

Міністерство освіти і науки України  
Державний університет “Одеська політехніка”  
Інститут електротехніки та електромеханіки  
Кафедра електромеханічної інженерії

Шевченко В.П.  
Белікова Л.Я.

## МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до кусової роботи з дисципліни «Електричні машини»  
«Розрахунок асинхронних електродвигунів потужністю 0,6...100 кВт»

для бакалаврів спеціальності  
141 - “Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка”

Затверджено  
на засіданні кафедри  
електромеханічної інженерії  
прот. №8 від 15.03.2023 р.

## ЗМІСТ

- [1. Зміст проекту і графік його виконання](#)
- [2. ЗАВДАННЯ НА ПРОЕКТУВАННЯ](#)
- [3. ЗАСТОСУВАННЯ ПЕОМ ПРИ ВИКОНАННІ РОЗРАХУНКІВ](#)
- [4. ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОЗДІЛІВ ПРОЕКТУ](#)
  - 4.1 Визначення додаткових розмірів АД
  - 4.2 Розрахунок магнітного кола
  - 4.3 Параметри обмоток двигуна
  - 4.4 Втрати та ККД асинхронного двигуна
  - 4.5 Робочі характеристики двигуна
  - 4.6 Побудова механічної характеристики  $M = f(s)$
  - 4.7 Тепловий розрахунок
  - 4.8 Розрахунок масо-вартісних показників
  - 4.9 Проектні дослідження
- [5. РОБОТА З ПАКЕТОМ ПРОГРАМ РОЗРАХУНКУ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ](#)
  - 5.1 Організація роботи з підсистемою
  - 5.2 Етапи роботи з підсистемою проектування АМ
  - 5.3 Файли каталогу "АМ"
  - 5.2 Формування вхідних даних
  - 5.3 Етапи розрахунку АД
  - 5.6 Результати розрахунку
- [6. КОНСТРУКТИВНА РОЗРОБКА ЕЛЕМЕНТІВ ДВИГУНА](#)
- [7. ОФОРМЛЕННЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ](#)
  - 7.1 Розрахункова записка
  - 7.2 Графічна частина
- [8. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ДЛЯ ПІДГОТОВКИ ДО ЗАХИСТУ КУРСОВОГО ПРОЕКТА](#)  
[Список літератури](#)  
[Додаток 1.](#) Штampi креслень і текстових документів  
[Додаток 2.](#) Таблиця і характеристики намагнічування  
[Додаток 3.](#) Ізоляція обмоток статора  
[Додаток 4.](#) Розміри мідних проводів ПЕТВ и ПЕТ-155

При вивченні дисципліни “Електричні машини” студенти напрямку 6.050702 “Електромеханіка” повинні засвоїти теорію і знати конструкцію найбільш розповсюджених електричних машин – асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором. Задачею курсового проекту є перевірочний розрахунок і вивчення конструкції асинхронного двигуна.

## 1. ЗМІСТ ПРОЕКТУ

Перевірочний розрахунок трифазних асинхронних електродвигунів з короткозамкненим ротором містить розділи (табл. 1.1), частина з яких розраховується за допомогою ПЕОМ. Розрахункова частина у формі пояснювальної записки обсягом 40÷50 с. повинна містити всі розділи і бути оформлена згідно з вимогами до оформлення курсових проектів.

Зміст розрахунково-пояснювальної записки наведений в розд.7.

Таблиця 1.1

Найменування розділів і графік їхнього виконання

Розділ	Найменування розділу	Застосування ПЕОМ	Обсяг розділу, %	Кількість годин на виконання	Термін виконання по тижнях
1	Визначення додаткових розмірів	Немає	5	1	1-й
2	Розрахунок магнітного кола	Так	15	3	2-й
3	Параметри двигуна	Так	10	2	3-й
4	Втрати і ККД	Так	10	2	3-й
5	Робочі характеристики	Так	10	3	4-й
6	Розрахунок механічної характеристики	Так	5	1	5-й
7	Тепловий розрахунок	Так	5	1	5-й
8	Розрахунок масо-вартісних показників	Так	5	1	6-й
9	Проектні дослідження	Так	10	1	6-й
10	Конструктивна розробка	Немає	10	3	7-й
11	Оформлення проекту	Немає	15	3	8-й
12	Захист проекту	Немає			9-й

При виконанні курсового проекту поєднують ручний розрахунок і роботу на ПЕОМ, що логічно пов'язані між собою і складають єдину систему. Графік роботи над курсовим проектом зазначений у табл. 1.1.

Керівник веде поетапний контроль і оцінку роботи студента над проектом.

## 2. ЗАВДАННЯ НА ПРОЕКТУВАННЯ

Асинхронні двигуни в діапазоні потужностей 0.6...100 *кВт* мають виконання IP23 (вентиляція радіальна без каналів) або IP44 (вентиляція зовнішнім обдувом), клас ізоляції *B, F*. Двигуни, що розраховуються, призначені для тривалого режиму роботи *S1*.

Вхідні дані визначають марку сталі; систему вентиляції (виконання); тип обмотки статора, що задається коефіцієнтом (одношарова, двошарова і проста шаблонна – 1.67; одношарова триплоскінна – 1.47; одношарова ланцюгова і в розвал – 1.34; двошарова петльова чи волнова – 0.34). Задаються номінальна потужність, фазна напруга, фазний струм, число пар полюсів, частота мережі живлення, головні розміри, розміри зубцевих зон статора і ротора. Позначення розмірів пазів показані на рис. 5.3 – 5.8.

Приклад варіанта завдання на проектування

Найменування величини	Позначення	Розмірність
1. Номінальна потужність.....	$P_n$	<i>кВт</i>
2. Номінальна фазна напруга.....	$U_n$	<i>В</i>
3. Номінальний фазний струм.....	$I_n$	<i>А</i>
4. Частота мережі.....	$f_1$	<i>Гц</i>
5. Число пар полюсів.....	$p$	---
6. Висота осі обертання.....	$H_0$	<i>мм</i>
7. Зовнішній діаметр статора .....	$D_a$	<i>см</i>
8. Діаметр розточення статора.....	$D$	<i>см</i>
9. Розрахункова довжина статора.....	$L_б$	<i>см</i>
10. Величина скосу пазів на роторі.....	$B_{ск}$	<i>см</i>
11. Величина повітряного зазора.....	$\delta$	<i>см</i>
12. Число пазів статора .....	$Z_1$	
13. Форма паза статора.....	Рис. 5.3 ÷ 5.6	
14. Розміри	$h_{ш1}$	<i>см</i>
15.                   паза	$b_1$	<i>см</i>
16.                                   статора	$b_{ш1}$	<i>см</i>
17.                   (див. ескіз паза статора)	$b_2$	<i>см</i>
18.	$h_{п1}$	<i>см</i>
19. Число пазів ротора.....	$Z_2$	
20. Форма паза ротора.....	Рис. 5.7, 5.8	
21. Розміри	$b_M$	<i>см</i>
22.                   паза	$h_M$	<i>см</i>
23.                                   ротора	$h_{ш2}$	<i>см</i>
24.	$b$	<i>см</i>
25.	$b_{ш2}$	<i>см</i>
26.                   (див. ескіз паза ротора)	$b'$	<i>см</i>
27.	$h_{п2}$	<i>см</i>
28. Ознака типу обмотки статора.....	$tp$	
29. Крок обмотки в пазних розподілах .....	$y_1$	
30. Число рівнобіжних гілок.....	$a_1$	
31. Число ефективних провідників у пазу.....	$N_{п}$	
32. Число елементарних провідників в ефективному.....	$n_{ел}$	
33. Діаметр голого елементарного провідника	$D_{Г}$	<i>см</i>
34. Радіальний розмір КЗ кільця.....	$A_K$	<i>см</i>
35. Товщина короткозамкненого кільця.....	$B_K$	<i>см</i>
36. Виконання двигуна	IP23 або IP44	

[Зміст](#)

### 3. ЗАСТОСУВАННЯ ПЕОМ ПРИ ВИКОНАННІ РОЗРАХУНКІВ

Перевірочний розрахунок асинхронних електродвигунів виконується на ПЕОМ у діалоговому режимі.

У процесі виконання курсового проекту на ПЕОМ студенту необхідно заповнити п'ять протоколів, що відповідають таким етапам: **1** - розрахунок магнітного кола; **2** - розрахунок параметрів; **3** - розрахунок втрат; **4** - тепловий розрахунок; **5** - розрахунок масовартісних показників.

На кожному етапі розрахунку здійснюється контроль визначеного набору параметрів, розрахованих вручну. На екран виводяться значення похибок за кожним контрольованим параметром. Етап розрахунку вважається виконанням, якщо похибка ручного і машинного розрахунків не перевищує визначеного значення. Допускається повторне введення контрольованих параметрів.

Форми протоколів надані в розд. 5, підрозд. 5.5.

У результаті розрахунку двигуна на ПЕОМ формується файл результатів розрахунків і графічних залежностей робочого і пускового режимів.

#### Зміст

### 4. ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОЗДІЛІВ ПРОЕКТУ

Для машин з висотою осі обертання  $H_0 < 132$  мм приймається клас ізоляції “В”, для інших двигунів – клас “F”.

#### 4.1. Визначення додаткових розмірів АД

##### 4.4.1. Визначення розмірів пазів статора, см

$$h_{k1} = \frac{b_2}{2}, \quad h_2 = 2h_{ik}. \quad (4.1)$$

де  $h_{ik}$  - корпусна ізоляція по висоті паза (табл. Д3.2)

Трапецоїдні пази статора за (рис. 5.3, 5.4 )

$$h_1 = h_{n1} - h_{u1} - h_{r1} - h_2 \quad (4.2)$$

Овальні пази статора за (рис. 5.5, 5.6)

$$h_1 = h_{n1} - h_{u1} - h_{k1} - h_2 - 0.1b_1 \quad (4.3)$$

##### 4.1.2. Визначення розмірів провідників обмотки статора

Виходячи із заданого значення діаметра голого елементарного провідника ( $d_\Gamma$ , см), користаючись табл. Д4.1 (дод. 4) визначити діаметр ізольованого елементарного провідника ( $d_{i3}$ , см) і його перетин ( $q_{ел}$ , мм<sup>2</sup>).

##### 4.1.3. Визначення розмірів пазів ротора, см ( рис. 5.7, 5.8)

$$h_{12} = h_{п2} - h_{ш2} - h_m - \frac{b}{2} - \frac{b''}{2}. \quad (4.4)$$

Перетин стрижня паза ротора, мм<sup>2</sup>

$$q_c = \left[ h_{12} \cdot \frac{(b+b'')}{2} + \frac{\pi}{8} (b^2 + b''^2) \right] \cdot 10^2 \quad (4.5)$$

#### 4.1.4. Визначення довжини осердя статора і ротора, см

Довжина осердя статора  $l_1 = l_\delta$ .

Довжину осердя ротора при  $H_0 < 250$  мм приймають дорівнюючою розрахунковій довжині ( $l_2 = l_1 = l_\delta$ ). В асинхронних машинах з  $H_0 > 250$  мм довжину осердя ротора приймають на 5 мм більше довжини осердя статора.

#### 4.1.5. Визначення внутрішнього діаметра ротора, см

$$D_B = k_B \cdot D \quad (4.6)$$

Таблиця 4.1

Значення коефіцієнта  $k_B$

$H_0$ , мм	$U_n$ , В	$2p$	$k_B$	$H_0$ , мм	$U_n$ , В	$2p$	$k_B$
50–63	< 380	2,4,6	0,19	280–355	< 660	2,4,6,8,10,12	0,22
71–250	< 380	2,4,6,8	0,23				

#### 6. Вибір кількості $K_{ка}$ і діаметра $D_{ка}$ аксіальних каналів

У двигунах з висотою осі обертання  $H_0 > 180$  мм у сердечнику ротора передбачають виконання одного ряду ( $N_{ка} = 1$ ) аксіальних вентиляційних каналів для поліпшення охолодження і зменшення махового моменту. При виборі кількості ( $K_{ка}$ ) і діаметра ( $D_{ка}$ ) каналів слід керуватися даними табл. 4.2.

Таблиця 4.2

До вибору значень каналів  $K_{ка}$  і  $D_{ка}$

$H_0$ , мм	$2p$	$K_{ка}$	$D_{ка}$ , см	$H_0$ , мм	$2p$	$K_{ка}$	$D_{ка}$ , см
180	2	—	—	225	2	12	1.2
	4,6,8	10	1,8		4	12	2.0
					6,8	12	2,5
200	2	10	1.2	250	2	12	1.5
	4	10	1.6		4	10	2.5
	6,8	12	2,2		6,8	10	3,0

#### 4.2. Розрахунок магнітного кола

У результаті виконання даних розрахунків визначаються магнітна індукція і напруженість на всіх ділянках магнітного кола, знаходяться коефіцієнти насичення і намагнічувальний струм.

##### 4.2.1. Основний магнітний потік, Вб

$$\Phi = \frac{k_e \cdot U_H}{4,44 f_1 \cdot w_1 \cdot k_{o1}}, \quad (4.7)$$

де  $k_e = \frac{E_H}{U_H}$  - попередньо вибирається за рис. 4.1;

$k_{o1} = k_p \cdot k_y \cdot k_{ск}$  - обмотувальний коефіцієнт обмотки статора .

Коефіцієнт розподілу	Коефіцієнт скорочення	Коефіцієнт скошу пазів ротора
$k_p = \frac{0.5}{q_1 \sin(\frac{30^\circ}{q_1})}$	$k_y = \sin(90^\circ \cdot \beta)$	$k_{ск} = \frac{\sin(90^\circ \cdot \frac{b_{ск}}{\tau})}{\frac{\pi \cdot b_{ск}}{2 \cdot \tau}}$

Тут  $q_1 = \frac{Z_1}{2p \cdot m}$  - число пазів на полюс і фазу;  $\beta = \frac{y}{\tau} = \frac{y \cdot 2p}{Z_1}$  - відносне

укорочення кроку обмотки;  $b_{ск}$  - величина скошу пазів ротора, см;  $\tau = \pi \cdot D / 2p$  -

полюсний розподіл, см;  $w_1 = \frac{N_{п} \cdot Z_1}{2m \cdot a_1}$  - число витків, послідовно з'єднаних у фазі

обмотки статора;  $m = 3$  - число фаз обмотки статора.

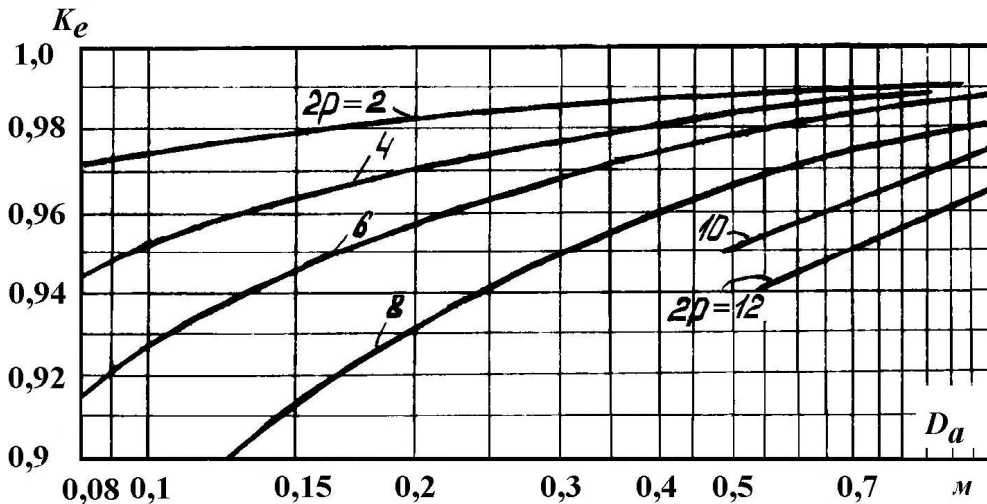


Рис. 4.1  
Значення  
коефіцієнта  
 $k_e$

4.2.2. Величина індукції в повітряному зазорі, Тл

$$B_d = \frac{\Phi}{\alpha_d \cdot \tau \cdot l_d} \cdot 10^4, \quad (4.8)$$

де  $\alpha_d = \frac{2}{\pi} = 0,637$  - коефіцієнт полюсного перекриття.

4.2.3. Магнітна напруга повітряного зазора, А

$$F_d = 1,59 \cdot \delta \cdot k_d \cdot B_d \cdot 10^4, \quad (4.9)$$

де  $k_{\text{д}} = k_{\text{д1}} \cdot k_{\text{д2}}$  - коефіцієнт повітряного зазору, що враховує вплив зубцевості статора  $k_{\text{д1}}$  і ротора  $k_{\text{д2}}$ .

$$k_{\text{д1}} = 1 + \frac{b_{\text{ш1}}}{t_1 - b_{\text{ш1}} + \frac{5\delta}{b_{\text{ш1}}}}, \quad k_{\text{д2}} = 1 + \frac{b_{\text{ш2}}}{t_2 - b_{\text{ш2}} + \frac{5\delta}{b_{\text{ш2}}}},$$

$$t_1 = \frac{\pi D}{Z_1}; \quad t_2 = \frac{\pi(D - 2\delta)}{Z_2}.$$

Тут  $t_1$  і  $t_2$  – зубцеві розподіли статора і ротора, см;

Для АД із закритими пазами на роторі (рис. 5.8)  $k_{\text{д2}} = 1$ .

**4.2.4.** Величина індукції в зубцях статора,  $Tл$

$$B_{z1} = B_{\text{д}} \cdot \frac{t_1}{k_{\text{с}} \cdot b_{z1\text{ср}}}, \quad (4.10)$$

де  $b_{z1\text{ср}} = \frac{(b_{z11} + b_{z12})}{2}$  - середня ширина зубця статора, що дорівнює половині суми найменшого і найбільшого розмірів зубців у штампі. Величини  $b_{z11}$  і  $b_{z12}$  для трапецоїдних пазів (рис. 5.3, 5.4) визначаються за залежностями, см

$$b_{z11} = \frac{\pi(D + 2h_{\text{п1}})}{Z_1} - b_1, \quad b_{z12} = \frac{\pi[D + 2(h_{\text{к1}} + h_{\text{ш1}})]}{Z_1} - b_2.$$

Для овальних пазів (рис. 5.5, 5.6)

$$b_{z11} = \frac{\pi(D + 2h_{\text{п1}} - b_1)}{Z_1} - b_1, \quad b_{z12} = \frac{\pi[D + 2(h_{\text{к1}} + h_{\text{ш1}})]}{Z_1} - b_2.$$

$k_{\text{с}}$  - коефіцієнт заповнення пакета сталлю, що дорівнює для АД з висотою осі обертання  $H_0 < 250 \text{ мм}$   $k_{\text{с}} = 0,97$ , при  $H_0 > 250 \text{ мм}$  -  $k_{\text{с}} = 0,95$ .

**4.2.5.** Магніторушійна сила зубцевого шару статора,  $A$

$$F_{z1} = 2H_{z1} \cdot h'_{\text{п1}} \cdot 10^{-2} \quad (4.11)$$

При  $B_{z1} \leq 1,8 \text{ Тл}$  величина напруженості магнітного поля ( $A/м$ ) в зубцях статора визначається (дод. 2, табл. Д2.1, Д2.2, Д2.3) залежно від марки електротехнічної сталі і величини індукції.

При висоті осі обертання  $H_0 < 160 \text{ мм}$  використовується електротехнічна сталь **2013**, а при  $H_0 > 160 \text{ мм}$  – сталь **2312**.

При  $B_{z1} > 1,8 \text{ Тл}$  величина напруженості магнітного поля в зубцях статора визначається за кривими намагнічування (дод. 2, рис. Д2.1, Д2.2) залежно від марки



електротехнічної сталі і коефіцієнта  $k_{\Pi 1}$ , що враховує відгалуження частини магнітного потоку в паз статора  $k_{\Pi 1} = \frac{t_1}{b_{z1cp} \cdot k_c}$ .

$h'_{\Pi 1}$  - розрахункова висота паза статора, см.

Трапецоїдні пази (рис. 5.3, 5.4) $h'_{\Pi 1} = h_{\Pi 1}$		Овальні пази (рис. 5.5, 5.6) $h'_{\Pi 1} = h_{\Pi 1} - 0,1b_1$
--	--	---

**4.2.6.** Величина індукції в зубцях ротора, Тл

$$B_{z2} = \frac{t_2}{b_{z2cp} \cdot k_c} \cdot B_{д}, \quad (4.12)$$

де  $b_{z2cp} = \frac{b_{z21} + b_{z22}}{2}$  - середня ширина зубця ротора, що дорівнює половині суми найменшого і найбільшого розмірів зубців у штампі, см.

Для напівзакритого і закритого пазів ротора (рис. 5.7, 5.8) величина  $b_{z21}$  визначається однаково.

$$b_{z21} = \frac{\pi(D - 2\delta - 2h_{\Pi 2} + b'')}{Z_2} - b'',$$

а величина  $b_{z22}$  по-різному:

для напівзакритого (рис. 5.7)  $b_{z22} = \frac{\pi(D - 2\delta - b - 2h_{\Pi 2})}{Z_2} - b$

для закритого (рис. 5.8)

$$b_{z22} = \frac{\pi[D - 2\delta - 2(h_{\Pi 2} + h_m) - b]}{Z_2} - b,$$

**4.2.7.** Магніторушійна сила зубцевого шару ротора, А

$$F_{z2} = 2H_{z2} \cdot h'_{\Pi 2} \cdot 10^{-2} \quad (4.13)$$

Величина напруженості магнітного поля в зубці ротора ( $H_{z2}$ ) визначається аналогічно  $H_{z1}$  за таблицями або за кривими намагнічування з урахуванням

коефіцієнта  $k_{\Pi 2} = \frac{t_2}{b_{z2cp} \cdot k_c}$ .

Для напівзакритих (рис. 5.7) і закритих (рис. 5.8) пазів ротора розрахункова висота паза ротора, см.  $h'_{\Pi 2} = h_{\Pi 2} - 0,1b''$ .

**4.2.8.** Магнітна індукція в спинці статора, Тл

$$B_c = \frac{\Phi}{2h_c \cdot k_c \cdot l_d} \cdot 10^4, \quad (4.14)$$

де  $h_c$  - розрахункова висота спинки статора, см

$$h_c = \frac{D_a - D}{2} - h_{п1}.$$

**4.2.9.** Магніторушійна сила спинки статора, А

$$F_c = H_c \cdot l_c \cdot 10^{-2}, \quad (4.15)$$

де  $l_c$  - довжина середньої магнітної лінії спинки статора, см

$$l_c = \frac{\pi(D_a - h_c)}{2p}.$$

Величина напруженості магнітного поля в спинці статора ( $H_c$ ) визначається за таблицями намагнічування для спинки машин змінного струму (дод. 2, табл. Д2.4, Д2.5, Д2.6).

**4.2.10.** Магнітна індукція в спинці ротора, Тл

$$B_p = \frac{\Phi}{2h_p \cdot k_c \cdot l_d} \cdot 10^4, \quad (4.16)$$

де  $h_p$  - розрахункова висота спинки ротора, см

при  $2p=2, 4$  
$$h_p = \frac{2+p}{3,2 \cdot p} \left( \frac{D-2\delta}{2} - h_{п2} \right) - \frac{2}{3} D_{ка} \cdot N_{ка},$$

при  $2p > 4$  
$$h_p = \frac{D-2\delta - D_B}{2} - h_{п2} - \frac{2}{3} D_{ка} \cdot N_{ка}.$$

При відсутності вентиляційних каналів у роторі -  $N_{ка} = 0$ . Орієнтовані значення індукції в ділянках магнітного кола наведені в табл. 4.3.

Таблиця 4.3

Значення індукції в ділянках магнітного кола

Індукція	$B_\delta$	$B_{z1}$	$B_{z2}$	$B_c$	$B_p$
Значення, Тл	0,6–0,9	1,4–1,9	1,4–2,0	1,2–1,4	1,2–1,4

**4.2.11.** Магніторушійна сила спинки ротора, А

$$F_p = H_p \cdot l_p \cdot 10^{-2}, \quad (4.17)$$

де  $l_p$  - довжина середньої магнітної лінії в спинці ротора, см

при  $2p=2$   $l_p = 2 \cdot h'_p$ ; при  $2p > 2$   $l_p = \frac{\pi(D_B + h'_p)}{2p}.$

Розрахункове значення висоти спинки  $h'_p = \frac{D-2\delta - D_B}{2} - h_{п2}.$

Напруженість магнітного поля в спинці ротора  $H_p$  визначається за таблицями намагнічування для спинки машин перемінного струму (дод. 2, табл. Д2.4, Д2.5, Д2.6).

**4.2.12.** Сумарна МРС магнітного кола машини (на пару полюсів),  $A$

$$F_{\text{кола}} = F_{\text{д}} + F_{z1} + F_{z2} + F_{\text{с}} + F_{\text{р}} \quad (4.18)$$

**4.2.13.** Намагнічувальний струм статора,  $A$

$$I_{\mu} = \frac{p \cdot F_{\text{кола}}}{2,7 \cdot w_1 \cdot k_{o1}} ; \quad I_{\mu}^* = \frac{I_{\mu}}{I_{\text{н1}}} \quad (4.19)$$

Величину  $I_{\mu}^*$  порівняти з припустимими значеннями (табл. 4.4).

Таблиця 4.4

Значення струму холостого ходу АМ -  $100 \frac{I_o}{I_n}$ , %

Потужність двигуна, кВт	Частота обертання, об/хв				
	3000	1500	1000	750	500
0,1–0,5	60	75	85	90	--
0,51–1	50	70	75	80	90
1,1–5	45	65	70	75	85
5,1–10	40	60	65	70	80
10,1–25	30	55	60	65	75
25,1–50	20	50	55	60	70
50,1–100	--	40	45	50	60

**4.2.14.** Коефіцієнт насичення магнітного кола

$$k_{\mu} = \frac{F_{\text{кола}}}{F_{\text{д}}} \quad (4.20)$$

Після виконання даного розділу заповнюється протокол №1 (підрозд. 5.5), виконується розрахунок магнітного кола на ПЕОМ і у випадку дотримання необхідної точності продовжується розрахунок двигуна.

### 4.3. Параметри обмоток двигуна

Визначаються активні й індуктивні опори обмоток статора, ротора, індуктивний опір області намагнічування схеми заміщення АД.

**4.3.1.** Розрахунок коефіцієнта заповнення паза статора.

Коефіцієнт заповнення площі паза голою міддю

$$k_M = \frac{q_{\text{ел}} \cdot n_{\text{ел}} \cdot N_{\text{п}}}{S_{\text{п}}} \leq (0,32 \div 0,38) \quad (4.21)$$

де  $S_{\text{п}}$  - площа паза у світлі, мм<sup>2</sup>

Для паза рис. 5.3

$$S_{\Pi} = 0.5 \cdot [(h_1 + h_2) \cdot (b_1 + b_2) + h_{к1} \cdot (b_2 + b_{ш1})] \cdot 10^2 .$$

Для паза рис. 5.4

$$S_{\Pi} = \left[ \frac{\pi \cdot b_1^2}{8} + 0.5 \cdot (h_1 + h_2) \cdot (b_1 + b_2) \right] \cdot 10^2 .$$

Для паза рис. 5.5

$$S_{\Pi} = \left[ \frac{\pi \cdot b_1^2}{8} + \frac{h_1 - 0,4b_1}{2} \cdot (b_1 + b_2) + \frac{h_{к1}}{2} \cdot (b_2 + b_{ш1}) \right] \cdot 10^2 .$$

Для паза рис. 5.6

$$S_{\Pi} = \left[ \frac{\pi}{8} (b_1^2 + b_2^2) + \frac{h_1 - 0,4b_1}{2} \cdot (b_1 + b_2) \right] \cdot 10^2 .$$

Технологічний коефіцієнт заповнення вільної площі паза ізолюваним провідниковим матеріалом

$$k_{зап} = \frac{d_{із}^2 \cdot n_{ел} \cdot N_{\Pi}}{S'_{\Pi}} \leq (0,68 \div 0,72) , \quad (4.22)$$

де  $S'_{\Pi}$  - вільна площа паза,  $мм^2$

$$S'_{\Pi} = S_{\Pi} - S_{із} - S_{кл} ,$$

де  $S_{із}$  - площа корпусної ізоляції паза,  $мм^2$

$$S_{із} \approx \Pi_{\Pi 1} \cdot b_{ік} \cdot 10^2 ,$$

де  $b_{ік}$  - однобічна товщина ізоляції в пазу статора,  $см$  (табл. Д3.2).

Периметр трапеоїдного паза (рис. 5.3, 5.4),  $см$

$$\Pi_{\Pi 1} = (2h_1 + b_1 + b_2) .$$

Периметр овального напівзакритого паза (рис. 5.5, 5.6),  $см$ .

$$\Pi_{\Pi 1} = \left( 2h_{\Pi 1} + \frac{\pi \cdot b_1}{2} + b_2 \right)$$

$S_{кл}$  - площа паза під клин,  $мм^2$

$$S_{кл} = h_{к1} \cdot \frac{b_2 + b_{ш1}}{2} \cdot 10^2 .$$

При кріпленні обмотки в пазу прокладкою, у вираз для  $S_{кл}$  замість  $h_{к1}$  підставляється величина однобічної ізоляції по ширині паза  $b_{ік}$  (табл. Д3.2).

**4.3.2.** Активний опір фази обмотки статора, приведений до розрахункової робочої температури,  $Ом$

$$r_1 = \frac{\rho_{\text{Cu}} \cdot w_1 \cdot l_{\text{ср1}}}{n_{\text{эл}} \cdot q_{\text{эл}} \cdot a_1} \cdot 10^{-2}, \quad (4.23)$$

де  $\rho_{\text{Cu}}$  - питомий електричний опір міді при розрахунковій робочій температурі. Для обмоток з ізоляцією класу нагрівостійкості “В” при робочій температурі  $t_p = 75^\circ\text{C}$

$\rho_{\text{Cu}} = 0,0217 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2 / \text{м}$ , для обмоток з ізоляцією класу “F” при  $t_p = 115^\circ\text{C}$

$\rho_{\text{Cu}} = 0,0244 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2 / \text{м}$ ;

$l_{\text{ср1}} = 2 (l_{\text{д}} + l_{\text{л1}})$  - середня довжина витка обмотки статора, см

Середня довжина однієї лобової частини котушки, см

$$l_{\text{л1}} \approx (1,16 + 0,14p) \cdot y \cdot \frac{\pi (D + 2h_{\text{л1}})}{Z_1} + 1,5$$

**4.3.3.** Коефіцієнт магнітної провідності пазового розсіяння обмотки статора.

Для напівзакритого трапецоїдного (рис. 5.3) і овального (рис. 5.5) пазів:

$$\lambda_{\text{л1}} = \frac{h_1}{3b_2} \cdot k_\beta + \left( \frac{h_2}{b_2} + \frac{3h_{k1}}{b_2 + b_{\text{ш1}}} + \frac{h_{\text{ш1}}}{b_{\text{ш1}}} \right) \cdot k'_\beta \quad (4.24)$$

Для напівзакритого трапецоїдного (рис. 5.4) і овального (рис. 5.6) пазів:

$$\lambda_{\text{л1}} = \frac{h_1}{3b_2} \cdot k_\beta + \left( 0,785 - \frac{b_{\text{ш1}}}{2b_2} + \frac{h_2}{b_2} + \frac{h_{\text{ш1}}}{b_{\text{ш1}}} \right) \cdot k'_\beta. \quad (4.25)$$

Коефіцієнти  $k_\beta$  і  $k'_\beta$ , що враховують скорочення  $\beta = \frac{y}{\tau}$  кроку двошарових обмоток,

визначаються так:

якщо  $\frac{1}{3} \leq \beta \leq \frac{2}{3}$ , то  $k'_\beta = \frac{6\beta - 1}{4}$ ; при  $\frac{2}{3} \leq \beta < 1$ , то  $k'_\beta = \frac{1 + 3\beta}{4}$ ;

$$k_\beta = \frac{1}{4} + \frac{3}{4} \cdot k'_\beta.$$

При діаметральному кроці двошарових обмоток і для всіх одношарових обмоток  $k_\beta = k'_\beta = 1$ .

**4.3.4.** Коефіцієнт магнітної провідності диференціального розсіяння обмотки статора

$$\lambda_{\text{д1}} = \frac{0,9t_1 (q_1 \cdot k_{o1})^2 \cdot k_{\text{рТ1}} \cdot k_{\text{ш1}} \cdot k_{\text{д1}}}{\delta \cdot k_\delta}, \quad (4.26)$$

де  $q_1$ ,  $t_1$ ,  $k_{o1}$ ,  $k_\delta$  - визначені раніше;

$k_{pT1}$  - коефіцієнт, що враховує демпфіруючу дію струмів, наведених в обмотці короткозамкненого ротора вищими гармоніками поля статора. Приймається за табл. 4.5 залежно від значень  $Z_2/p$ ;

Таблиця 4.5

Значення коефіцієнта  $k_{pT1}$

$q_1$	$Z_2/p$						
	10	15	20	25	30	35	40
2	0,99 / 0,94	0,94 / 0,87	—	—	—	—	—
3	0,98 / 0,92	0,93 / 0,87	0,88 / 0,84	0,85 / 0,78	—	—	—
4	—	0,90 / 0,81	0,84 / 0,77	0,80 / 0,75	0,77 / 0,72	—	—
5	—	—	—	0,75 / 0,69	0,72 / 0,67	0,70 / 0,65	—
6	—	—	—	0,70 / 0,62	0,66 / 0,60	0,62 / 0,58	—
8	—	—	—	—	—	0,53 / 0,47	0,51 / 0,46

Примітка. У чисельнику вказані значення  $k_{pT1}$  для машин зі **скосом** пазів на роторі ( $b_{ск} \neq 0$ ); у знаменнику – **без скосу** ( $b_{ск} = 0$ ).

$k_{ш1}$  - коефіцієнт, що враховує вплив відкриття пазів статора на провідність диференціального розсіювання

$$k_{ш1} = 1 - 0,033 \frac{b_{ш1}^2}{t_1 \cdot \delta} ;$$

$k_{д1}$  - коефіцієнт диференціального розсіювання обмотки статора (табл. 4.6).

**4.3.5.** Коефіцієнти магнітної провідності розсіювання лобових частин обмотки статора  
Для одношарових двоплоскісних і простій шаблонний обмоток

$$\lambda_{л1} = 0,67 \cdot \frac{q_1}{l_\delta} \cdot (l_{л1} - 0,64 \cdot \tau) \quad (4.27)$$

Для одношарових триплоскісних обмоток

$$\lambda_{л1} = 0,47 \cdot \frac{q_1}{l_\delta} \cdot (l_{л1} - 0,64 \cdot \tau) \quad (4.28)$$

Для петльових, хвильових двошарових обмоток, одношарових петльових і шаблонних в розвал

$$\lambda_{л1} = 0,34 \cdot \frac{q_1}{l_\delta} \cdot (l_{л1} - 0,64 \cdot \beta \cdot \tau) . \quad (4.29)$$

**4.3.6.** Індукційний опір розсіювання однієї фази обмотки статора,  $O_m$

$$x_1 = 15,8 \cdot \frac{f_1 \cdot l_{\text{д}} \cdot w_1^2}{p \cdot q_1} (\lambda_{\text{п1}} + \lambda_{\text{д1}} + \lambda_{\text{л1}}) \cdot 10^{-8} \quad (4.30)$$

Таблиця 4.6

Значення коефіцієнта  $k_{\text{д1}}$  АД з КЗ ротором

Двошарова обмотка зі скороченим кроком				Одношарова обмотка з діаметральним кроком			
$q_1$	$k_{\text{д1}}$	$q_1$	$k_{\text{д1}}$	$q_1$	$k_{\text{д1}}$	$q_1$	$k_{\text{д1}}$
1,5	0,0450	4	0,0062	1,5	—	4	0,0089
2	0,0450	5	0,0043	2	0,0285	5	0,0065
2,5	0,0170	6	0,0030	2,5	—	6	0,0052
3	0,0111	8	0,0021	3	0,0141	8	—

4.3.7. Активний опір стрижня ротора, приведений до робочої температури, Ом

$$r_2 = \frac{\rho_{\text{ал}} \cdot l_2}{q_c} \cdot 10^{-2}, \quad (4.31)$$

де  $\rho_{\text{ал}}$  - питомий електричний опір литої алюмінієвої обмотки.

Клас ізоляції "B", $t_p = 75^\circ\text{C}$	Клас ізоляції "F", $t_p = 115^\circ\text{C}$
$\rho_{\text{ал}} = 0,044 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2 / \text{м}$	$\rho_{\text{ал}} = 0,05 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2 / \text{м}$

4.3.8. Активний опір ділянки короткозамкненого кільця між двома сусідніми стрижнями при розрахунковій робочій температурі, приведений до струму статора, Ом.

$$r_{\text{к}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot D_{\text{к}} \cdot \rho_{\text{ал}}}{Z_2 \cdot q_{\text{к}} \cdot 4 \sin^2 \left( \frac{180^\circ \cdot p}{Z_2} \right)} \cdot 10^{-2}, \quad (4.32)$$

де  $D_{\text{к}} = D - 2\delta - a_{\text{к}}$  - середній діаметр короткозамкненого кільця, см; $q_{\text{к}} = a_{\text{к}} \cdot b_{\text{к}} \cdot 10^2$  - перетин кільця, мм<sup>2</sup>.

4.3.9. Активний опір обмотки ротора, Ом

$$r_2 = r_c + r_{\text{к}} \quad (4.33)$$

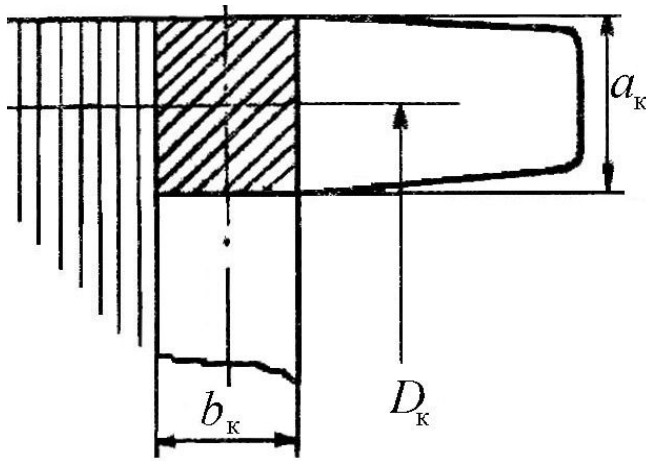


Рис. 4.2  
Розміри  
коротко-  
замкненого  
кільця ротора  
з литою кліткою

**4.3.10.** Активний опір обмотки ротора, приведений до обмотки статора, Ом

$$r_2' = k_{\text{пр1}} \cdot r_2, \quad (4.34)$$

де  $k_{\text{пр1}} = \frac{12}{Z_2} \cdot \left( \frac{w_1 \cdot k_{o1}}{k_{\text{ск}}} \right)^2$  - коефіцієнт приведення опору обмотки ротора до обмотки статора.

**4.3.11.** Коефіцієнт магнітної провідності пазового розсіяння ротора:

- для напівзакритого паза (рис. 5.7)

$$\lambda_{\text{п2}} = C_{\lambda 2} - \frac{b_{\text{ш2}}}{2b} + \frac{h_{\text{ш}}}{b_{\text{ш}}}; \quad (4.35)$$

- для закритого паза (рис. 5.8)

$$\lambda_{\text{п2}} = C_{\lambda 2} - \frac{b_{\text{м}}}{2b} + C_{\lambda 3} + 1,12 \cdot \frac{h_{\text{ш2}}}{I_2} \cdot 10^4, \quad (4.36)$$

де 
$$C_{\lambda 2} = \left[ \frac{h_{12} + 0,4b''}{3b} \left( 1 - \frac{\pi \cdot b^2 \cdot 10^2}{8q_c} \right)^2 + 0,66 \right]$$

$C_{\lambda 3} = 0,3$  для паза рис. 5.8, а;  $C_{\lambda 3} = \frac{h_{\text{м}}}{b_{\text{м}}}$  для паза рис. 5.8, б;

$I_2 = 0,85 I_{1н} \cdot \frac{6w_1 \cdot k_{o1}}{Z_2 \cdot k_{\text{ск}}} \cdot \sqrt{1 - (I_{\mu}^*)^2}$  - попереднє значення номінального струму

в стрижні ротора, А.

**4.3.12.** Коефіцієнт магнітної провідності диференціального розсіяння ротора

$$\lambda_{\text{д2}} = 0,9 \cdot t_2 \cdot \left( \frac{Z_2}{6p} \right)^2 \cdot \frac{k_{\text{д2}}}{\delta \cdot k_{\text{д}}}, \quad (4.37)$$



де  $k_{д2}$  - коефіцієнт диференціального розсіяння обмотки ротора за рис. 4.3 залежно від  $q_2 = Z_2/6p$

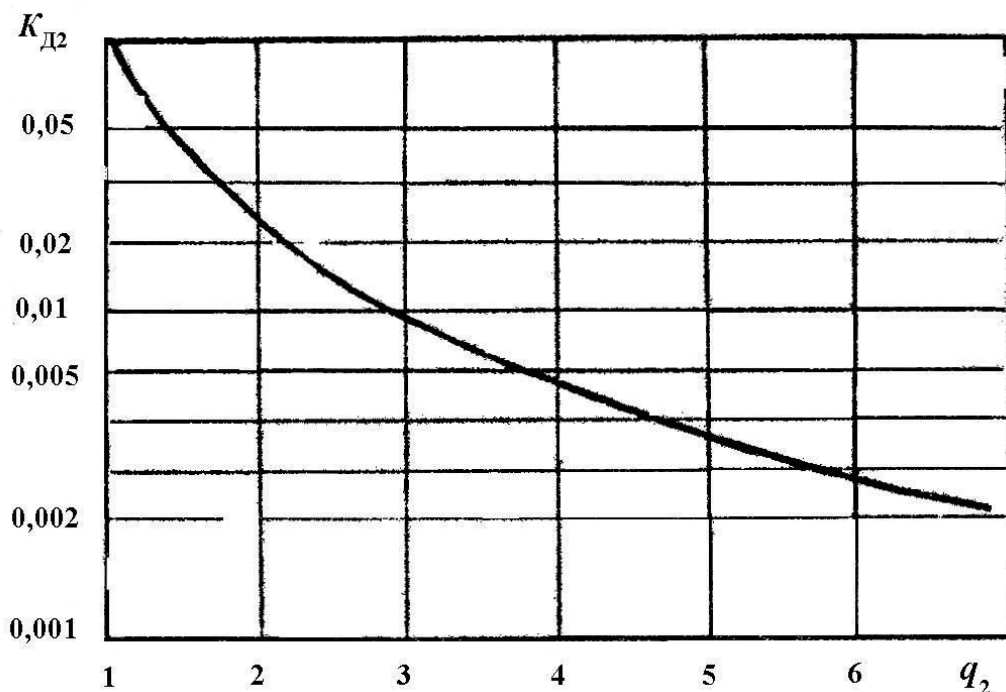


Рис. 4.3  
До  
визначення  
коефіцієнта  
 $k_{д2}$

**4.3.13.** Коефіцієнт магнітної провідності розсіяння короткозамикаючих кілець литої клітки ротора

$$\lambda_{л2} = \frac{2,3D_K}{Z_2 \cdot l_2 \cdot 4 \sin^2 \left( 180^\circ \cdot \frac{p}{Z_2} \right)} \cdot l_g \frac{4,7D_K}{a_K + 2b_K}, \quad (4.38)$$

**4.3.14.** Коефіцієнт магнітної провідності скошу пазів (при скошених пазах на роторі)

$$\lambda_{ск2} = \frac{b_{ск}^2}{9,5 \cdot t_2 \cdot \delta \cdot k_{д} \cdot k_{\mu}} \quad (4.39)$$

**4.3.15.** Індуктивний опір розсіяння обмотки ротора, Ом

$$x_2 = 7,9 \cdot f_1 \cdot l_2 \left( \lambda_{п2} + \lambda_{л2} + \lambda_{д2} + \lambda_{ск2} \right) \cdot 10^{-8}, \quad (4.40)$$

приведений до обмотки статора, Ом

$$x'_2 = x_2 \cdot k_{пр1} \quad (4.41)$$

**4.3.16.** Опір взаємодукції, Ом

$$x_m = \frac{k_e \cdot U_H}{I_{\mu}}$$

Для початку роботи на ПЕОМ заповнюється протокол №2 (підрозд. 5.5).

#### 4.4. Втрати та ККД асинхронного двигуна

У цьому розділі визначаються величини складових втрат у двигуні при номінальному навантаженні.

#### 4.4.1. Основні магнітні втрати в спинці статора, $Bm$

$$\Delta p_{cc} = 1,6 \cdot \Delta p_{1/50} \cdot B_c^2 \cdot G_{c1} \cdot \left(\frac{f_1}{50}\right)^\beta, \quad (4.42)$$

де  $G_{c1}$  - розрахункова маса спинки статора, кг

$$G_{c1} = 7,8 \cdot \pi \cdot l_\delta \cdot k_c \cdot h_c \cdot (D_a - h_c) \cdot 10^{-3}$$

$\Delta p_{1/50}$  - питомі магнітні втрати, тобто втрати, що мають місце в 1 кг сталі, при намагнічуванні з частотою 50 Гц у магнітному полі з індукцією 1.0 Тл

#### 4.4.2. Основні магнітні втрати в зубцях статора, $Bm$

$$\Delta p_{cz} = 1,8 \cdot \Delta p_{1/50} \cdot B_{z1}^2 \cdot G_{z1} \cdot \left(\frac{f_1}{50}\right)^\beta, \quad (4.43)$$

де  $G_{z1} = 7,8 \cdot l_\delta \cdot k_c \cdot h_{n1} \cdot b_{z1cp} \cdot Z_1 \cdot 10^{-3}$  - розрахункова маса зубцевого шару, кг

У табл. 4.7 наведені значення питомих втрат і показника для деяких марок електротехнічних сталей.

Таблиця 4.7

Значення питомих втрат  $\Delta p_{1/50}$  і показника  $\beta$

Марка сталі	$\Delta p_{1/50}, Bm/kg$	$\beta$
2013	2.50	1.50
2211	2.60	1.50
2312	1.75	1.40
2411	1.60	1.30

#### 4.4.3. Основні магнітні втрати в двигуні, $Bm$

$$\Delta p_{ст} = \Delta p_{ст1} + \Delta p_{cc} + \Delta p_{cz}, \quad (4.44)$$

#### 4.4.4. Електричні втрати в обмотці статора, $Bm$

$$\Delta p_{e1} = m_1 \cdot I_1^2 \cdot r_1, \quad (4.45)$$

#### 4.4.5. Електричні втрати в обмотці ротора, $Bm$

$$\Delta p_{e2} = Z_2 \cdot I_2^2 \cdot r_2, \quad (4.46)$$

де  $I_2$  з п. 4.3.11.

#### 4.4.6. Механічні втрати, $Bm$

Для двигуна зі ступенем захисту **IP44**

$$\Delta p_{мех} = k_T \cdot \left(n_1 \cdot 10^{-3}\right)^2 \cdot (0,1D)^4, \quad (4.47)$$

де  $k_T = 1,3 \cdot \left(1 - \frac{D}{100}\right)$  при  $2p \geq 4$ ; і  $k_T = 1$  при  $2p = 2$ .

Для двигунів зі ступенем захисту **IP23**

$$\Delta p_{\text{мех}} = k_T \cdot (n_1 \cdot 10^{-3})^2 \cdot (0,1D)^3, \quad (4.48)$$

Значення коефіцієнта  $k_T$  приймається залежно від внутрішнього діаметра осердя статора і числа пар полюсів

$2p = 2$		$2p > 2$	
$D < 250 \text{ мм}$	$D > 250 \text{ мм}$	$D < 250 \text{ мм}$	$D > 250 \text{ мм}$
$k_T = 5$	$k_T = 6$	$k_T = 6$	$k_T = 7$

4.4.7. Додаткові втрати при номінальному навантаженні двигуна,  $Вт$

$$\Delta p_{\text{дод}} = 0,005 P_{2H} \cdot 10^3. \quad (4.49)$$

Для довільного навантаження  $\Delta p_{\text{дод}i} = \Delta p_{\text{дод}} \cdot \left( \frac{P_2}{P_{2H}} \right)^2$

4.4.8. Сумарні втрати,  $кВт$

$$\sum \Delta p = (\Delta p_{\text{ст1}} + \Delta p_{\text{е1}} + \Delta p_{\text{е2}} + \Delta p_{\text{мех}} + \Delta p_{\text{дод}}) \cdot 10^3. \quad (4.50)$$

4.4.9. Споживана двигуном потужність,  $кВт$

$$P_1 = P_{2H} + \sum \Delta p \quad (4.51)$$

4.4.10. Коефіцієнт корисної дії

$$\eta_H = \frac{P_{2H}}{P_1} \quad (4.52)$$

До початку роботи на ПЕОМ заповнюється протокол №3 (підрозд. 5.5)

## 4.5. Робочі характеристики двигуна

В основу аналітичного методу розрахунку робочих характеристик асинхронного двигуна покладена схема заміщення з винесеним намагнічувальним контуром (Г-подібна схема). Розрахунок виконується для номінального навантаження.

4.5.1. Повна механічна потужність при обраному навантаженні,  $Вт$

$$P_2' = P_{2H} \cdot 10^3 + \Delta p_{\text{дод}} + \Delta p_{\text{мех}} \quad (4.53)$$

4.5.2. Ковзання при обраному навантаженні

$$s_H = \frac{\left[ A - \sqrt{A^2 - R_2' \cdot R_2''} \right]}{R_2''}, \quad (4.54)$$

де  $A$  є функцією повної механічної потужності  $P_2'$

$$A = \frac{3U_H^2}{2P_2'} - r_1;$$

$R_2'$  і  $R_2''$  - розрахункові опори,  $Ом$

$$R'_2 = r'_2 \left[ \left( \frac{r_1}{x_m} \right)^2 + \left( 1 + \frac{x_1}{x_m} \right)^2 \right]$$

$$R''_2 = r'_2 \left\{ \left[ \frac{r_1}{r'_2} \left( 1 + \frac{x'_2}{x_m} \right) \right]^2 + \left[ \frac{x_1}{r'_2} \left( 1 + \frac{x'_2}{x_m} \right) + \frac{x'_2}{r'_2} \right]^2 \right\} + 2A.$$

**4.5.3.** Еквівалентний опір робочого кола схеми заміщення, по якій проходить струм  $I''_2 = \frac{I'_2}{c_1}$ , Ом

$$Z_{\text{екв}} = \sqrt{r_{\text{екв}}^2 + x_{\text{екв}}^2}, \quad (4.55)$$

де  $r_{\text{екв}} = c_1 \cdot r_1 + \frac{c_1^2 \cdot r'_2}{s_H}$ ;  $x_{\text{екв}} = c_1 \cdot x_1 + c_1^2 x'_2$ ,  $c_1 = 1 + \frac{x_1}{x_m}$  - коефіцієнт

приведення.

**4.5.4.** Приведене значення струму в обмотці ротора, А

$$I'_2 = c_1 \cdot I''_2, \quad (4.56)$$

де  $I''_2 = \frac{U_H}{Z_{\text{екв}}}$  - струм у робочому колі схеми заміщення.

**4.5.5.** Коефіцієнт потужності в робочому колі схеми заміщення

$$\cos \varphi_2 = r_{\text{екв}} / Z_{\text{екв}} \quad (4.57)$$

**4.5.6.** Активна складова струму  $I''_2$ , А

$$I''_{2a} = I''_2 \cdot \cos \varphi_2 \quad (4.58)$$

**4.5.7.** Реактивна складова струму  $I''_2$ , А

$$I''_{2p} = I''_2 \cdot \sin \varphi_2 \quad (4.59)$$

**4.5.8.** Активна складова струму статора, А

$$I_{1a} = I_{0a} + I''_{2a}, \quad (4.60)$$

де  $I_{0a} = \frac{\Delta p_{\text{ст1}} + 3I_{\mu}^2 \cdot r_1}{3U_H}$  - активна складова струму ідеального холостого ходу.

**4.5.9.** Реактивна складова струму статора, А

$$I_{1p} = I_{0p} + I''_{2p}, \quad (4.61)$$

де  $I_{0p} = I_{\mu}$  - реактивна складова струму ідеального холостого ходу.

**4.5.10.** Струм статора асинхронного двигуна, А

$$I_{1H} = \sqrt{I_{1a}^2 + I_{1p}^2} \quad (4.62)$$

**4.5.11.** Коефіцієнт потужності двигуна

$$\cos \varphi_1 = I_{1a} / I_{1H} \quad (4.63)$$

**4.5.12.** Споживана двигуном потужність,  $Bm$

Електричні втрати  $\Delta p_{e1} = 3I_{1H}^2 \cdot r_1$ ,  $\Delta p_{e2} = 3I_2'^2 \cdot c_1^2 \cdot r_2'$ .

$$P_{1H} = P_{2H} \cdot 10^3 + \Delta p_{ст} + \Delta p_{e1} + \Delta p_{e2} + \Delta p_{мех} + \Delta p_{дод} \quad (4.64)$$

**4.5.13.** Частота обертання ротора,  $об/хв$

$$n_{2H} = n_1(1 - s_H) = \frac{60f_1}{p}(1 - s_H) \quad (4.65)$$

**4.5.14.** ККД при обраному навантаженні, в. о.

$$\eta = P_{2H} / P_{1H} \quad (4.66)$$

**4.5.15.** Електромагнітний момент,  $Hm$

$$M = 9,55 \frac{P_2'}{n_{2H}} \quad (4.67)$$

**4.5.16.** Номінальний момент на валу двигуна,  $Hm$

$$M_H = 9,55 \cdot \frac{P_{2H}}{n_{2H}} \cdot 10^3 \quad (4.68)$$

#### 4.6. Побудова механічної характеристики $M = f(s)$

У результаті виконання даного розділу може бути отримана залежність електромагнітного моменту від ковзання, що характеризує пуск і розгін двигуна. З метою спрощення прийнято  $c_1 = 1$ .

**4.6.1.** Максимальний електромагнітний момент, в. о.

$$M_m = \frac{3p \cdot U_H^2}{4\pi \cdot f_1 \left[ r_1 + \sqrt{r_1^2 + (x_1 + x_2')^2} \right]} \cdot \frac{1}{M_H} \quad (4.69)$$

**4.6.2.** Критичне ковзання

$$s_{кр} = \frac{r_2'}{\sqrt{r_2'^2 + (x_1 + x_2')^2}} \quad (4.70)$$

**4.6.3.** Механічна характеристика за формулою Клосса

$$M = M_m \frac{2 \left( 1 + s_{кр} \frac{r_1}{r_2'} \right)}{\frac{s}{s_{кр}} + \frac{s_{кр}}{s} + 2s_{кр} \frac{r_1}{r_2'}} \approx M_m \frac{2}{\frac{s}{s_{кр}} + \frac{s_{кр}}{s}} \quad (4.71)$$

Результати розрахунку заносяться в табл. 4.8.

Таблиця 4.8

$s$	0	$s_{кр}$	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
$M$	0	$M_m$											

4.6.4. Струм, споживаний двигуном у режимі пуску,  $A$

$$I_1 \approx I_2' = \frac{U_H}{\sqrt{(r_1 + r_2')^2 + (x_1 + x_2')^2}} \quad (4.72)$$

4.6.5. Побудова отриманої механічної характеристики виконується на роздруківках пускових характеристик, виконаних на ПЕОМ з урахуванням зміни параметрів двигуна через насичення і витиснення. При зіставленні характеристик треба проаналізувати причини їхньої розбіжності, зіставити значення пускових струмів, отриманих у результаті ручного і машинного розрахунків.

4.6.6. Задатися значенням напруги живлення  $U'$ , меншим номінального значення  $U_H$ , і визначити величину максимального моменту, що відповідає напрузі  $U'$  -

$$M'_m = M_m \left( \frac{U'}{U_H} \right)^2.$$

Використовуючи (4.71), розрахувати залежність  $M' = f(s)$  і побудувати на одному графіку характеристики  $M = f(s)$  і  $M' = f(s)$ .

Визначити зміну частоти обертання двигуна за умови  $M_H = const$

4.6.7. Задатися значенням питомого опору матеріалу ротора ( $\rho' > \rho$ ) і визначити

$$\text{значення критичного ковзання } s'_{кр} = s_{кр} \left( \frac{\rho'}{\rho} \right).$$

За (4.71) розрахувати залежність  $M' = f(s)$  і побудувати на одному графіку характеристики  $M = f(s)$  і  $M' = f(s)$ . Визначити зміну частоти обертання двигуна за умови  $M_H = const$ .

4.6.8. Проаналізувати вплив зміни частоти напруги живлення на індуктивні параметри і залежність  $M(s)$ . При новому значенні частоти напруги  $f_{1нов}$

$$x_{1нов} = x_1 \cdot \frac{f_{1нов}}{f_1}; \quad x'_{2нов} = x'_2 \cdot \frac{f_{1нов}}{f_1}.$$

За (4.69, 4.70) визначити значення  $M'_m$ ,  $s'_{кр}$ ; за (4.71) розрахувати залежність  $M' = f(s)$  і побудувати на одному графіку  $M = f(s)$  та  $M' = f(s)$ . Визначити зміну частоти обертання двигуна за умови  $M_H = const$ .

Усі розрахунки за п. п. 4.6.6...4.6.8 представляються в табличній формі (табл. 4.8). За завданням керівника проекту розрахунки можуть бути виконані з застосуванням ПЕОМ.

## 4.7. Тепловий розрахунок

Задача теплового розрахунку складається у визначенні перевищення температури різних частин машини. Результати теплового розрахунку показують правильність вибору електромагнітних навантажень, підтверджують можливість застосування в машині електроізоляційних матеріалів прийнятого класу нагрівостійкості ізоляції.

Фізична картина теплових процесів в електричних машинах дуже складна, точне визначення розподілу температури шляхом теплового розрахунку практично неможливо, тому при проектуванні звичайно обмежуються наближеним тепловим розрахунком із застосуванням ряду коефіцієнтів, значення яких установлені досвідом практики.

Спрощений тепловий розрахунок, що виконується для номінального навантаження, визначає середнє перевищення температури обмотки статора (як найбільш нагрітої частини машини) над температурою навколишнього середовища.

**4.7.1.** Перевищення температури внутрішньої поверхні осердя статора над температурою повітря усередині двигуна, °C

$$\Delta\theta_{\text{пов1}} = \frac{k \cdot (\Delta p_{\text{еп1}} + \Delta p_{\text{с}})}{\pi (D \cdot l_{\delta} \cdot 10^{-4}) \cdot \alpha_1}, \quad (4.73)$$

де  $\Delta p_{\text{еп1}}$  - електричні втрати в пазовій частині обмотки статора, *Вт*

$$\Delta p_{\text{епF}} = k_p \cdot \Delta p_{\text{ел}} \cdot \frac{2l_{\delta}}{l_{\text{сп1}}},$$

$k_p$  - коефіцієнт збільшення втрат порівняно з отриманими для розрахункової температури

Клас ізоляції	<i>B</i>	<i>F</i>	<i>H</i>
$k_p$	1,15	1,07	1,45

$k$  - коефіцієнт, враховуючий частку втрат у осерді статора, переданих повітрям усередину двигуна (табл. 4.9)

Таблиця 4.9

Значення коефіцієнта  $k$

Виконання двигуна	Число полюсів двигуна $2p$					
	2	4	6	8	10	12
IP44	0,22	0,2	0,19	0,18	0,17	0,16
IP23	0,84	0,8	0,78	0,76	0,74	0,72

$\alpha_1$  - коефіцієнт тепловіддачі з поверхні осердя статора в залежності від виконання (рис. 4.4), *Вт/(м<sup>2</sup> °C)*.

**4.7.2.** Перепад температури в ізоляції пазової частини обмотки статора, °C ,

$$\Delta\theta_{\text{из.п1}} \equiv \frac{\Delta p_{\text{еп1}}}{Z_1 \cdot \Pi_{\text{п1}} \cdot l_{\delta}} \left( \frac{b_{\text{ИК}}}{\lambda_{\text{ЕКВ}}} + \frac{b_1 + b_2}{16\lambda'_{\text{ЕКВ}}} \right) \cdot 10^2, \quad (4.74)$$

де  $\Pi_{\text{п1}}$  - розрахунковий периметр поперечного перерізу паза статора, см. (п. 4.3.1);

$b_{\text{ИК}}$  - однобічна товщина ізоляції в пазу статора (дод. 6), см;

$\lambda_{\text{ЕКВ}}$  - середня еквівалентна провідність пазової ізоляції, для класів нагрівостійкості В, F, H  $\lambda_{\text{ЕКВ}} = 0,16 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ;

$\lambda'_{\text{ЕКВ}}$  - середнє значення коефіцієнта теплопровідності внутрішньої ізоляції котушки всипної обмотки (рис. 4.5).

**4.7.3.** Перепад температури по товщині ізоляції лобових частин,  $^\circ\text{C}$

$$\Delta\theta_{\text{из.л1}} \equiv \frac{\Delta p_{\text{елоб1}}}{2Z_1 \cdot \Pi_{\text{лоб1}} \cdot l_{\text{л1}}} \cdot \left( \frac{b_{\text{ИЛ}}}{\lambda_{\text{ЕКВ}}} + \frac{h_{\text{п1}}}{12\lambda'_{\text{ЕКВ}}} \right) \cdot 10^2, \quad (4.75)$$

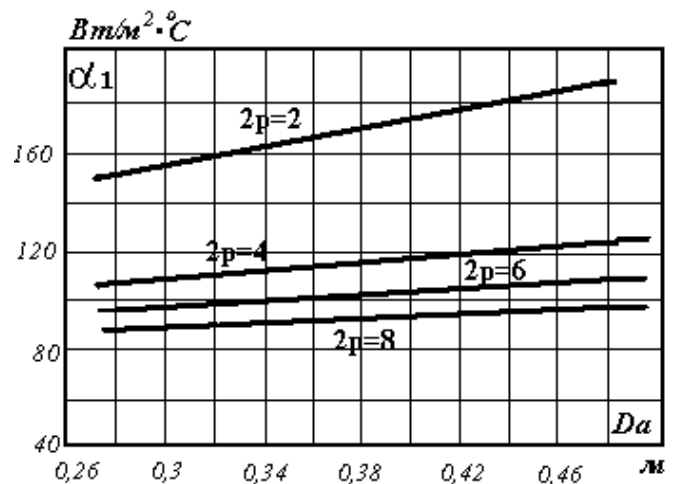
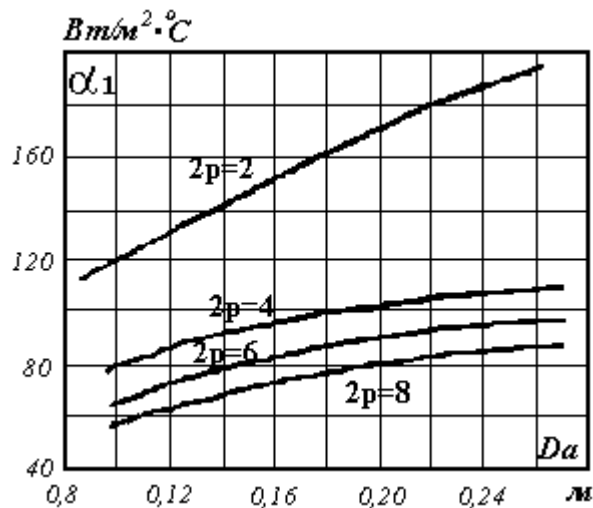
де  $\Pi_{\text{лоб1}}$  - периметр умовної поверхні охолодження лобової частини однієї котушки,

$\Pi_{\text{лоб1}} = \Pi_{\text{п1}}$ ;

$$\Delta p_{\text{елоб1}} = k \cdot \Delta p_{\text{ел}} \cdot 2 \frac{l_{\text{л1}}}{l_{\text{сп1}}};$$

$b_{\text{ИЛ}}$  - однобічна товщина ізоляції лобової частини котушки, у розрахунках приймається  $b_{\text{ИЛ}} = b_{\text{ИК}}$ ;

$\lambda'_{\text{ЕКВ}}$  - для всипної обмотки з круглого проводу (рис. 4.5)





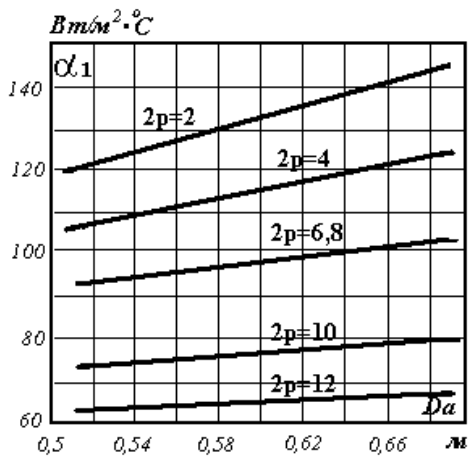
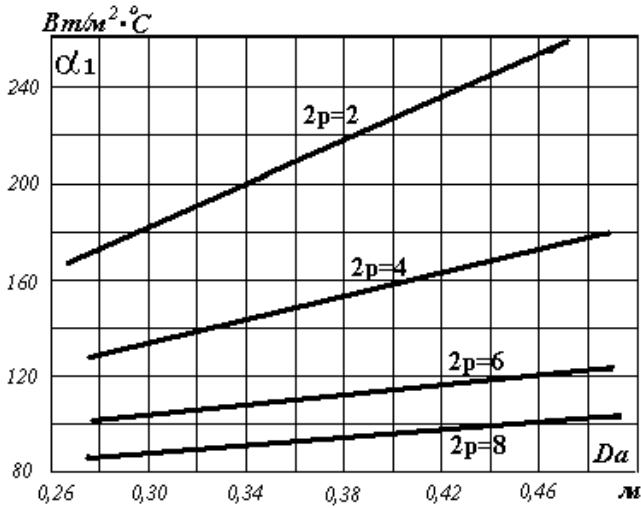


Рис. 4.4  
Середнє значення коефіцієнтів  
тепловіддачі з поверхні:  
а - виконання IP44;  
б - виконання IP23

а



б

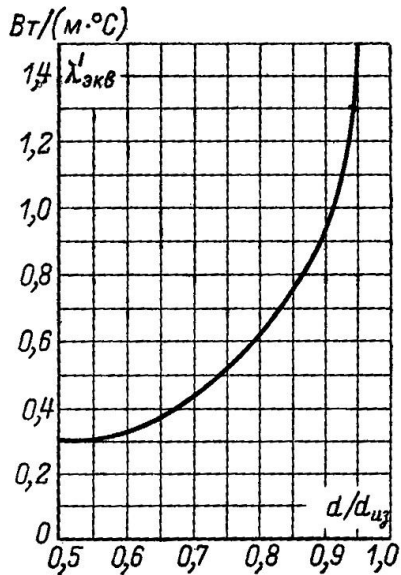
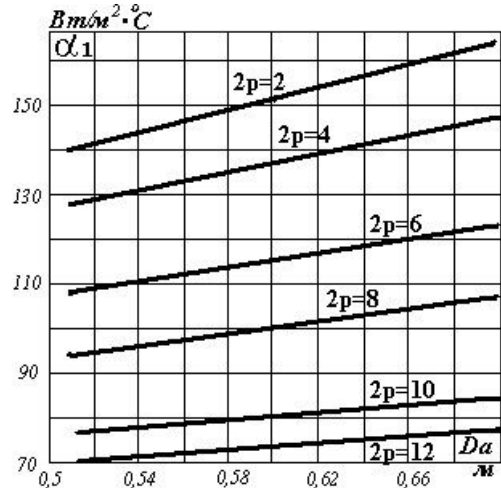


Рис.4.5. Значення коефіцієнтів  
теплопровідності внутрішньої  
ізоляції котушок всипної обмотки

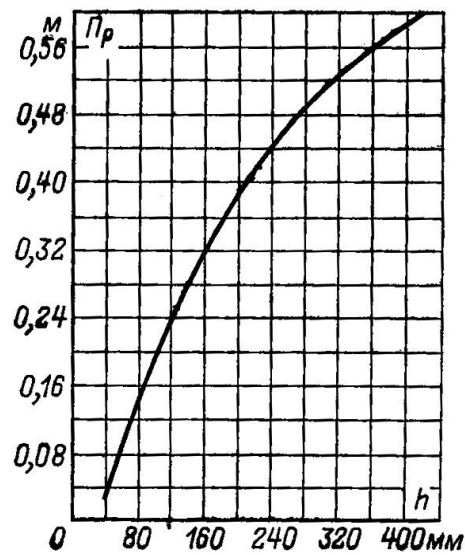


Рис. 4.6. Значення периметра  
поперечного перерізу ребер  
асинхронних двигунів серії 4А

4.7.4. Перевищення температури зовнішньої поверхні лобових частин над температурою повітря усередині машини, °C

$$\Delta\theta_{\text{пов.л1}} = \frac{k \cdot \Delta p_{\text{елоб1}}}{2\pi \cdot \left(D \cdot l_{\text{вил1}} \cdot 10^{-4}\right) \cdot \alpha_1}, \quad (4.76)$$

де  $k$  приймається за табл. 4.9;

$l_{\text{вил1}}$  - довжина вильоту лобової частини обмотки, см

$$l_{\text{вил1}} = k_{\text{вил1}} \cdot b_{\text{кг}} + B.$$

Середня ширина котушки, см

$$b_{\text{кг}} = \pi (D + 2h_{\text{п1}}) \cdot \frac{\beta}{2p},$$

де  $\beta$  - відносне укорочення кроку;  $B$  - довжина вильоту прямолінійної ділянки котушки від торця осердя до вигину лобової частини, см. Для виспних обмоток, що укладаються в пази до запресовування осердя в корпус,  $B = 1$  см. Якщо обмотка укладається в статор після запресовування осердя в корпус, то  $B = 1,5$  см.

$k_{\text{вил1}}$  - коефіцієнт, значення якого береться з табл. 4.10.

Таблиця 4.10

Значення коефіцієнта  $k_{\text{вил1}}$

$2p$	Лобові частини неізолювані	Лобові частини ізолювані
2	0,26	0,44
4	0,40	0,50
6	0,50	0,62
8	0,50	0,72

4.7.5. Середнє перевищення температури обмотки статора над температурою повітря усередині машини, °C

$$\Delta\theta_{\text{обм1}} = (\Delta\theta_{\text{пов1}} + \Delta\theta_{\text{ізп1}}) \cdot \frac{2l_{\text{д}}}{l_{\text{ср1}}} + (\Delta\theta_{\text{ізл1}} + \Delta\theta_{\text{пов.л1}}) \cdot \frac{2l_{\text{л1}}}{l_{\text{ср}}} \quad (4.77)$$

4.7.6. Середнє перевищення температури повітря усередині двигуна над температурою охолодного середовища, °C

$$\Delta\theta_{\text{в}} = \frac{\sum \Delta p_{\text{в}}}{S_{\text{корп}} \cdot \alpha_{\text{в}}}, \quad (4.78)$$

де  $\alpha_{\text{в}}$  - коефіцієнт підігріву повітря за рис. 4.7,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ ;

$\sum \Delta p_B$  - сума втрат, що відводяться у повітря усередині двигуна, Вт:

• Для двигуна зі ступенем захисту IP23

$$\sum \Delta p_{\bar{B}} = \sum \Delta p' - (1 - k)(\Delta p_{eП1} + \Delta p_{ст}) \quad (4.79)$$

$$\sum \Delta p' = \sum \Delta p + (k_p - 1)(\Delta p_{e1} + \Delta p_{e2}), \quad (4.80)$$

де  $\sum \Delta p$  - сума усіх втрат у двигуні при номінальному режимі і розрахунковій температурі (4.50);

$S_{корп} = \pi D_a (l_d + 2l_{вил1}) \cdot 10^{-4}$  - еквівалентна поверхня охолодження корпусу, м<sup>2</sup>.

• Для двигунів зі ступенем захисту IP44

$$\sum \Delta p_B \cong \sum \Delta p' - (1 - k)(\Delta p_{eП1} + \Delta p_{ст}) - 0,9 \cdot \Delta p_{мех}, \quad (4.81)$$

де  $\sum \Delta p'$  - за формулою (4.80)

$$S_{корп} = (\pi D_a + 8P_p \cdot 10^2) \cdot (l_d + 2l_{вил1}) \cdot 10^{-4},$$

де  $P_p$  - умовний периметр поперечного переріза ребер станини, визначається за рис. 4.6.

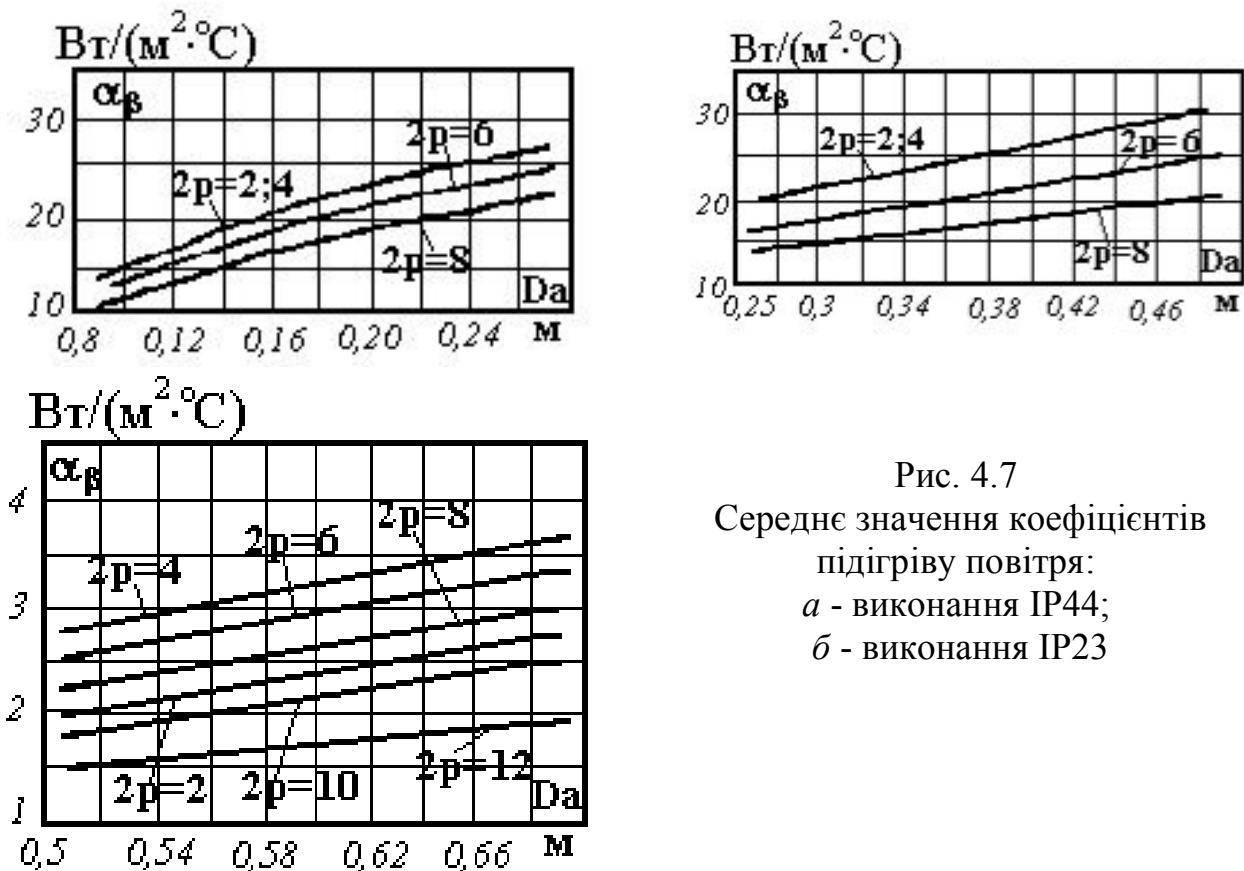
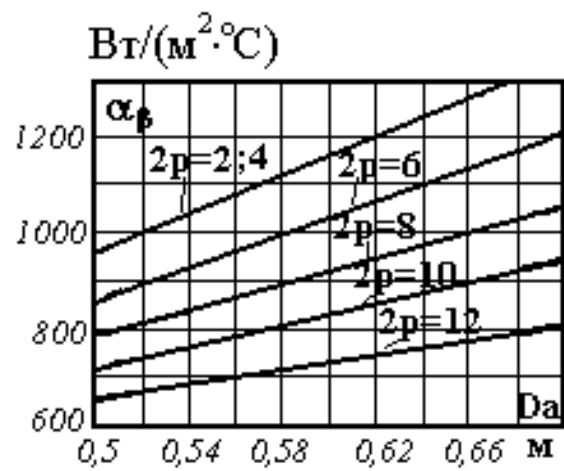
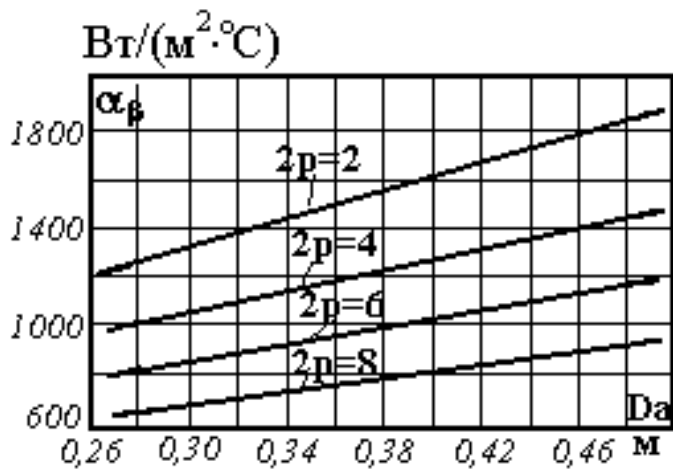


Рис. 4.7  
Середнє значення коефіцієнтів підігріву повітря:  
а - виконання IP44;  
б - виконання IP23

a



б

4.4.7. Середнє підвищення температури обмотки статора і температури сталі над температурою навколишнього середовища, °С

$$\Delta\theta_1 \quad \Delta\theta'_{обм1} + \Delta\theta_{в}; \quad \Delta\theta_{ст} \quad \Delta\theta_{пов1} + \Delta\theta_{в} \quad (4.82)$$

Отримані значення перевищення температури повинні бути в межах припустимого для прийнятого класу нагрівостійкості за ДСТ 183-74 і звичайно (через наближений характер розрахунку) повинні бути принаймні на 10% менше за перевищення температури, що допускається для прийнятого класу ізоляції.

До початку роботи на ПЕОМ результати теплового розрахунку заносяться до протоколу №4.

#### 4.8. Розрахунок масовартісних показників

У даному розділі здійснюється розрахунок мас активних матеріалів, вартостей втрат активної енергії, компенсації реактивної енергії.

4.8.1. Маса обмотувального проводу обмотки статора без ізоляції, кг

$$G_{M1} = Z_1 \cdot N_{\Pi} \cdot n_{эл} \cdot q_{эл} \cdot l_{ср} \cdot \gamma_M \cdot 10^{-5}, \quad (4.83)$$

де  $N_{\Pi}$  - число ефективних провідників у пазу;  $n_{эл}$  - число елементарних провідників в ефективному;  $q_{эл}$  - перетин елементарного провідника,  $мм^2$ ;  $l_{ср} = 0,5l_{ср1}$  - середня довжина половини витка обмотки статора,  $см$ ;  $\gamma_M = 8,9 \text{ г/см}^3$  - питома маса міді.

4.8.2. Маса алюмінію короткозамкненого ротора складається з мас стрижнів  $G_{ср}$  і мас короткозамкнених кілець  $G_{кр}$ , кг

$$G_{a2} = G_{ср} + G_{кр} \quad \gamma_{al} \cdot Z_2 \cdot q_c \cdot l_D \cdot 10^{-5} + \gamma_{al} \cdot 2\pi \cdot D_K \cdot q_K \cdot 10^{-5}, \quad (4.84)$$

де  $q_c$  - перетин стрижня,  $мм^2$ ;  $q_K$  - перетин кільця,  $мм^2$ ;  $D_K$  - середній діаметр короткозамкненого кільця,  $см$ ;  $\gamma_{al} = 2,6 \text{ г/см}^3$  - питома маса алюмінію.

4.8.3. Заготівельна вага електротехнічної сталі, кг

$$G_{\text{ст}} = (D_a + \Delta)^2 \cdot l_{\text{д}} \cdot \gamma_{\text{ст}} \cdot 10^{-3}, \quad (4.85)$$

де  $D_a$  - зовнішній діаметр статора, *см*;  $\Delta=0,7$ - припуск на штампування, *см*;  $l_{\text{д}}$ - розрахункова довжина статора, *см*;  $\gamma_{\text{ст}} = 7,9 \text{ г/см}^3$  - питома маса сталі.

**4.8.4.** Вартість втрат активної енергії при довільному навантаженні, *грн*

$$C_a = C'_a \cdot n \cdot t \cdot \beta \cdot \frac{P_{2\text{н}}}{\eta_{\text{в}}} \cdot (1 + a - \eta_{\text{в}}), \quad (4.86)$$

де  $C'_a$  - середня собівартість 1 *кВт·год* електроенергії за термін служби електродвигуна, *грн*;  $n=1500$  - кількість годин роботи двигуна за рік;  $t=5$  - кількість років роботи до капітального ремонту;  $P_{2\text{н}}$  - номінальна потужність двигуна, *кВт*;

$\eta_{\text{в}}$  - КПД двигуна при заданому коефіцієнті завантаження  $\beta = \frac{P_2}{P_{2\text{н}}}$ ;  $a=0,04$  -

відносна величина втрат у розподільній мережі споживача.

**4.8.5.** Вартість компенсації реактивної енергії, *грн*

$$C_p = C'_p \cdot k_{\text{му}} \cdot \beta \cdot \frac{P_{2\text{н}}}{\eta_{\text{в}}} \cdot (\text{tg}\varphi_{\text{в}} - \text{tg}\varphi_0), \quad (4.87)$$

де  $C'_p$  - вартість 1 *кВАр* реактивної потужності компенсуючих пристроїв, *грн*;  $k_{\text{му}} = 0,25$  - коефіцієнт участі двигуна в максимумі навантаження системи;  $\text{tg}\varphi_0 = 0,484$  - тангенс, що відповідає коефіцієнту потужності  $\cos\varphi = 0,9$ , при якому споживана реактивна енергія не вимагає додаткової оплати.

Результати ручного розрахунку заносяться до протоколу №5 до початку роботи на ПЕОМ (підрозд. 5.5)

## 4.9. Проектні дослідження

Проектні дослідження виконуються на ПЕОМ.

Варіанти завдань на дослідження:

1. Зміна величини повітряного зазору
2. Зміна розрахункової довжини машини  $L_{\delta}$ .
3. Зміна коефіцієнта заповнення паза статора.
4. Зміна числа провідників у пазу статора.
5. Зміна номінальної фазної напруги.
6. Зміна частоти  $f_1$  напруги живлення.
7. Збільшення відкриття шліца паза на статорі.
8. Збільшення відкриття шліца паза на роторі.
9. Заміна марки сталі магнітної системи.
10. Зміна щільності струму в обмотці статора.
11. Збільшення глибини паза короткозамкненого ротора.
12. Зміна форми пазів на роторі.
13. Зміна кроку обмотки статора.

Зміст

## 5. РОБОТА З ПАКЕТОМ ПРОГРАМ РОЗРАХУНКУ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ

### 5.1 Організація роботи з підсистемою

На рабочем столе монитора є ярлик “КП\_ЕМ”, що здійснює вхід у підсистему. При роботі з підсистемою на рабочем диску ПК в каталогу "AM" створюється папка з іменем файла вхідних даних, в якому зберігаються файли вхідних даних і результатів розрахунку.

Етапи роботи на ПК надані на рис 5.1.

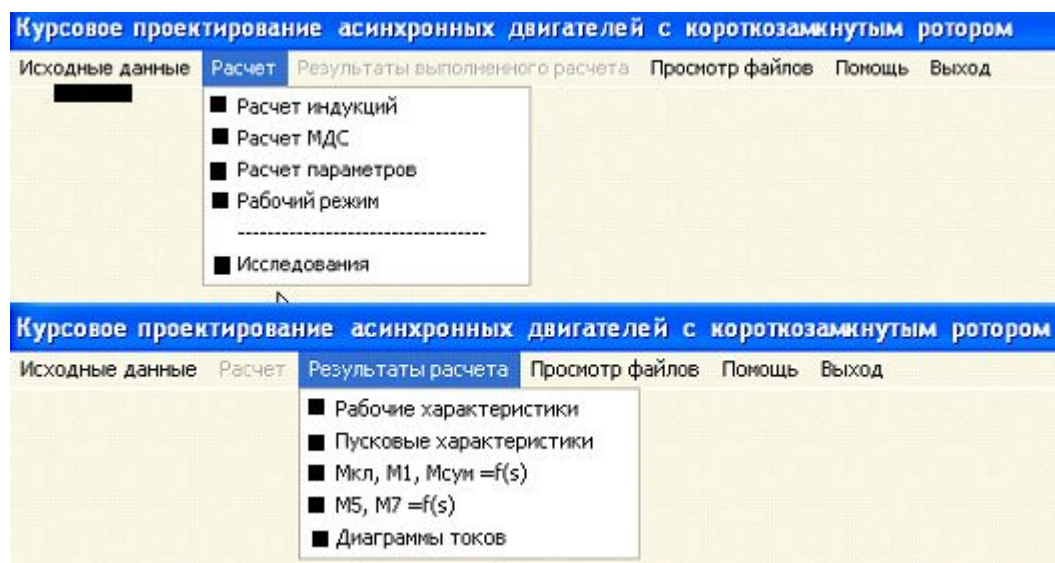


Рис. 5.1,а

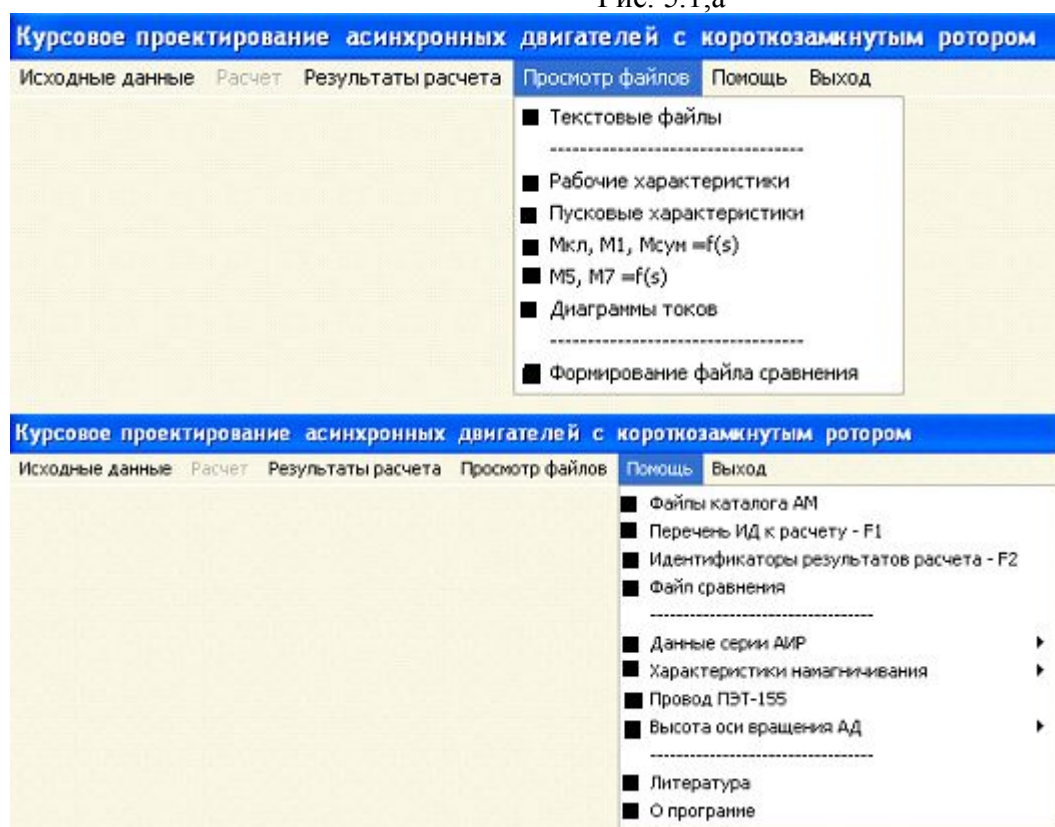


Рис. 5.1,б

## 5.2. Формування вхідних даних

## Перелік ідентифікаторів вхідних даних та їхнє розшифрування

### Позначення

Jmс - марка сталі; Jv - система вентиляції;  
Js - форма паза статора; Jг - форма паза ротора.

### Дані технічного завдання

P2н - номінальна потужність, *кВт*;  
Uфн - номінальна фазна напруга, *В*;  
Iфн - номінальний фазний струм, *А*;  
р - число пар полюсів;  
f1 - частота мережі, *Гц*.

### Головні розміри

Но - висота осі обертання, *мм*;  
Da - зовнішній діаметр статора, *см*;  
D - діаметр розточення статора, *см*;  
Dв - діаметр вала, *см*;  
L1 - розрахункова довжина статора, *см*;  
L2 - довжина ротора з радіальними каналами, *см*;  
Nkr - число радіальних каналів;  
Dка - діаметр аксіального каналу, *см*;  
Nка - число рядів аксіальних каналів;  
Delt - величина повітряного зазора, *см*;

### Зубцева зона статора

Z1 - число пазів статора;  
Розміри пазів статора (**рис. 5.3 – 5.6**), *см*  
h2, hк1, hп1, b1, hш1, b2  
ho=0 для одношарових и  
ho=Вик для двошарових обмоток

### Зубцева зона ротора

z2 - Число пазів ротора ;  
Розміри пазів ротора (**рис. 5.7, 5.8**), *см*  
bм, h12, hм, hш2, b, bш2, b", hп2

### Обмотка статора

Ke - коефіцієнт  $Ke = E_{PC} / U_H$  ;  
Тір - тип обмотки статора;  
y1 - крок обмотки в пазових поділках;  
a1 - число паралельних гілок;  
Nп - число ефективних провідників у пазу;  
Nэл - число елементарних провідників в одному ефективному;  
Qэл - перетин елементарного провідника, *мм<sup>2</sup>*;  
Dг - діаметр голого провідника (при прямокутних пазях - розмір неізолюваного ефективного провідника по ширині паза), *см*;

Диз - діаметр ізолюваного провідника (при прямокутних пазах - двостороння товщина виткової ізоляції), *см*;

Нв - число ефективних провідників по висоті паза (для овальних пазів прийняти  $N_b=0$ );

Визк - двостороння корпусна ізоляція по ширині паза, *см*;

Низк - сумарна корпусна ізоляція по висоті паза, *см*.

Обмотка ротора

Sc - перетин стрижня обмотки ротора,  $мм^2$ ;

Ак - радіальний розмір короткозамкненого кільця, *см*;

Вк - товщина короткозамкненого кільця, *см*;

Rok - питомий електричний опір матеріалу обмотки ротора при робочій температурі,

$Ом \cdot мм^2 / м$ .

Вхідні дані для теплового розрахунку

Lgeb - периметр поперечного перерізу ребер корпусу за рис. 4.6, *м*;

Akt - коефіцієнт теплового розрахунку за табл. 4.9;

ala1 - коефіцієнт теплопровідності ізоляції обмотки за рис. 4.5,  $Вт/(м \cdot ^\circ C)$ ;

alf1 - коефіцієнт теплорозсіяння з поверхні статора за рис.4.4,  $Вт/(м^2 \cdot ^\circ C)$ ;

alfv - коефіцієнт підігріву повітря за рис 4.7,  $Вт/(м^2 \cdot ^\circ C)$ .

Розшифровка позначень

Позначення марки сталі	
Jмс = 1 - сталь 2013	Jмс = 3 - сталь 2312
Jмс = 2 - сталь 2211	Jмс = 4 - сталь 2411

Форма пазів	
Js=1...6	рис. 8.2
Jr=1...6	рис. 8.3

Позначення системи вентиляції

Jv	Система вентиляції	Jv	СИСТЕМА ВЕНТИЛЯЦІЇ
1	Радіальна з каналами	3	АКСІАЛЬНА
2	Радіальна без каналів	4	Із зовнішнім обдуванням

Тип обмотки статора

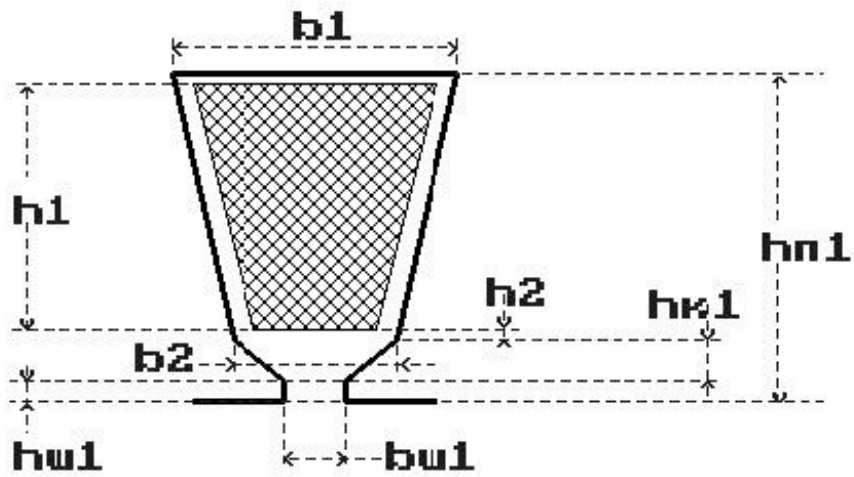
tір = 1.67- одношарова двоплоскінна і проста шаблонова;

tір = 1.47 - одношарова триплоскінна;

tір = 1.34 - одношарова ланцюгова і в розвал;

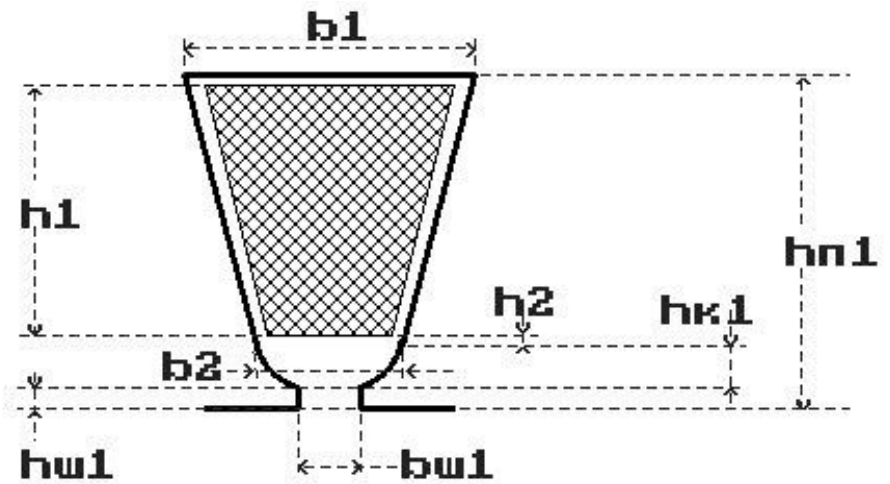
tір = 0.34 - двошарова.





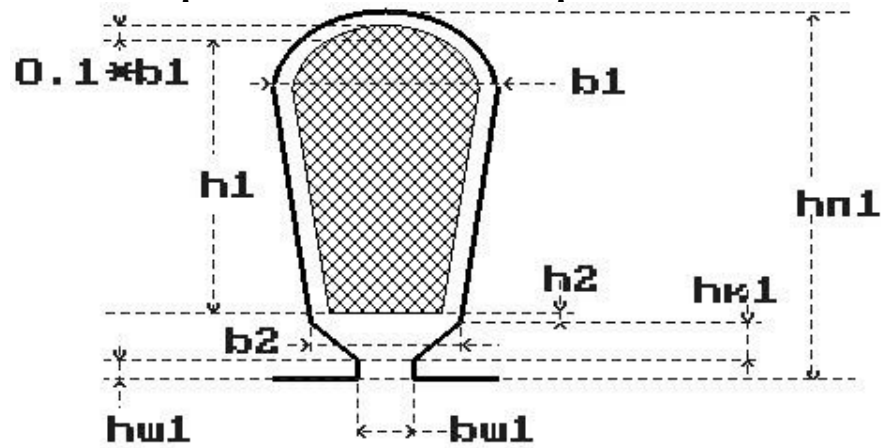
**$J_s=3$        $h_o = 0$**

Рис.5.3 Трапецоїдний паз статора



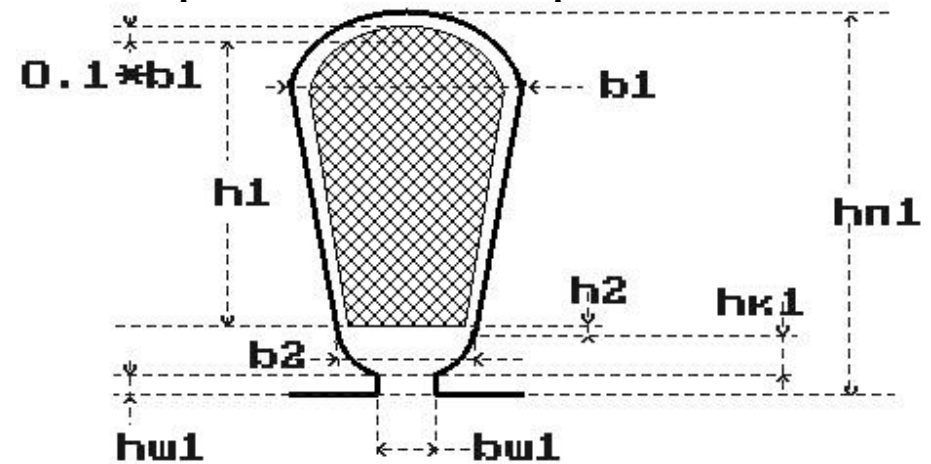
**$J_s=4$        $h_o = 0$**

Рис.5.4 Трапецоїдний паз статора



**$J_s=5$        $h_o = 0$**

Рис. 5.5 Овальний паз статора



**$J_s=6$        $h_o = 0$**

Рис.5.6 Овальний паз статора

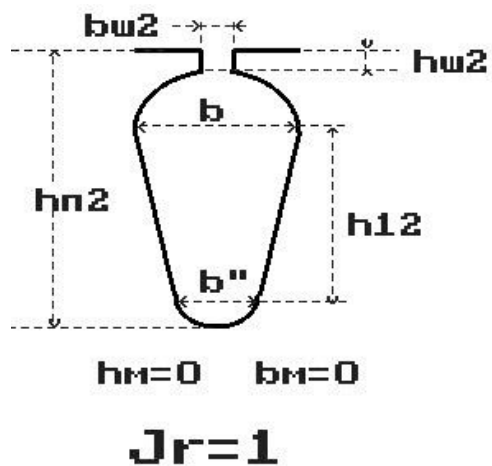


Рис.5.7  
Напівзакритий паз ротора

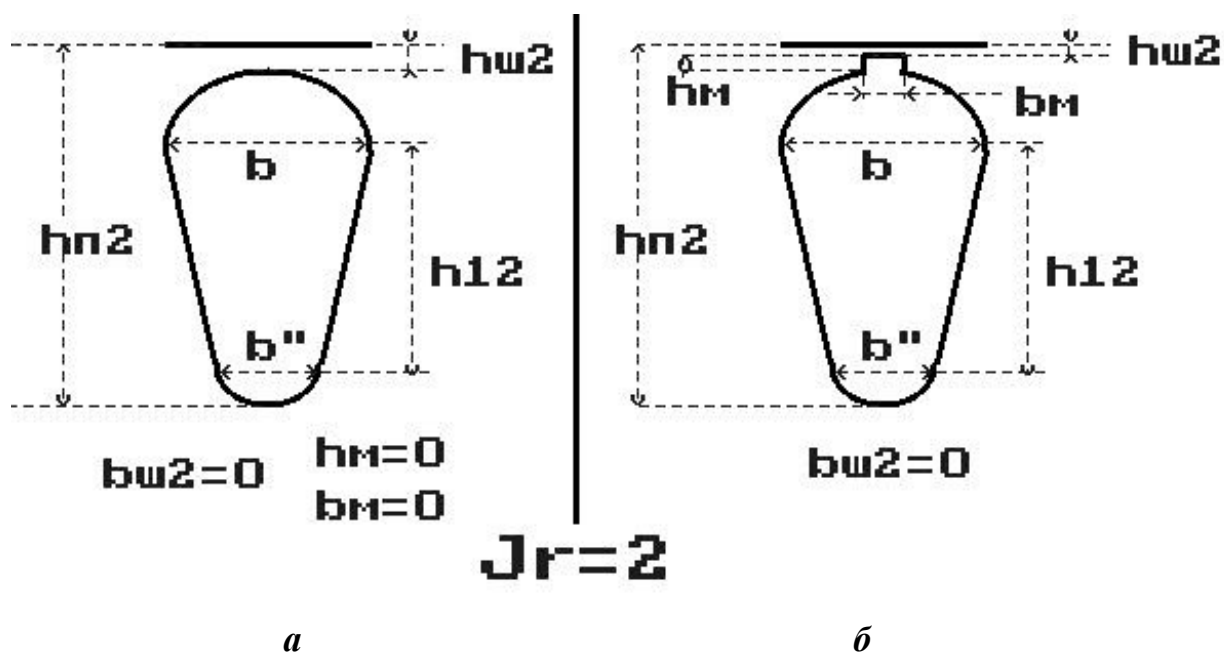


Рис. 5.8 Закриті пази ротора

**Файл вхідних даних асинхронного двигуна (\*.iam)**

Прізвище ... Іванов

<b>JMC = 1</b>	Dв = 4.4	hо = 0	бш2 = 0.2	Nв = 0
JV = 4	L1 = 9.35	hп1 = 1.44	б'' = 0.252	Визк = 0.01
JS = 4	L2 = 9.35	б1 = 0.8	hп2 = 4.322	Низк = 0.01
JR = 6	Nkr = 0	бш1 = 0.2	Ке = 0.95	Qс =
P2н = 3	Dka = 0	hш1 = 0.1	tip = 1.67	Ак = 2.9
Uфн = 380	Nra = 0	б2 = 0.61	Y1 = 9	Вк = 0.89
Iфн = 3.86	Вск = 1	z2 = 26	A1 = 1	Rок = 0.05
p = 2	Delt = 0.03	бм = 0.687	Up1 = 59	Lreb = 0.22
f1 = 50	z1 = 36	h12 = 3.0	Nэл = 1	Akt = 0.2
Hw = 112	h1 = 1.023	hm = 0.5	Qэл = 0.503	ala1 = 1
Da = 19.1	h2 = 0.035	hш2 = 0.1	Dг = 0.08	alf1 = 100
D = 12.4	hk1 = 0.304	б = 0.687	<b>Диз = 0.087</b>	alfв = 22.5

### 5.3. Етапи розрахунку АД

У процесі роботи передбачено послідовне виконання таких етапів:

- розрахунок геометрії магнітного кола; • розрахунок параметрів;
- розрахунок робочого режиму; • розрахунок теплового режиму; • розрахунок експлуатаційних витрат.

На кожному етапі розрахунку здійснюється контроль визначеного набору показників, розрахованих вручну. Етап розрахунку визнається виконаним, якщо похибка машинного и ручного розрахунків показників не перевищує визначеного значення. На екран виводяться значення похибок за кожним контрольованим показником. Припускається повторний ввід контрольованих показників. У випадку невиконання умов контролю необхідно скорегувати ручний розрахунок (відмітив в протоколі параметр, що корегується) і виконати розрахунок етапу заново. Результати розрахунку на кожному етапі заносяться в таблицю.

До роботи на ПЕОМ допускаються студенти, що представили керівнику заняття протоколи роботи на відповідному етапі з внесенням в нього результатів ручного розрахунку. Протокол підписується керівником по закінченні розрахунку.

#### Протокол №1

роботи на етапі розрахунку магнітного кола АД

Дата Ст. гр.ЕМ-

Контрольовані параметри	Одиниці	Припустимі значення	Ручний розрахунок	Розрахунки на ПЕОМ		
				1	2	3
$\Phi$	Вб					
$B_{\delta}$	Тл					
$B_{z1}$	Тл					
$B_{z2}$	Тл					
$B_{a1}$	Тл					
$B_{a2}$	Тл					
Кореговані параметри						

Протокол №2 роботи на етапі розрахунку параметрів АД.

Контрольовані параметри:  $F_{\delta}$ ,  $F_{\text{сум}}$ ,  $K_{\delta}$ ,  $k_{\mu}$ ,  $I_{\mu} / I_{1H}$

Протокол №3 роботи на етапі розрахунку робочого режиму АД.

Контрольовані параметри:  $w_1$ ;  $\eta_1, \text{Ом}$ ;  $x_1, \text{Ом}$ ;  $r'_2, \text{Ом}$ ;  $x'_2, \text{Ом}$ ;  $x_m, \text{Ом}$ ;

Протокол №4 роботи на етапі розрахунку теплового стану АД.

Контрольовані параметри:  $I_{1H}, \text{А}$ ;  $s_H$ ,  $\eta, \%$ ;  $\cos\phi$ ,  $\Delta p_{\text{ст}}, \text{кВт}$ ;  $\Delta p_{\text{ел}}, \text{кВт}$ ;  $\Sigma \Delta p, \text{кВт}$ .

В процесі розрахунку на екран дисплея виводяться графічні матеріали:  
робочі характеристики;  
пускові характеристики -  $I_1, M, r_2, x_1, x_2=f(s)$ ;  
характеристика  $M=f(s)$ , розрахована за формулою Клосса;  
векторні діаграми струмів.

Все перелічені характеристики записуються в файли графічних зображень. Імена, що присвоюються файлам перелічені в підрозд.5.1. Графіки характеристик можуть в подальшому бути проглянути й при необхідності роздруковані.

## 5.4. Результати розрахунку

### 5.4.1. Структура файла результатів розрахунку

У результаті виконання повного обсягу розрахунків формується файл результатів "**\*.r1**".

Розрахунок АМ                      Прізвище... Іванов

P2H= 3.000	Uф1= 380.0	IфH= 3.860	p= 2.000	f1= 50.0
Ho= 112.00	Da= 19.10	D= 12.400	Dв= 4.400	Ld= 9.35
L2= 9.350	Nkr= 0.000	Dka= 0.000	Nka= 0.000	Bck= 0.000
delt= 0.030	z1= 36.000	h1= 1.023	h2= 0.035	hk1= 0.304
ho= 0.000	hп1= 1.437	b1= 0.797	bш1= 0.200	hш1= 0.050
b2= 0.60	z2= 26.000	bм= 0.000	h12= 1.802	hm=0.000
hш2= 0.100	b= 0.687	bш2= 0.100	b''= 0.252	hп2= 2.322
Ke= 0.950	tip= 1.670	y1= 9.000	a1= 1.000	Nп= 59.000
Nэл= 1.000	Qэл= 0.503	Dг= 0.087	Диз= 0.087	Nв= 0.000
Визк= 0.010	Низк= 0.010	Qc= 106.600	Ак= 2.900	Вк= 0.890
Рок= 0.084	Лреб= 0.220	Акт= 0.200	Ала1= 1.000	Алф1= 100.0
Алфв= 22.500				

сталь -1    вентил. -4    паз статора -4    паз ротора -1

Електромагнітні навантаження

Ф $\delta$	В $\delta$	Vz1m	Vz2m	Вс	Вр	kmj	Imj*
4.79E-03	8.21E-01	1.71E+00	1.81E+00	1.38E+00	1.10E+00	1.37E+00	3.49E-01

Параметри

R	R*	Lp	Ll	Ld	Lck	X	X*
8.09E+00	8.22E-02	1.49E+00	2.35E+00	2.88E+00		1.04E+01	1.05E-01
5.86E+00	5.95E-02	1.26E+00	3.81E-01	3.70E+00	0.00E+00	1.25E+01	1.27E-01

Робочі характеристики

P2,кВт	n2,об/мин	s	кпд,%	cosФ	I1,А	P1,кВт
0.000E+00	1.499E+03	4.378E-04	0.00E+00	1.031E-01	1.354E+00	1.637E-01

3.750E-01	1.491E+03	6.071E-03	6.85E+01	3.351E-01	1.417E+00	5.473E-01
7.500E-01	1.482E+03	1.196E-02	7.95E+01	5.223E-01	1.571E+00	9.423E-01
1.125E+00	1.473E+03	1.815E-02	8.33E+01	6.544E-01	1.798E+00	1.350E+00
1.500E+00	1.463E+03	2.470E-02	8.47E+01	7.415E-01	2.084E+00	1.771E+00
1.875E+00	1.452E+03	3.168E-02	8.49E+01	7.978E-01	2.416E+00	2.208E+00
2.250E+00	1.441E+03	3.919E-02	8.45E+01	8.339E-01	2.788E+00	2.663E+00
2.625E+00	1.429E+03	4.736E-02	8.36E+01	8.570E-01	3.198E+00	3.138E+00
3.000E+00	1.415E+03	5.639E-02	8.24E+01	8.713E-01	3.648E+00	3.639E+00
3.375E+00	1.400E+03	6.657E-02	8.08E+01	8.793E-01	4.145E+00	4.172E+00
3.750E+00	1.382E+03	7.838E-02	7.89E+01	8.822E-01	4.702E+00	4.748E+00

Пускові характеристики

s	ki	km	x1	x2"	r2"	I2"*
0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.04E+01	1.25E+01	5.86E+00	0.00E+00
1.00E-01	1.48E+00	1.51E+00	9.90E+00	1.13E+01	5.89E+00	1.44E+00
2.00E-01	2.47E+00	2.10E+00	9.27E+00	1.02E+01	5.90E+00	2.40E+00
3.00E-01	3.14E+00	2.29E+00	8.77E+00	9.49E+00	5.91E+00	3.06E+00
4.00E-01	3.64E+00	2.32E+00	8.38E+00	8.93E+00	5.93E+00	3.56E+00
5.00E-01	4.01E+00	2.27E+00	8.14E+00	8.59E+00	5.96E+00	3.92E+00
6.00E-01	4.31E+00	2.21E+00	7.90E+00	8.24E+00	6.02E+00	4.22E+00
7.00E-01	4.55E+00	2.12E+00	7.77E+00	8.04E+00	6.06E+00	4.45E+00
8.00E-01	4.73E+00	2.02E+00	7.68E+00	7.91E+00	6.09E+00	4.63E+00
9.00E-01	4.88E+00	1.93E+00	7.62E+00	7.80E+00	6.14E+00	4.78E+00
1.00E+00	5.01E+00	1.84E+00	7.57E+00	7.71E+00	6.18E+00	4.91E+00

Критичне ковзання

3.50E-01	3.41E+00	2.32E+00	8.54E+00	9.15E+00	5.92E+00	3.33E+00
----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

Перевищення температури статора

LB	Oa	Oil	OI	Oil	Os	Oai	Oc
5.24E+00	1.12E+01	9.43E-01	1.02E+01	5.98E-01	1.13E+01	1.30E+02	1.41E+02

Витрати матеріалів, кг  
алюміній - 1.11E+00 мідь - 2.52E+00

Експлуатаційні витрати, крб  
Ca = 4.1E+02 Cr=2.5E+02

5.4.2. Перелік ідентифікаторів результатів розрахунку

Файл \*.r1

=> Електромагнітні навантаження <=

$\Phi$  – основний магнітний потік, Вб;  $Bd$  – магнітна індукція в повітряному зазорі, Тл;  $Bz1m$  – індукція в мінімальному перетині зубця статора, Тл;  $Bz2m$  – індукція в мінімальному перетині зубця ротора, Тл;  $Ba1$  – індукція в спинці статора, Тл;  $Ba2$  – індукція в спинці ротора, Тл;  $Kmj$  – коефіцієнт насиченості магнітного кола;  $Imj^*$  – відносне значення струму намагнічування .

=> Параметри <=

Результати розрахунку параметрів представляються у вигляді таблиці з двох рядків, верхній рядок – це результати для обмотки статора, нижній рядок – для

обмотки ротора.

$r$  – активний опір обмотки,  $\Omega$ ;  $R^*$  – активний опір у відносних одиницях;  $L_p$  – коефіцієнт магнітної провідності пазового розсіювання обмотки;  $L_l$  – коефіцієнт магнітної провідності лобової частини обмотки;  $L_d$  – коефіцієнт магнітної провідності диференціального розсіювання обмотки;  $L_{sk}$  – коефіцієнт магнітної провідності скосу пазів;  $X$  – індуктивний опір розсіювання обмотки,  $\Omega$ ;  $X^*$  – індуктивний опір у відносних одиницях.

#### => Робочі характеристики <=

$P_2$  – корисна потужність на валу двигуна,  $kW$ ;  $n_2$  – частота обертання,  $об/хв$ ;  $s$  – ковзання,  $\%$ ;  $\eta$  – коефіцієнт корисної дії двигуна,  $\%$ ;  $\cos\phi$  – коефіцієнт потужності;  $I$  – фазний струм статора,  $A$ ;  $P_1$  – потужність, споживана з мережі,  $kW$ .

#### => Пускові характеристики <=

Результати розрахунку пускових характеристик формуються у двох таблицях, на останньому рядку першої вказуються параметри режиму критичного ковзання.

$s$  – ковзання,  $\%$ ;  $k_i$  – кратність струму статора,  $\%$ ;  $k_m$  – кратність електромагнітного моменту,  $\%$ ;  $x_1$  – індуктивний опір розсіювання обмотки статора,  $\Omega$ ;  $x_2''$  – приведений індуктивний опір розсіювання обмотки ротора з урахуванням насиченості магнітного кола і витискання струму,  $\Omega$ ;  $r_2''$  – приведений активний опір фази обмотки статора,  $\Omega$ ;  $I_2''^*$  – приведений струм ротора,  $\%$ ;  $k_{si}$  – приведена висота стрижня (коефіцієнт, яким користуються при розрахунку впливу витискання струму на параметри ротора);  $k_r$  – коефіцієнт збільшення активного опору стрижнів ротора завдяки витисканню струму;  $f_i$  – коефіцієнт, яким користуються при розрахунку впливу витискання струму на параметри ротора;  $\psi_i$  – коефіцієнт, яким користуються при розрахунку індуктивних опорів.

#### => Перевищення температури статора <=

$L_B$  – середня довжина вильоту лобової частини обмотки статора,  $cm$ ;  $O_a$  – перевищення температури внутрішньої поверхні сердечника статора над температурою повітря усередині двигуна,  $град.$ ;  $O_{i1}$  – перепад температури в ізоляції пазової частини обмотки статора,  $град.$ ;  $O_l$  – перевищення температури зовнішньої поверхні лобової частини обмотки статора над температурою повітря усередині двигуна,  $град.$ ;  $O_{i2}$  – перепад температури в ізоляції лобової частини обмотки статора,  $град.$ ;  $O_s$  – середнє перевищення температури обмотки статора над температурою повітря всередині двигуна,  $град.$ ;  $O_{a1}$  – середнє перевищення температури повітря всередині двигуна над температурою навколишньої середовища,  $град.$ ;  $O_c$  – середнє перевищення температури обмотки статора над температурою навколишньої середовища,  $град.$

#### => Витрата матеріалів <=

Алюміній – витрата алюмінію і  
Мідь – міді,  $kg$ .

#### => Експлуатаційні витрати <=

$C_a$  – вартість витрат активної і  
 $C_r$  – реактивної потужності,  $грн$ .

### 5.4.3. Файли графіки

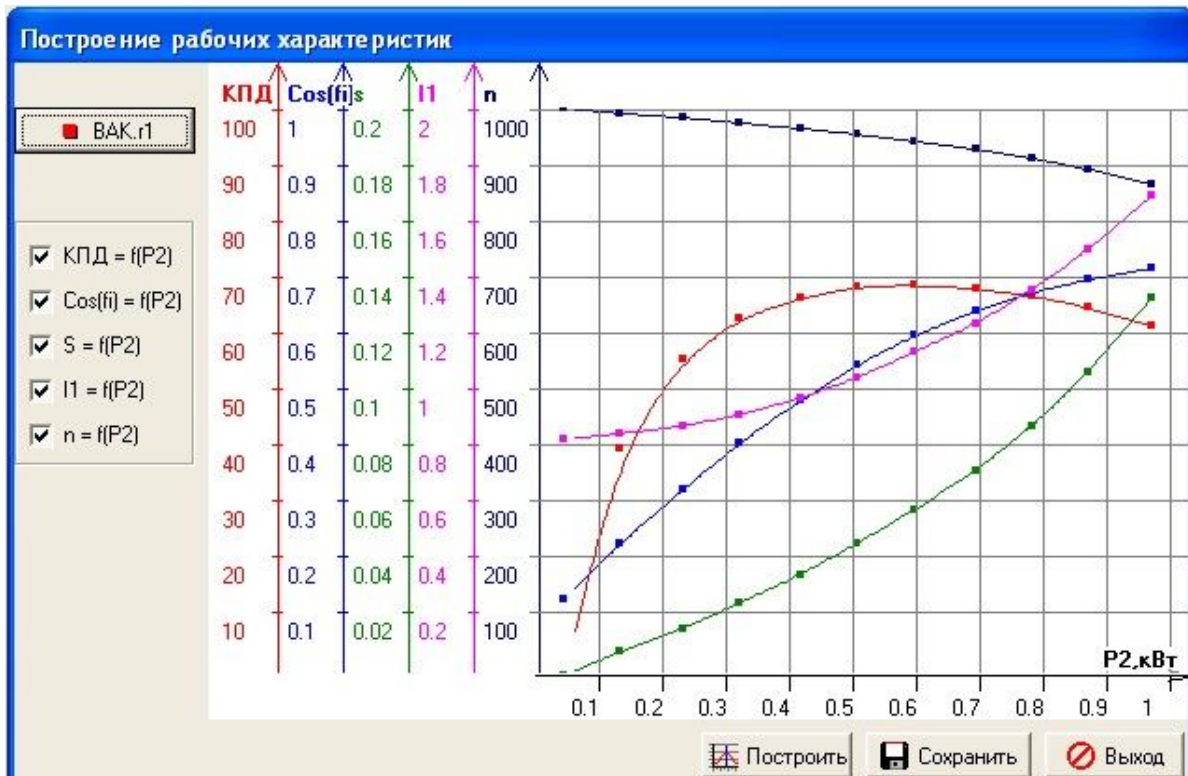


Рис. 5.4. Робочі характеристики

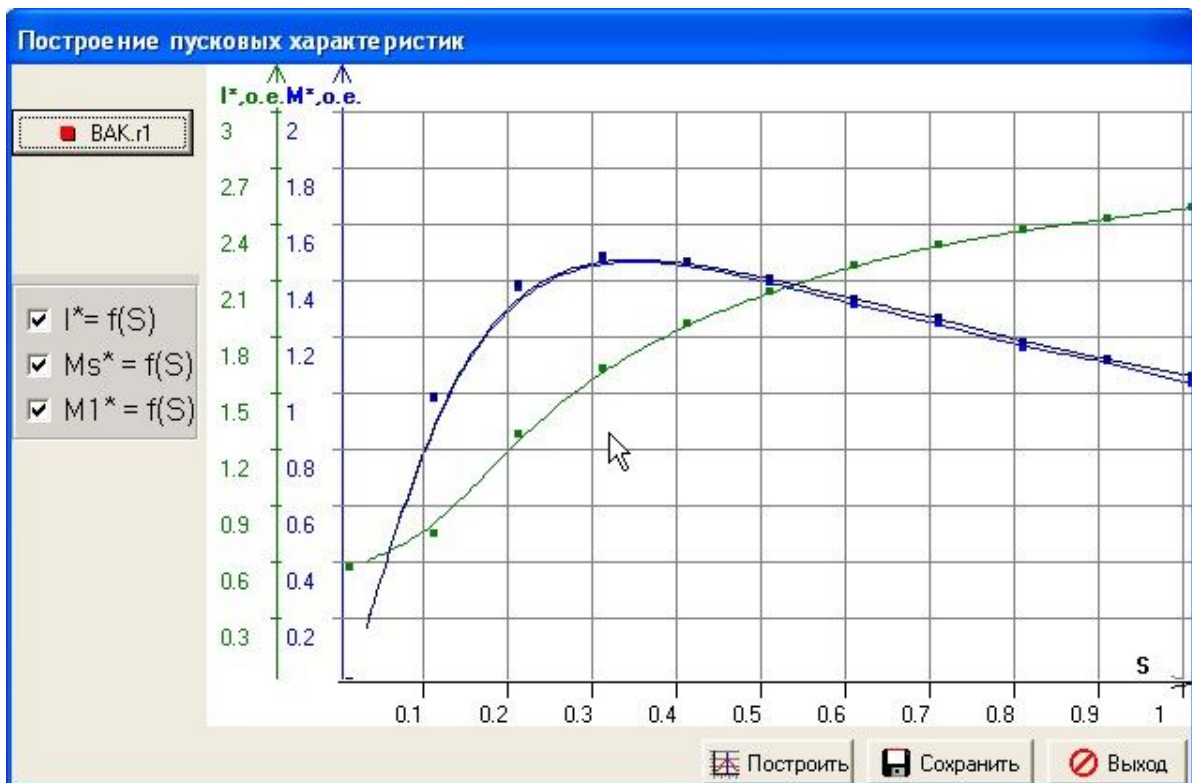


Рис. 5.5. Пускові характеристики

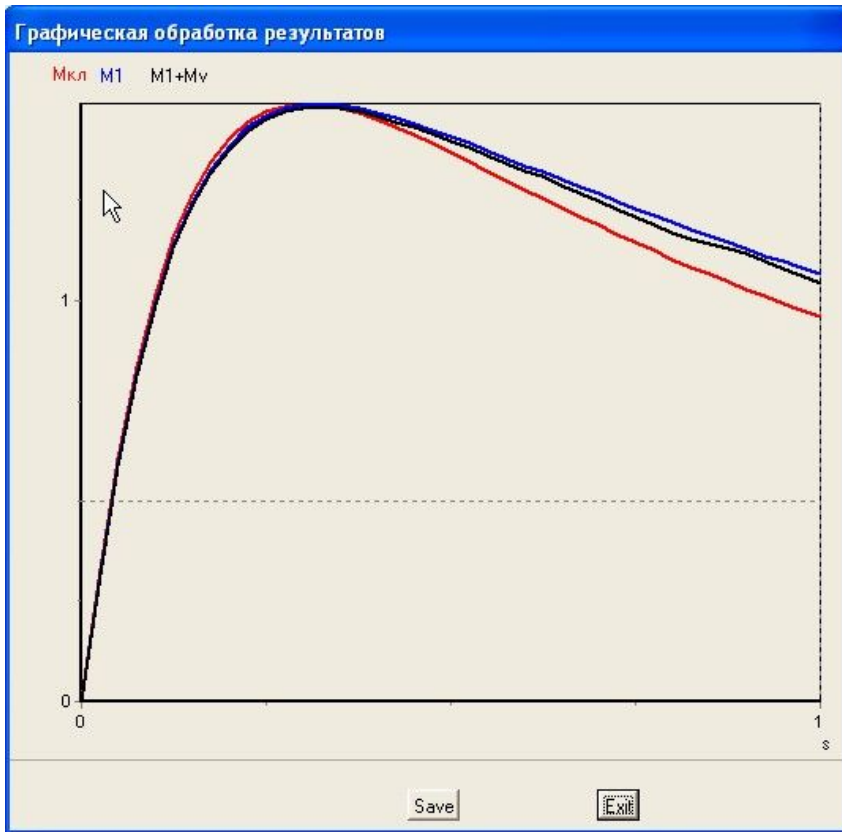


Рис. 5.6. Механічні характеристики

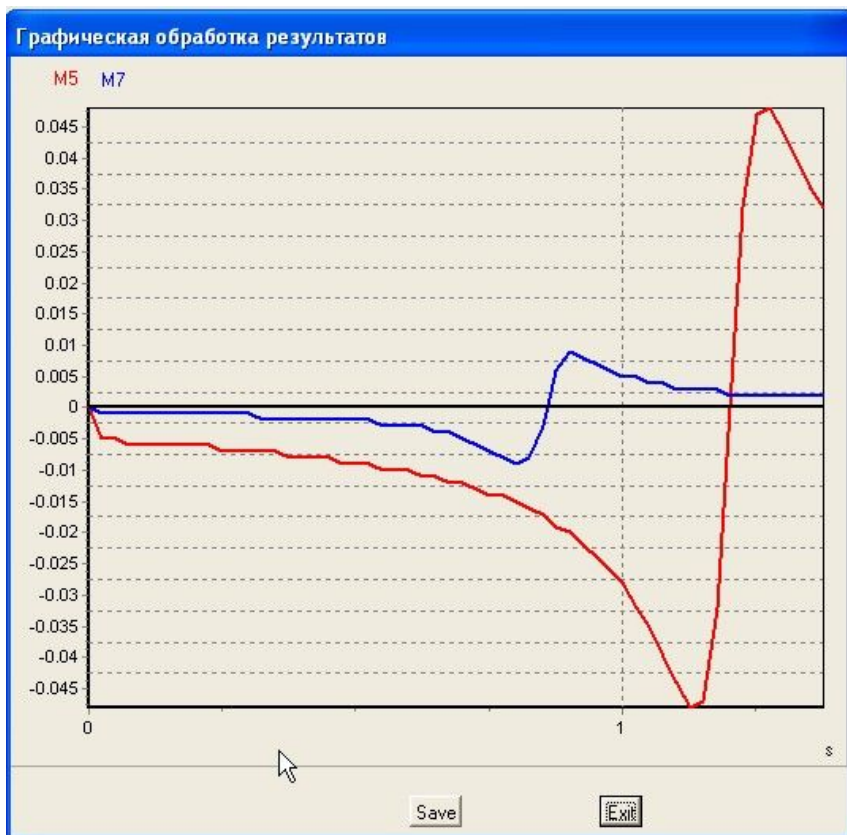


Рис. 5.7. Механічні характеристики 5-ї та 7-ї гармонік



## 6. КОНСТРУКТИВНА РОЗРОБКА ЕЛЕМЕНТІВ ДВИГУНА

Основним матеріалом для розробки конструкції асинхронного двигуна є заводські креслення машини серії 4А, близької до заданої потужності і конструктивного виконання.

Ці креслення можна знайти в альбомах, каталогах, посібниках з проектування електричних машин.

При роботі над конструкцією слід твердо усвідомити, що просте повторення креслення, що зводиться до перекреслювання, неприпустимо, тому що це не дає можливості розібратися в конструкції окремих вузлів і деталей, приводить до неправильного зображення на кресленні, до невідповідності креслення розрахункам і до інших помилок.

Приступаючи до конструювання, потрібно детально вивчити загальне компонування двигуна (рис.6.1– 6.6), усвідомити призначення окремих вузлів і деталей, їхню конструкцію. Докладний опис конструкції асинхронних двигунів серії 4А можна знайти в (Л1-Л4).

При конструюванні перевіряються розмірні співвідношення, отримані чи прийняті при розрахунках. У проекті механічних розрахунків усіх деталей немає, тому розміри окремих конструктивних елементів визначаються приблизно, орієнтуючись на розмірні співвідношення креслення, що узяті за основу при конструюванні. Особливу увагу треба звернути на співвідношення розмірів довжини корпусу машини, довжини осердя статора і вильоту лобових частин його обмотки статора. Від цього співвідношення залежить відстань між лобовими частинами обмотки і торцевими щитами. Воно не повинно бути менше регламентованого для даного рівня призначення двигуна.

На кресленні мають бути надані подовжній і поперечний види двигуна з розрізами, на яких треба показати конструкції осердь статора і ротора, корпусу, підшипникових щитів, підшипникових вузлів вала, вентилятора, обмотки статора і ротора.

На поперечному вигляді в розрізах необхідно показати зубці статора і ротора.

Зразкова послідовність виконання креслення загального вигляду двигуна: - вал - осердя ротора з обмоткою - статора - обмотка статора і її лобові частини - корпус – підшипникові щити і далі конструктивні деталі.

Масштаб креслення бажано вибрати таким, щоб подовжній і поперечний вигляди зручно розмістити на аркуші формату А1.

Усі креслення слід виконувати відповідно до правил ЄСКД.

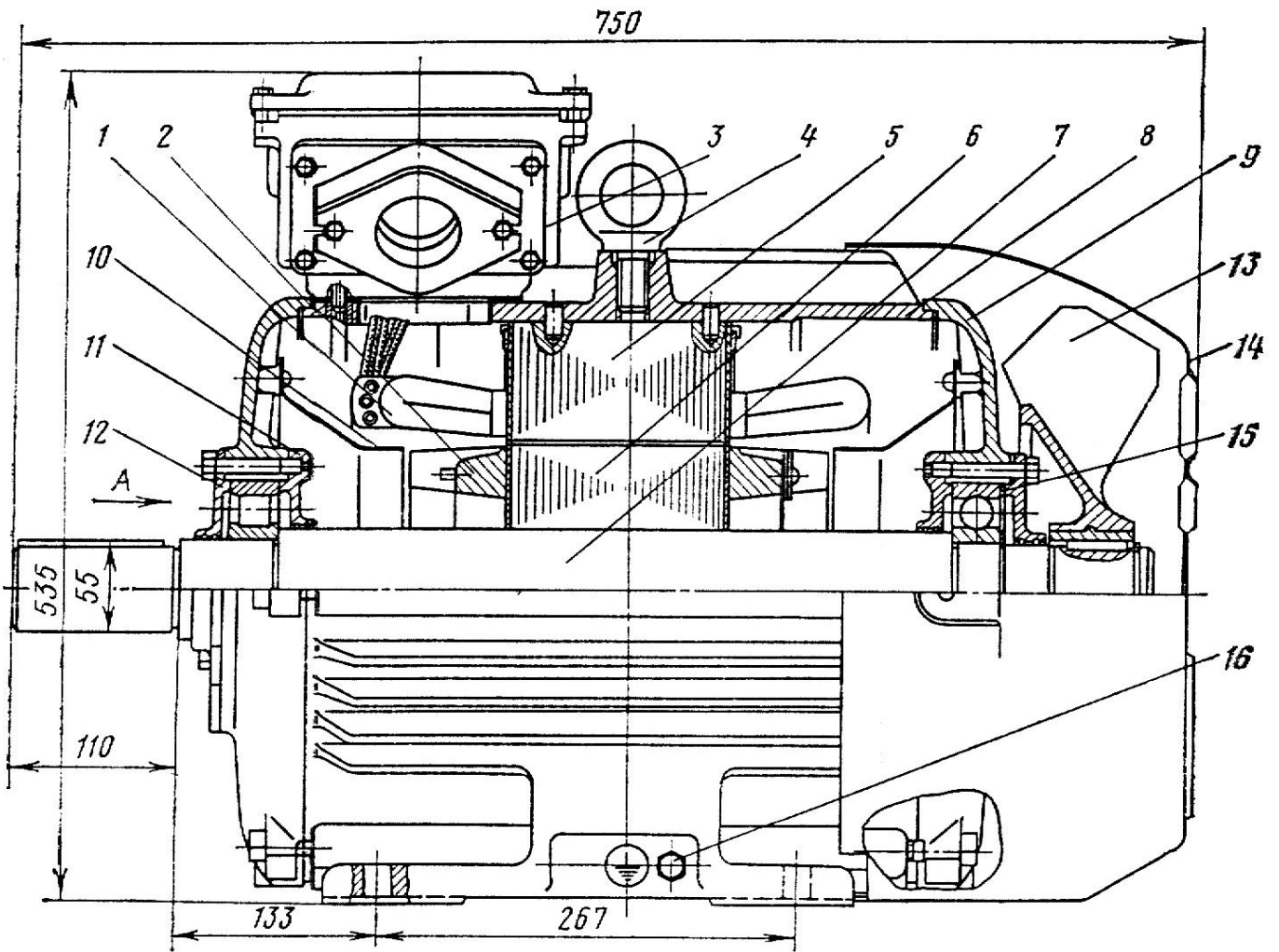


Рис. 6.1 Трифазний асинхронний двигун із короткозамкненим ротором виконання ІР44 типу 4А200М4 (37 кВт, 380/660 В, 2р=4)

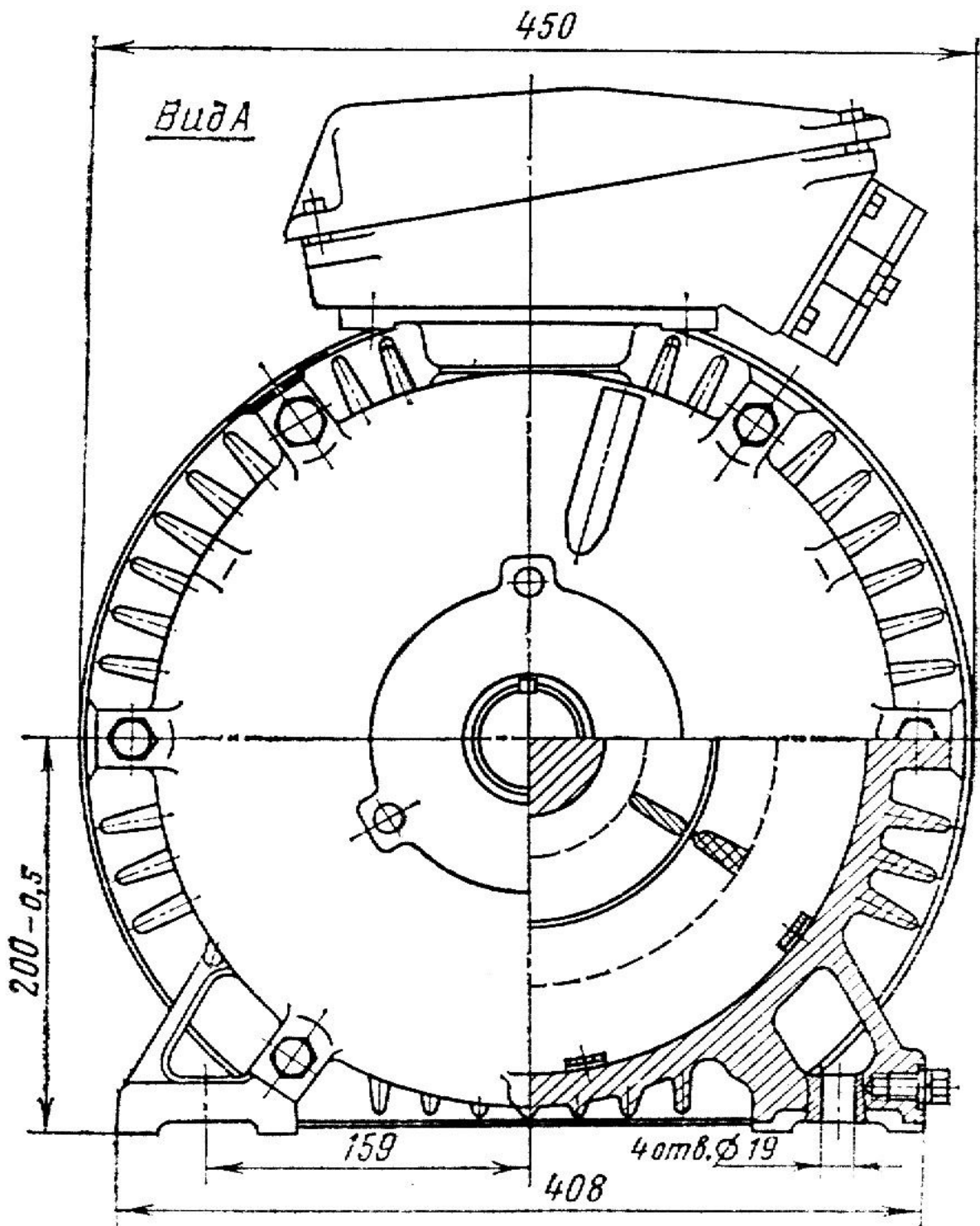


Рис. 6.2 Трифазний асинхронний двигун із короткозамкненим ротором виконання IP44 типу 4A200M4 (37 кВт, 380/660 В, 2р=4):

- 1-обмотка статора; 2-обмотка ротора; 3- ввідний пристрій; 4-рим-болт; 5- осердя статора; 6-осердя ротора; 7-вал; 8-станина; 9-щит підшипниковий; 10- повітрянапрямний щиток; 11- внутрішня підшипникова кришка; 12- зовнішня підшипникова кришка; 13- вентилятор; 14-кожух вентилятора; 15-шайба пружинна; 16 - болт заземлення

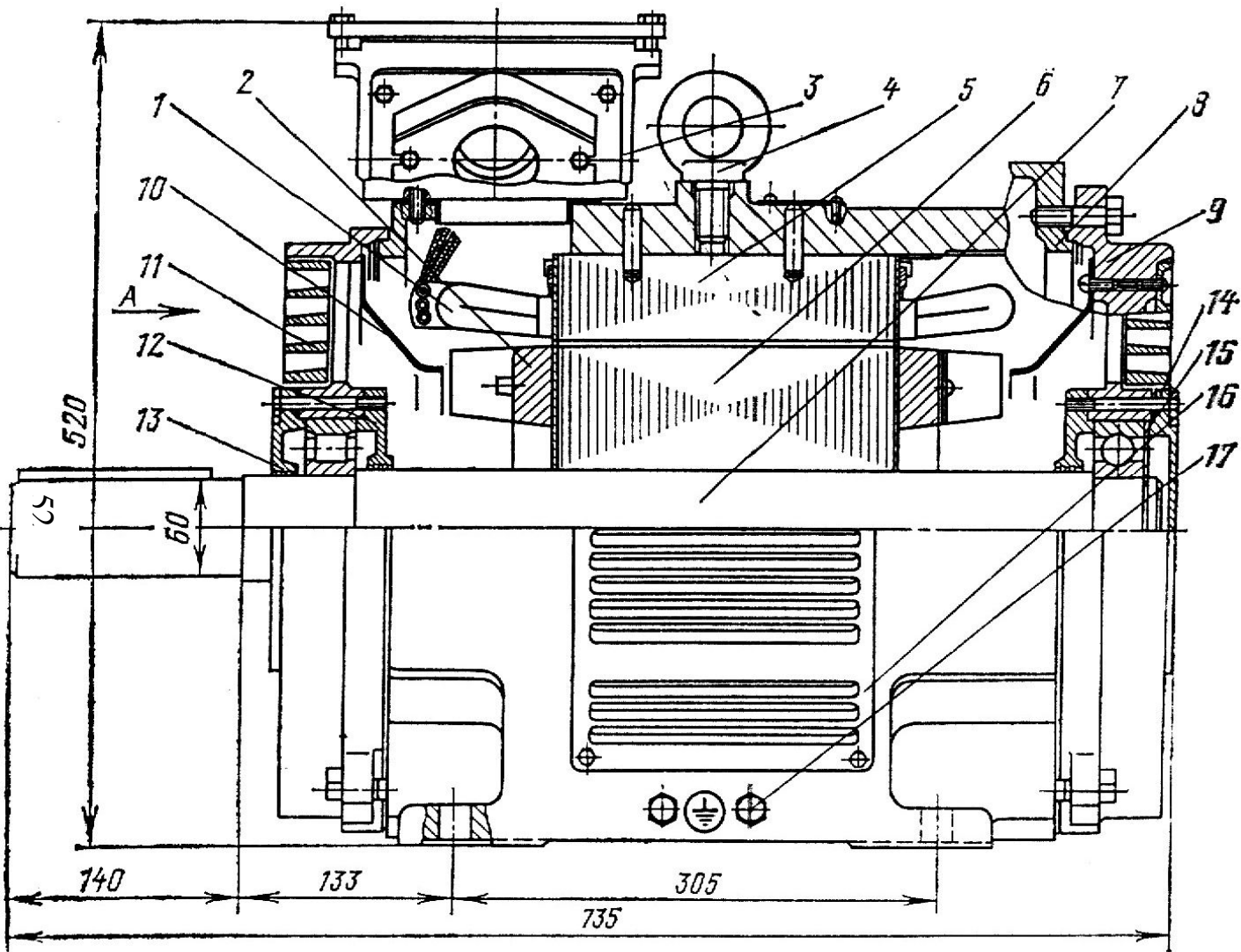


Рис. 6.3 Трифазний асинхронний двигун із короткозамкненим ротором виконання IP23 типу 4АН200L4 (55кВт, 380/660В, 2р=4)

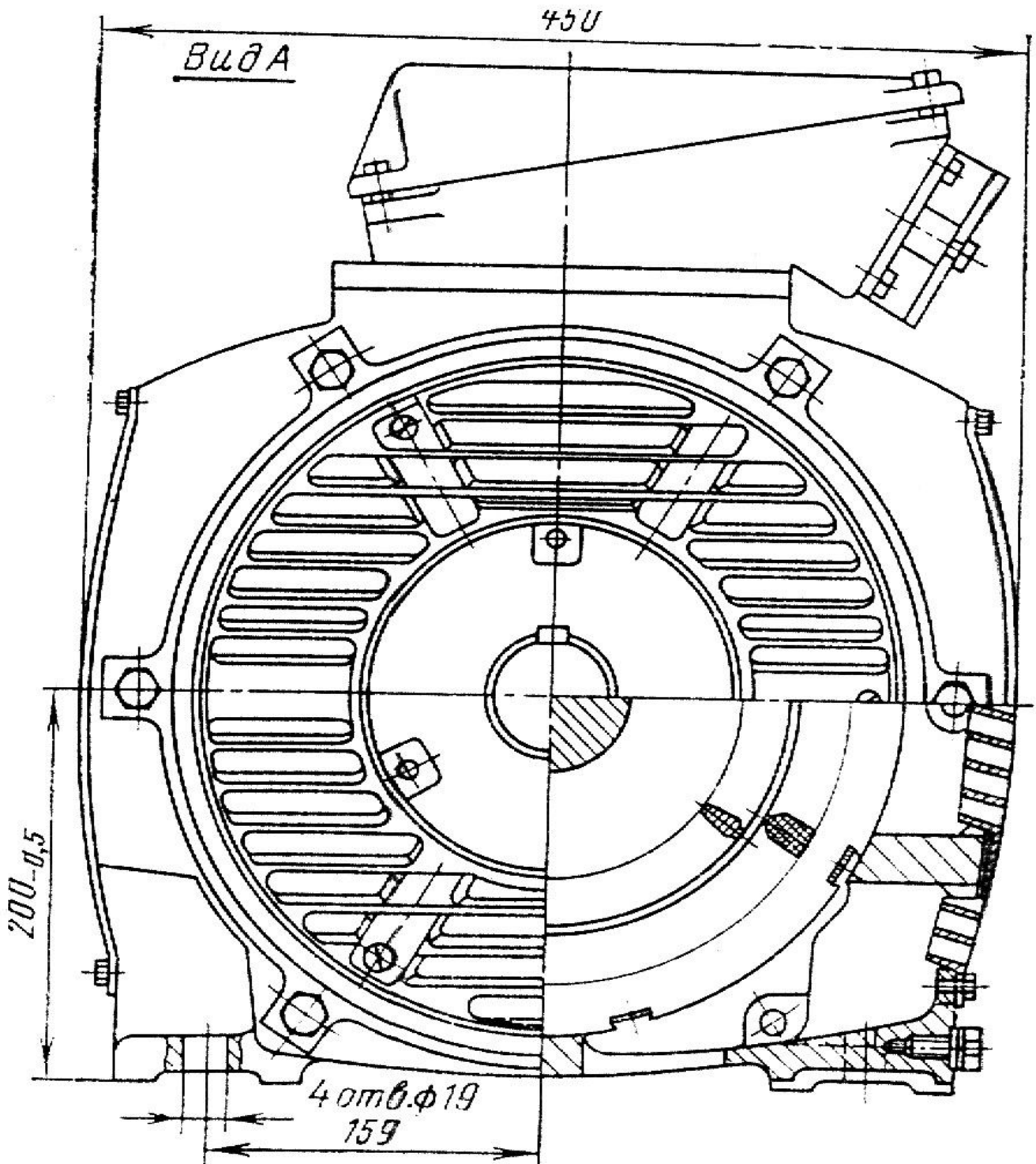


Рис. 6.4 Трифазний асинхронний двигун із короткозамкненим ротором виконання IP23 типу 4АН200L4 (55 кВт, 380/660 В, 2р=4):  
 1-обмотка статора; 2-обмотка ротора; 3- ввідний пристрій; 4-рим-болт; 5- осердя статора; 6-осердя ротора; 7-вал; 8-станина; 9-щит підшипниковий;  
 10-повітрянапрямний щиток; 11-жалюзі;12- внутрішня підшипникова кришка;  
 13,14- зовнішні підшипникові кришки; 15-шайба пружинна; 16-жалюзі;  
 17-болт заземлення

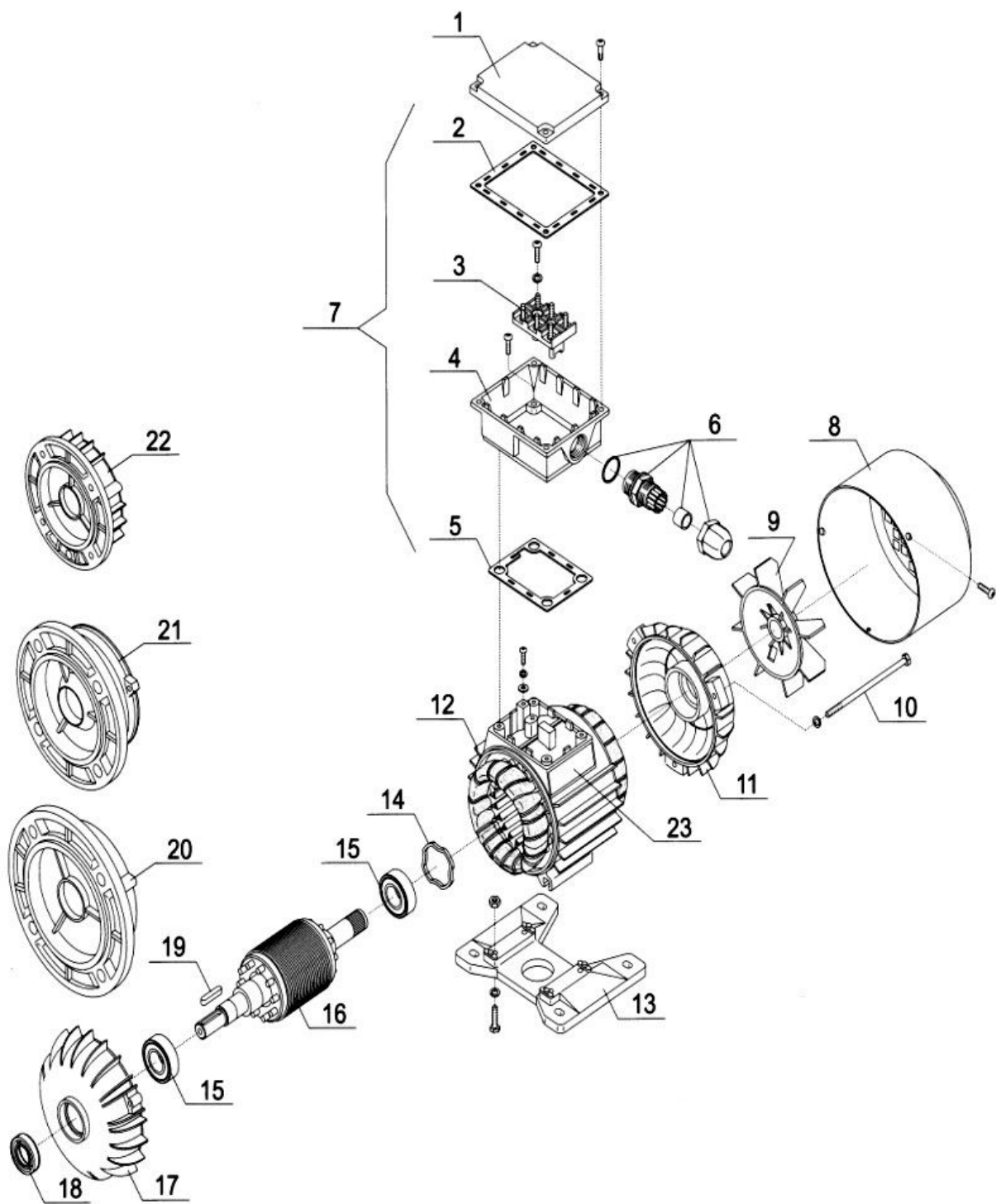


Рис. 6.5. Конструкція АД висотою осі обертання 56 – 80 мм:  
 1-кришка пристрою вводу; 2,5-резинова прокладка; 3- панель виводів; 4- корпус пристрою вводу; 6- штуцер; 7- пристрій вводу; 8-кожух вентилятора; 9- вентилятор; 10-шпилька; 11,17-підшипниковый щит; 12-статор у зборі; 13- основа з лапами; 14-пружинна шайба; 15-підшипник; 16-ротор у зборі; 18- кришка з ущільненням; 19-шпонка; 20, 21, 22 - фланець кріплення; 23-табличка двигуна

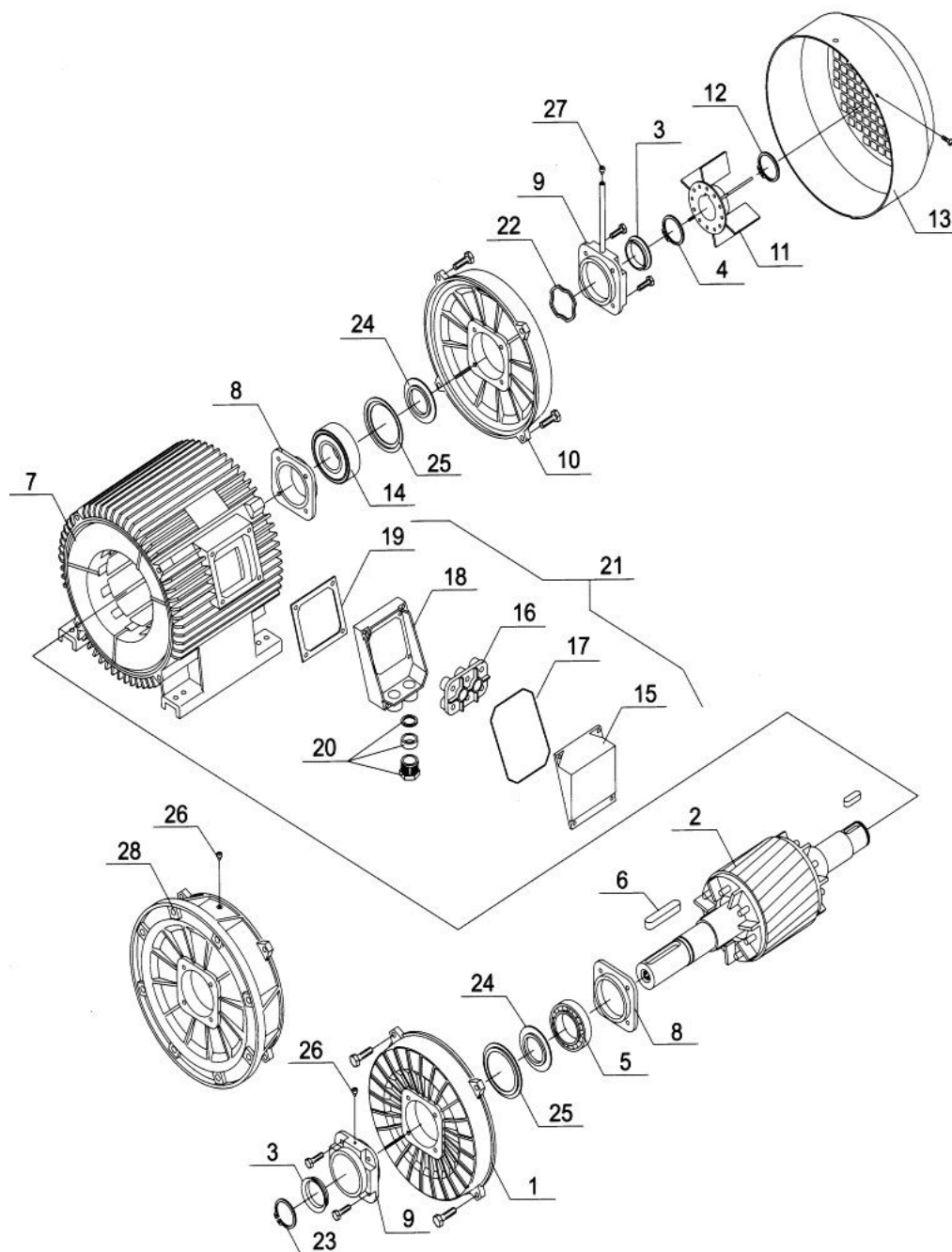


Рис. 6.6. Конструкція АД висотою осі обертання 200 - 355 мм:

1-підшипниковий щит; 2- ротор у зборі; 3- ущільнення; 4, 12, 23 - фіксуюче кільце; 5, 14 - підшипник; 6- шпонка; 7- статор у зборі; 8 – внутрішня кришка підшипника; 9 - зовнішня кришка підшипника; 10 - підшипниковий щит; 11-вентилятор; 13-кожух вентилятора; 15 - кришка пристрою вводу; 16 - панель виводів; 17, 19 - гумова прокладка; 18-корпус пристрою вводу; 20-штуцер; 21-пристрій вводу; 22-пружинна шайба; 24 – захисна шайба; 25 –внутрішнє підшипникове кільце; 26, 27- пристрій смазки; 28 - фланець

[Зміст](#)

## 7. ОФОРМЛЕННЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ

### 7.1 Розрахункова записка

Розрахункова записка оформлюється відповідно до вимог, викладених у [6].

Роздруківки кожного розрахунку на ПЕОМ вкладають після відповідного розділу, де вони нумеруються, супроводжуються відповідними підписами, аналізом результатів та висновками.

Записка оформлюється відповідно до змісту.

### Зміст розрахункової записки

Титульний аркуш.

Реферат.

Зміст.

Вступ.

Завдання на курсовий проект.

Зведення основних розрахункових даних.

1. Розрахунок додаткових розмірів.

2. Розрахунок магнітного кола.

3. Розрахунок параметрів обмотки двигуна.

4. Розрахунок втрат и ККД.

5. Робочі характеристики двигуна.

6. Розрахунок механічної характеристики.

7. Проектні дослідження.

8. Тепловий розрахунок

9. Розрахунок масовартісних показників.

10. Конструктивна розробка двигуна.

Висновки.

Список літератури, що використовувалась при розробки проекту.

Час, витрачений на виконання курсового проекту.

Специфікація

У пояснювальній записці повинні бути такі схеми, ескізи, графіки:

• Схема з'єднання котушкових груп обмотки статора. • Поперечний розріз статора і ротора • Ескіз магнітного кола • Робочі характеристики • Пускові характеристики з нанесеною на них механічною характеристикою, розрахованою вручну за формулою Клосса.



## Зведення основних розрахункових даних АД

Технічні показники					
$P_H =$	$U_H =$	$I_H =$	$n_H =$	$\eta_H =$	
$\cos \varphi_H =$	$\kappa_I =$	$\kappa_{II} =$	$\kappa_M =$	IP	IC
Електромагнітні навантаження					
$B_d =$	$B_{Z1max} =$	$B_{Z2} =$	$B_a =$	$B_j =$	
$A =$	$\kappa_\mu =$	$I_\mu =$	$I_{\mu\%} =$		
Основні розміри					
$h =$	$D =$	$D_a =$	$l_d =$	$d =$	$z_1 / z_2 =$
Параметри номінального режиму					
$\lambda_{\Pi 1} =$	$\lambda_{\lambda 1} =$	$\lambda_{\partial 1} =$	$x_1 =$	$r_1 =$	
$\lambda_{\Pi 2} =$	$\lambda_{\lambda 2} =$	$\lambda_{\partial 2} =$	$x'_2 =$	$r'_2 =$	
Теплові та економічні показники					
$\Delta\theta_L =$	$\Delta\theta_B =$		$C_A =$		
$\Delta\theta_{II} =$	$\Delta\theta_K =$		$C_R =$		

### Правила оформлення реферату

У рефераті коротко викладають мету, основний зміст і результати роботи. У заголовку реферату наводять індекс УДК, назву роботи, прізвище та ініціали автора. Перед текстом реферату вказують обсяг роботи і наводять перелік ключових слів (від 5 до 10), що характеризують основний зміст роботи.

Ключовим словом називають іменник у називному відмінку, словосполучення (з іменником), істотне для розкриття змісту тексту. Ключові слова в сукупності мають давати досить повне уявлення про зміст роботи. Перелік ключових слів у рефераті використовують у системах машинного пошуку наукової і технічної інформації.

Обсяг реферату - 500...2000 друкованих знаків на одній сторінці. У тексті не допускається використовувати неприйнятні скорочення слів і терміни.

Реферати можуть виконуватися на 2-х мовах - українською і російською.

### Приклад оформлення реферату

УДК 621.313.001.24

РОЗРАХУНОК АСИНХРОННОГО ДВИГУНА  
З КОРОТКОЗАМКНЕНИМ РОТОРОМ  
Іванов Семен Петрович

Курсова робота містить 45 сторінок тексту, 9 рисунків, 12 таблиць, бібліогр. - 3 назв.

*Електромагнітні навантаження, обмотка статора, магнітне коло, короткозамкнений ротор, обмотувальний коефіцієнт, електромагнітний момент.*

Наводяться результати розрахунку асинхронного двигуна потужністю 18,5 кВт. Двигун запроектований на висоту осі обертання 200 мм у захищеному виконанні (IP44) із самовентиляцією (IC0141). Двигун має кратності пускового моменту  $k_{\Pi} = 1,4$  і пускового струму  $k_i = 5,7$ , а також допускає перевантаження  $k_M = 2,25$ .

Виконано аналіз експлуатаційних властивостей двигуна при зменшенні напруги живлення на 15 %.

### Перелік індексів УДК

УДК 621.313 - Електричні машини.

УДК 621.313.2 - Електричні машини постійного струму.

УДК 621.313.3 - Асинхронні машини.

УДК 621.313.36 - Колекторні машини змінного струму.

УДК 621.313.001.24 - Проектування електричних машин.

### 7.2 Графічна частина

Графічна частина проекту виконується відповідно до вимог ЄСКД на двох аркушах формату А1.

1. Креслення машини в зборі у вигляді двох проекцій з повздовжнім та поперечним розрізами в масштабі (рис. 6.1 – 6.4) .
2. Креслення деталей (рис. 6.5, 6.6).
3. Основні характеристики АМ (робочі, пускові, залежності  $M_v = f(s)$ ).

Специфікація до креслення складається на аркушах формату А4 та розміщується наприкінці розрахункової записки.

[Зміст](#)

## 8. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ДЛЯ ПІДГОТОВКИ ДО ЗАХИСТУ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ

1. З якої причини обмежуються значення індукцій у ділянках магнітного кола машини?
2. Як впливає збільшення повітряного зазора на величину струму холостого ходу і коефіцієнт потужності двигуна?
3. Як впливає зменшення величини напруги, що підводиться на перевантажувальну здатність асинхронного двигуна?
4. Як впливає величина питомого опору матеріалу обмотки ротора на критичне ковзання, пусковий момент і пусковий струм?

5. Яким має бути лінійна напруга мережі, щоб можна було ввімкнути запроектований вами двигун?
6. При якій схемі з'єднання обмотки статора двигун споживає з мережі струм, що дорівнює номінальному фазному струму двигуна?
7. У чому відмінність двигуна виконання IP44 від IP23?
8. Чому номінальний момент на валу двигуна не дорівнює електромагнітному моменту?
9. Чому значення пускових моментів, розрахованих за формулою Клосса і на ПЕОМ, не рівні?
10. Поясніть зміст індуктивних параметрів  $x_1$ ,  $x_2'$ ,  $x_m$ .
11. Чому в асинхронних машинах не можна використовувати трансформаторну сталь?
12. Чи можна запустити вам двигун, якщо напруга мережі знизилась у 3 рази?
13. Поясніть характер зміни залежностей  $I(s)$ ,  $M(s)$ .
14. Чому зі зростом навантаження на валу двигуна зменшується його частота обертання?
16. Проаналізуйте за даними Вашого проекту, як змінюється частота струму ротора при зміні  $U_1$  при  $f_1$ ,  $M_H = const$ .
15. Які фактори впливають на величину перегріву обмотки статора?
17. Чому при розрахунку двигуна Ви не враховували втрати у сталі ротора?
18. Як можна запустити Ваш двигун, якщо пусковий струм більше припустимого для мережі живлення?
19. При умові сталості параметрів зобразіть векторні діаграми кола ротора для режимів  $s = 1$ ,  $s = s_H$ .
20. Поясніть характер зміни залежностей  $\eta = f(P_2)$ ,  $\cos\varphi = f(P_2)$ .

### [Зміст](#)

### Список літератури

1. Проектирование электрических машин / И. П. Копылов, Ф. А. Горяинов, Б. К. Клоков; Под ред. И.П. Копылова –М. : Энергия, 2002. – 495 с.
2. Кацман М.М. Расчет и проектирование электрических машин. – М.: Энергия. 1984. – 359 с.
3. Радин В. И. , Брускин Д. Э. , Зорохович А. Е. Электрические машины. Асинхронные машины /Под ред. И. П. Копылова. –М.: Энергия, 1988. – 328 с.
4. Кравчик А.Э., Стрельбицкий З.К., Шлаф М.М. Выбор и применение асинхронных двигателей. –М.: Энергоатомиздат, 1987. – 95 с.
5. ГОСТ 2.109-78 ЕСКД. Правила выполнения чертежей деталей: сборочных, общих видов, габаритных и монтажных.
6. ГОСТ 2.105-78. Общие требования к текстовым документам.

ШТАМПИ КРЕСЛЕНЬ І ТЕКСТОВИХ ДОКУМЕНТІВ

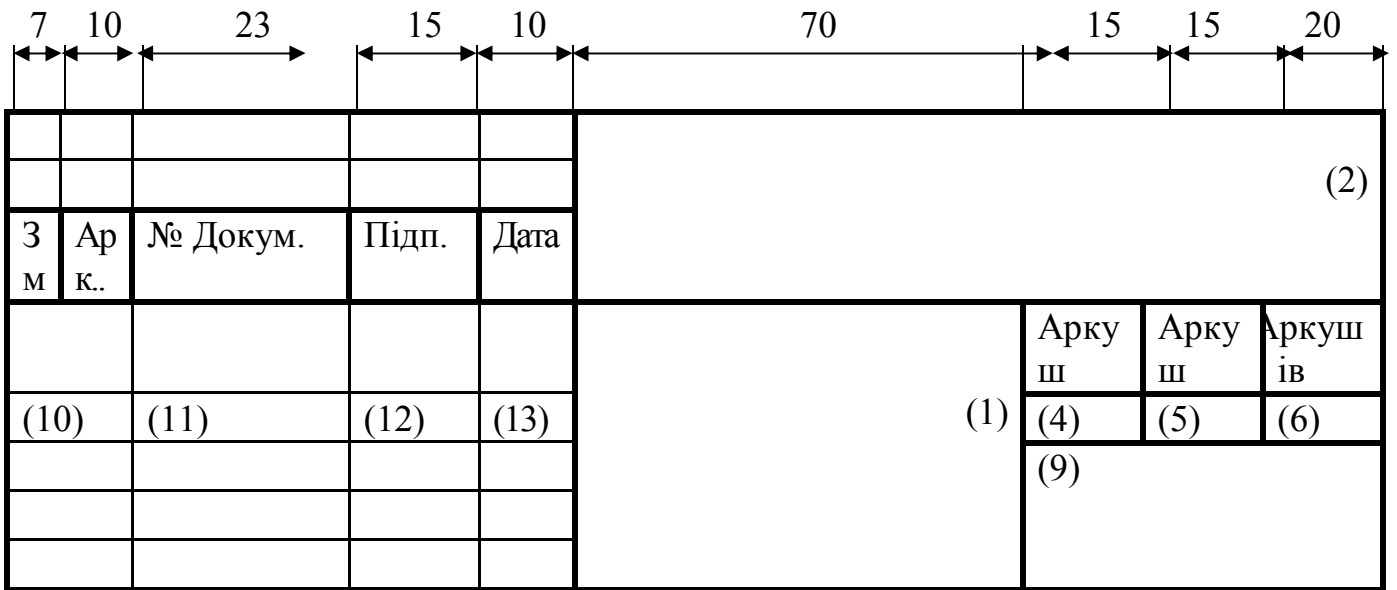


Рис. Д1.1. Основний штамп для текстових документів (перший аркуш)

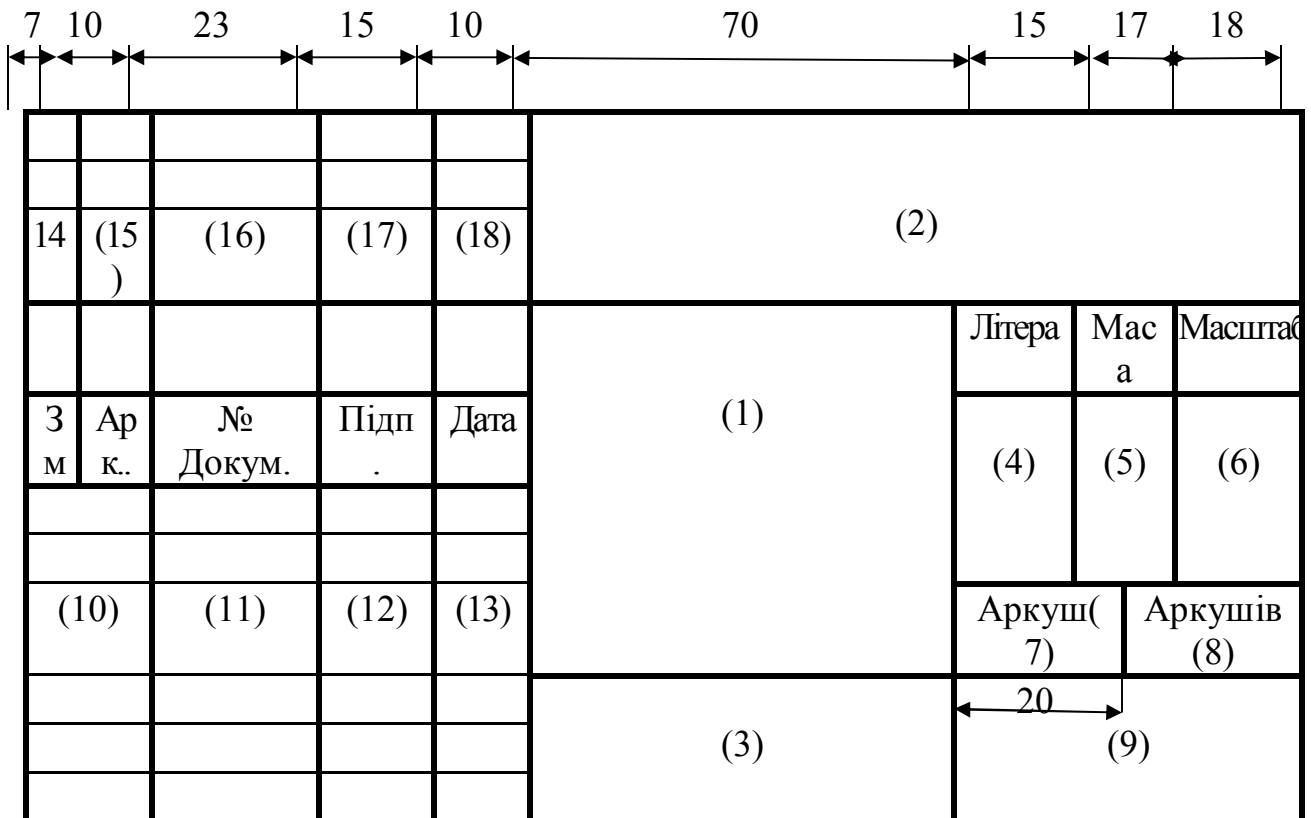


Рис. Д1.2. Основний штамп для креслень (перший аркуш)

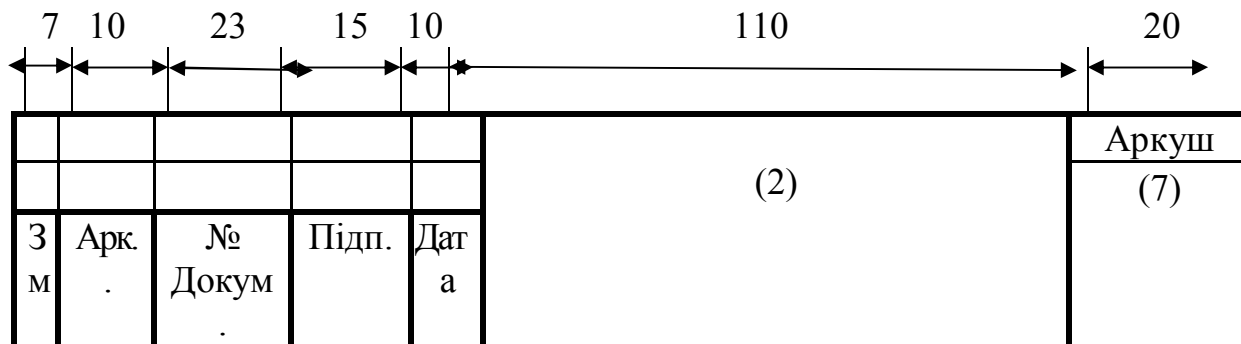


Рис. Д.1.3. Штampi для креслень та текстових документів, виконаних на декількох аркушах (наступні аркуші)

## ЗМІСТ ШТАМПІВ

Розміри усіх горизонтальних рядків дорівнюють 5 мм. Розміри вертикальних колонок вказані на рисунках.

У графах штампів (номери граф на рис. Д1.1– Д1.3 дані в дужках) відповідно до ДСТ 2.104-68 вказують:

(1) – найменування виробу; (2) – позначка документа (найменування теми курсового проекту або збірного креслення, в яке входить деталь); (3) – позначка матеріалу деталі (тільки на кресленнях деталей); (4) – літера, присвоєна даному документу за ДСТ 2.104-68 (у крайній лівій клітинці проставляються Н – навчальний, а в другій клітинці К – курсовий проект); (5) – маса виробу за ДСТ 2.104-68; (6) – масштаб; (7) – порядковий номер аркуша; (8) – загальна кількість аркушів документа (заповнюють тільки на першому аркуші); (9) – найменування або розпізнавальний індекс підприємства, що випустило документ (кафедри, факультету, групи); (10) – характер роботи, виконаної особою, що підписала документ: “Розробив”, “Керівник”, “Консультант з економічної частини”, “Завідувач кафедри”, “Консультант з інших питань”; (11) – прізвища осіб, що підписали документ; (12) – підписи осіб, прізвища яких вказані в графі (11); (13) – дата підписання документа; (14 – 18) – графи змін, які в навчальних документах не заповнюються.

[Зміст](#)

## ТАБЛИЦІ И ХАРАКТЕРИСТИКИ НАМАГНІЧУВАННЯ

Таблиця Д2.1

Таблиця намагнічування для зубців асинхронного двигуна

Сталь 2013

$B$ $Tл$	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
$H, A/m$										
0.4	124	127	130	133	136	138	141	144	147	150
0.5	154	157	160	164	167	171	174	177	180	184
0.6	188	191	194	198	201	205	208	212	216	220
0.7	223	226	229	233	236	240	243	247	250	253
0.8	256	259	262	265	268	271	274	277	280	283
0.9	286	290	293	297	301	304	308	312	316	320
1.0	324	329	333	338	342	346	350	355	360	365
1.1	370	375	380	385	391	396	401	406	441	417
1.2	424	430	436	442	448	455	461	467	473	479
1.3	486	495	504	514	524	533	563	574	584	585
1.4	586	598	610	622	634	646	658	670	683	696
1.5	709	722	735	749	763	777	791	805	820	835
1.6	850	878	906	934	962	990	1020	1050	1080	1010
1.7	1150	1180	1220	1250	1290	1330	1360	1400	1440	1480
1.8	1520	1570	1620	1670	1720	1770	1830	1890	1950	2010
1.9	2070	2160	2250	2340	2430	2520	2640	2760	2890	3020
2.0	3150	3320	3500	3680	3860	4040	4260	4480	4700	4920
2.1	5140	5440	5740	6050	6360	6670	70120	7570	8020	8470
2.2	8920	9430	9940	10460	10980	11500	12000	12600	13200	13800
2.3	14400	15100	15800	16500	17200	18000	18800	19600	20500	21400

## Таблиця намагнічування для зубців асинхронного двигуна

Сталь 2211 и 2312

$B$ $Tл$	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
	<i>H, А/м</i>									
0,4	140	143	146	149	152	155	158	161	164	171
0,5	174	177	180	184	186	190	192	196	198	202
0,6	204	209	213	216	221	224	229	233	237	241
0,7	245	249	253	257	262	267	272	277	282	287
0,8	292	297	302	306	311	316	322	326	331	337
0,9	342	347	353	360	366	372	379	384	390	396
1,0	403	409	417	425	433	440	450	460	470	477
1,1	488	497	509	517	527	537	547	559	570	582
1,2	593	602	613	626	638	651	663	677	695	710
1,3	724	738	755	770	790	804	820	840	857	879
1,4	897	917	936	955	977	1000	1020	1040	1060	1090
1,5	1120	1150	1170	1210	1240	1270	1310	1330	1370	1410
1,6	1450	1490	1530	1560	1610	1650	1690	1750	1790	1840
1,7	1900	1940	2000	2070	2140	2220	2300	2380	2500	2600
1,8	2700	2800	2920	3050	3220	3330	3490	3610	3710	4000
1,9	4160	4350	4600	4800	5030	5330	5430	5790	6130	6420
2,0	6750	7170	7400	7790	8150	8520	9000	9400	9750	10200
2,1	10600	11000	11500	12100	12600	13000	13500	14100	14700	15400
2,2	15900	16500	17300	17800	18500	19100	19600	20300	21100	22000
2,3	23100	24300	25500	26800	28100	29500	30900	32400	33900	36400

## Таблиця намагнічування для зубців асинхронного двигуна

Сталь 2411

<i>B</i> <i>Tл</i>	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,0
	<i>H, А/м</i>									
0,4	72	73	74	75	77	78	79	80	81	82
0,5	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92
0,6	93	94	95	96	97	98	99	101	102	104
0,7	105	106	108	110	110	113	115	117	118	120
0,8	122	124	126	128	130	132	134	136	138	140
0,9	142	144	147	149	151	155	158	160	163	165
1,0	168	171	175	177	180	184	188	191	196	200
1,1	204	207	212	216	222	227	232	237	242	247
1,2	254	259	265	272	277	284	291	289	307	316
1,3	323	333	341	351	361	372	383	394	404	421
1,4	425	432	461	480	497	518	537	554	573	596
1,5	622	644	673	700	728	756	795	828	859	890
1,6	932	976	1020	1070	1130	1180	1260	1350	1440	1520
1,7	1630	1740	1870	2020	2130	2300	2450	2630	2830	3040
1,8	3190	3410	3590	3830	4100	4400	4600	4800	5100	5400
1,9	5700	5900	6300	6600	6900	7200	7700	8100	8300	8700
2,0	9200	9700	10000	10500	10900	11400	12000	12700	13100	13700
2,1	14200	15000	15800	16500	17200	17900	18700	19800	20600	21600
2,2	22600	23700	24600	26100	26900	28700	30000	31400	33200	35400
2,3	37600	39900	42200	44600	47000	49500	52000	54600	57200	59800



Таблиця Д2.4

Таблиця намагнічування для спинки асинхронних двигунів

Сталь 2013

$B$ Тл	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
	$H, A/m$									
0,4	52	53	54	55	56	58	59	60	61	62
0,5	64	65	66	67	69	71	72	74	76	78
0,6	80	81	83	85	87	89	91	93	95	97
0,7	100	102	104	106	108	111	113	115	118	121
0,8	124	126	129	132	135	138	140	143	146	149
0,9	152	155	158	161	164	168	171	174	177	181
1,0	185	188	191	195	199	203	206	209	213	217
1,1	221	225	229	233	237	241	245	249	253	257
1,2	262	267	272	277	283	289	295	301	307	313
1,3	320	327	334	341	349	357	365	373	382	391
1,4	400	410	420	430	440	450	464	478	492	506
1,5	520	542	564	586	608	630	654	678	702	726
1,6	750	788	826	864	902	940	982	1020	1070	1110
1,7	1150	1220	1290	1360	1430	1500	1600	1700	1800	1900
1,8	2000	2160	2320	2490	2650	2810	2960	3110	3270	3420
1,9	3570	3800	4030	4260	4490	4720	4930	5140	5350	5560
2,0	5770	6000	6300	6600	7000	7400	7900	8400	9000	9700

## Таблиця намагнічування для спинки асинхронних двигунів

Сталь 2211 и 2312

$B$ $Tл$	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
	$H, A/m$									
0,4	89	91	93	94	96	98	100	102	104	106
0,5	108	110	113	115	118	120	122	124	126	128
0,6	131	134	136	139	141	144	147	150	153	156
0,7	159	162	166	169	172	176	180	183	186	190
0,8	194	198	201	204	208	212	216	220	223	227
0,9	231	235	239	243	248	252	255	260	265	269
1,0	274	279	284	289	295	300	305	311	318	323
1,1	332	338	344	351	357	367	374	382	390	398
1,2	410	418	426	435	444	455	466	475	487	498
1,3	509	521	533	546	558	572	585	600	618	635
1,4	656	675	695	717	740	763	7889	815	843	870
1,5	905	934	965	1000	1040	1090	1130	1190	1240	1290
1,6	1370	1440	1520	1590	1660	1720	1820	1910	2010	2100
1,7	2180	2310	2410	2550	2610	2720	2840	2980	3130	3290
1,8	3460	3630	3800	3970	4140	4301	4490	4670	4850	5040
1,9	5220	5600	6000	6400	6900	7400	7900	8500	9100	9700
2,0	10400	11100	11800	12500	13300	14100	14900	15800	16700	17600

## Таблиця намагнічування для спинки асинхронних двигунів

Сталь 2411

<i>B</i> <i>Tл</i>	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
	<i>H, А/м</i>									
0,4	48	48	49	50	51	51	52	53	53	54
0,5	55	56	56	57	58	59	60	61	61	62
0,6	63	64	65	66	67	68	69	69	70	71
0,7	72	72	73	74	75	76	76	77	78	79
0,8	81	82	83	84	85	87	88	90	92	94
0,9	96	98	100	102	104	105	107	109	112	114
1,0	116	118	121	124	126	129	132	136	139	143
1,1	146	1510	154	158	162	167	172	176	182	188
1,2	192	198	204	210	216	222	230	238	246	260
1,3	272	288	300	316	330	340	358	370	386	399
1,4	410	440	460	490	530	570	610	660	710	770
1,5	820	890	960	1030	1100	1170	1230	1310	1400	1480
1,6	1560	1640	1730	1820	1920	2000	2100	2260	2440	2600
1,7	2800	2960	3100	3260	3400	3580	3740	3900	4100	4300
1,8	4500	4700	5000	5300	5500	5800	6100	6400	6800	7200
1,9	7600	8000	8500	9100	9700	10300	11100	11900	13100	14200
2,0	16000	18000	20000	22000	23800	25500	27600	29600	31500	33800

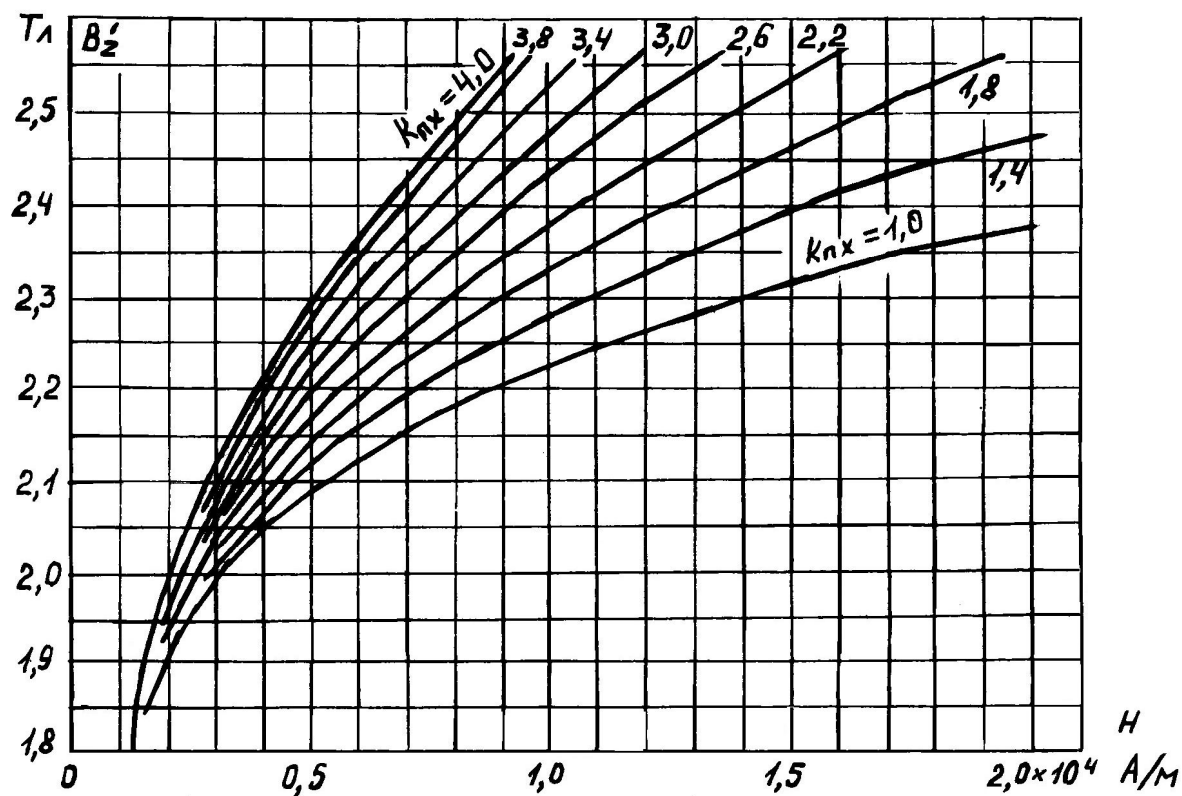


Рис. Д2.1. Характеристики намагнічування сталі 2013

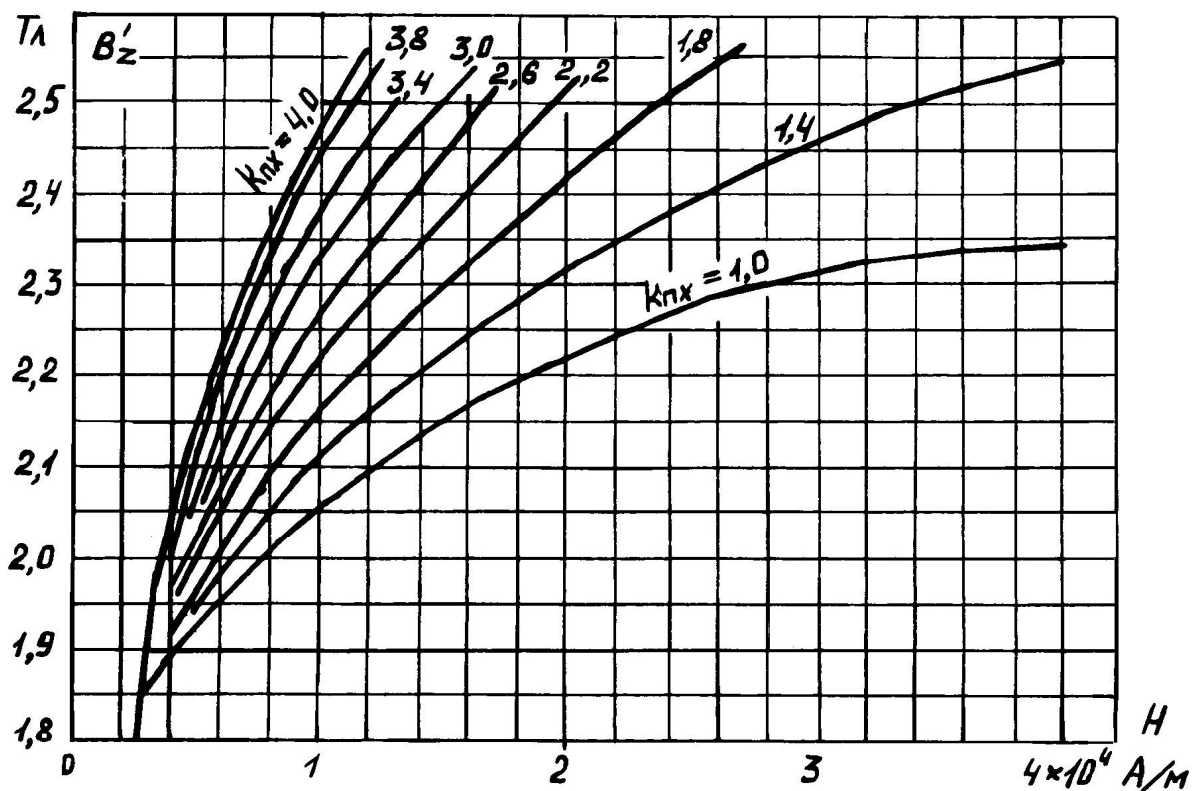


Рис. Д2.2. Характеристики намагнічування сталей 2211, 2312, 2411

[Зміст](#)

## ІЗОЛЯЦІЯ ОБМОТОК СТАТОРА

Таблиця ДЗ.1

Тип обмотки и форма пазів статора

$U_H, В$	$H_0, мм$	$2p$	Тип обмотки	Форма пазів
< 380	50-63	2,4,6	Одношарова всипна концентрична	Напівзакриті трапецоїдні або овальні
< 660	71-160	2,4,6,8		
< 660	180-250	2,4,6,8	Двошарова або одно- двошарова	

Таблиця ДЗ.2

Значення односторонньої товщини ізоляції ( $h_{ік}$ ,  $b_{ік}$ ) АД  
класів ізоляції “В”, “F” з напівзакритими пазами

$H_0, мм$	$h_{ік} (b_{ік}), см$		
	Ізоляція паза	Ізоляція між шарами	Прокладка кріплення обмотки
50-80	0,02	—	0,03
90-132	0,025	—	0,035
160	0,04	—	0,05
180-250	0,04	0,04	0,05

[Зміст](#)

## РОЗМІРИ МІДНИХ ПРОВІДІВ ПЕТВ И ПЕТ-155

Таблиця Д4.1

Діаметри й площини поперечних перерізів круглих проводів марок  
ПЕТВ та ПЕТ-155

Діаметр голого проводу, <i>мм</i>	Діаметр ізолюваног о проводу, <i>мм</i>	Площа перерізу голого проводу, <i>мм<sup>2</sup></i>	Діаметр голого проводу, <i>мм</i>	Діаметр ізолюваног о проводу, <i>мм</i>	Площа перерізу голого проводу, <i>мм<sup>2</sup></i>
0,31	0,345	0,0755	0,9	0,965	0,636
0,33	0,365	0,0855	0,93	0,995	0,636
0,35	0,39	0,0962	0,96	1,025	0,724
0,38	0,42	0,1134	1,00	1,08	0,785
0,41	0,45	0,132	1,04	1,12	0,849
0,44	0,48	0,1521	1,08	1,16	0,916
0,47	0,51	0,173	1,12	1,2	0,985
0,49	0,53	0,188	1,16	1,24	1,057
0,51	0,565	0,204	1,2	1,28	1,131
0,53	0,585	0,221	1,25	1,33	1,227
0,55	0,605	0,238	1,3	1,385	1,327
0,57	0,625	0,255	1,35	1,435	1,431
0,59	0,645	0,273	1,4	1,485	1,539
0,62	0,675	0,302	1,45	1,535	1,651
0,64	0,7	0,322	1,5	1,585	1,767
0,67	0,73	0,353	1,56	1,645	1,911
0,69	0,75	0,374	1,62	1,705	2,06
0,72	0,78	0,407	1,68	1,765	2,22
0,74	0,805	0,43	1,74	1,825	2,38
0,77	0,835	0,466	1,81	1,905	2,57
0,8	0,865	0,503	1,88	1,975	2,78
0,83	0,895	0,541	1,95	2,045	2,99
0,86	0,925	0,581	2,02	2,115	3,2

[Зміст](#)