9,69	9,86	10,4	10,22	10,39	10,56	10,76
1,1	10,9	11,08	11,27	11,47	11,67	11,87	12,07	12,27	12,48	12,69
1,2	12,9	13,15	13,4	13,7	14,0	14,3	14,6	14,9	15,2	15,55
1,3	15,9	16,3	16,7	17,2	17,6	18,1	18,6	19,2	19,7	20,3
1,4	20,9	21,6	22,3	23,0	23,7	24,4	25,3	26,2	27,1	28,0
1,5	28,9	29,9	31,0	32,1	33,2	34,3	35,6	37,0	38,3	39,6
1,6	41,0	42,5	44,0	45,5	47,0	48,7	50,0	51,5	53,0	55,0

РОЗРАХУНОК МАГНІТНОГО КОЛА
ТЯГОВОГО ДВИГУНА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання контрольної роботи

з дисципліни
«ТЯГОВІ ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ»

Відповідальний за випуск Карпенко Н. П.

Підписано до друку 07.07.2020 р.

Умовн. друк. арк. 1,5. Тираж . Замовлення № .

Видавець та виготовлювач Український державний університет
залізничного транспорту,

61050, Харків-50, майдан Фейєрбаха,7.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 6100 від 21.03.2018 р.