

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Запорізький національний технічний університет**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до виконання курсового проекту  
з проектування синхронних машин  
з дисципліни «Основи автоматизованого проектування  
електротехнічних пристроїв і електромеханічних систем»  
для студентів спеціальності  
141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»  
(спеціалізація «Електричні машини і апарати»)  
усіх форм навчання

Методичні вказівки до виконання курсового проекту з проектування синхронних машин з дисципліни "Основи автоматизованого проектування електротехнічних пристроїв і електромеханічних систем" для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» (спеціалізація «Електричні машини і апарати») усіх форм навчання / Укл.: І.М. Коцур, О.О. Шлянін. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2018. - 44 с.

Укладачі: І.М. Коцур, доцент, к.т.н.,  
О.О.Шлянін, старш.викл.

Рецензент: В. Г. Савельєв, доцент.

Відповідальний  
за випуск: Г.В. Дьомічева, зав.лаб.

Затверджено  
на засіданні кафедри  
"Електричні машини"  
Протокол № 10  
від «11» травня 2018 р.

Рекомендовано до видання  
НМК Електротехнічного  
факультету  
Протокол № 10  
від «11» травня 2018 р.

## ЗМІСТ

1 Мета та задачі курсового проекту . . . . .	4
2 Завдання, обсяг та зміст курсового проекту . . . . .	5
2.1 Технічне завдання . . . . .	5
2.2 Обсяг курсового проекту . . . . .	5
2.3 Зміст курсового проекту . . . . .	6
3 Методичні вказівки по розділам курсового проекту . . . . .	8
3.1 Стисла характеристика синхронних машин загального призначення . . . . .	8
3.2 Вибір головних розмірів . . . . .	9
3.3 Електромагнітний розрахунок . . . . .	10
3.4 Тепловий та вентиляційний розрахунки . . . . .	14
3.5 Механічні розрахунки . . . . .	14
3.6 Характеристики синхронних машин . . . . .	14
3.7 Розробка конструкції проєктованої машини . . . . .	14
4 Контрольні питання і порядок захисту курсового проекту . . . . .	20
Література . . . . .	22
Додаток А Вхідні дані для виконання проекту . . . . .	23
Додаток Б	
Техніко-економічне порівняння основних показників машини . . . . .	25
Додаток В Приклади конструкцій синхронних машин . . . . .	26

## **1 МЕТА ТА ЗАДАЧІ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ**

**Метою курсового проекту** є поглиблення вивчення матеріалу з розділу "Автоматизоване проектування електричних машин"; засвоєння основних питань, особливостей та інженерної методики проектування сучасних синхронних машин на базі використання новітніх досягнень у галузі розрахунку та їх виробництва; підготовка студентів до самостійного вирішення інженерних задач при проектуванні, виготовленні та експлуатації синхронних генераторів та двигунів.

**Задачі курсового проекту** – розрахунок та проектування синхронних машин згідно технічного завдання з урахуванням нових активних, ізоляційних та конструктивних матеріалів, досвіду та практики електромашинобудівних заводів у галузі проектування та виготовлення електричних машин з урахуванням останніх досягнень, кращих технічних рішень у цій галузі для аналізу та вдосконалення синхронних машин .

## 2 ЗАВДАННЯ, ОБСЯГ ТА ЗМІСТ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ

### 2.1 Технічне завдання

Курсовий проект по проектуванню синхронних машин студенти виконують відповідно із завданням, яке видається керівником проекту на спеціальному бланку. Завдання вміщує такі параметри:

- призначення синхронної машини: генератор або двигун;
- номінальний режим роботи;
- номінальна потужність, що віддається  $P_2$  (кВт);
- кількість фаз обмотки статора  $m_1$ ;
- схема з'єднання фаз обмотки статора;
- частота напруги  $f$  (Гц);
- коефіцієнт потужності  $\cos(\varphi)$ ;
- номінальна лінійна напруга  $U_L$  (В);
- частота обертання ротора  $n_1$ ;
- засіб збудження;
- ступень захисту від зовнішнього впливу;
- засіб охолодження;
- виконання по засобу монтажу;
- кліматичні умови та категорія розміщення;
- форма виступаючого кінця вала;
- спосіб поєднання із приводним механізмом (для двигуна) або приводним двигуном (для генератора).

У додатку А наведені технічні дані різних варіантів проєктованих синхронних машин. Завдання підібрані таким чином, що курсовий проєкт разом із дипломним проєктом складає єдину систему послідовно ускладнюваних взаємопов'язаних проєктів.

### 2.2 Обсяг курсового проєкту

Курсовий проєкт по проектуванню синхронної машини складається з розрахункової й графічної частин.

Розрахункова частина є пояснювальною запискою, оформлення якої повинно бути комп'ютерне з роздрукованим на принтері текстом.

Оформлення рисунків та креслень може бути як комп'ютерним, так і звичайним. Графічна частина проєкту складається із двох листів креслень формату А1: на першому листі подається загальний вигляд

синхронної машини з подовжнім та поперечним розрізами, на другому – окремі вузли та деталі синхронної машини (згідно з вказівками керівника проекту).

Розрахунки ілюструють такими схемами, малюнками та ескізами:

- схема обмотки статора;
- переріз паза статора;
- сегмент осердя статора;
- ескіз полюсу ротора;
- переріз осердя полюса;
- ескіз магнітного ланцюга із зазначенням характерних розмірів та ділянок;
- характеристика холостого ходу (розрахункова та нормальна);
- часткові магнітні характеристики;
- спрощена векторна діаграма Потьє;
- зовнішня, регульовальні, U-подібна, кутова характеристики генератору або пускові, робочі, U-подібні та кутові характеристики двигуна.

### **2.3 Зміст курсового проекту**

Пояснювальна записка до курсового проекту повинна мати всі розділи, вказані в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Обсяг розділів та термін виконання курсового проекту

Найменування розділів	Обсяг розділів, %	Термін виконання по тижням семестру
1 Визначення номінальних величин та вибір головних розмірів.	5	1-й тиждень
2 Електромагнітний розрахунок		
2.1 Розрахунок обмотки статора		
2.2 Розрахунок полюса		
2.3 Розрахунок магнітного ланцюга та побудова хар-к холостого ходу	7	2-й тиждень
2.4 Розрахунок індуктивних опорів розсіювання статора	10	4-й тиждень
2.5 Розрахунок намагнічуючої сили обмотки збудження при навантаженні	5	6-й тиждень
2.6 Розрахунок обмотки збудження і вибір збуджувача	10	7-й тиждень
2.7 Розрахунок параметрів і сталих часу машини	5	7-й тиждень
2.8 Розрахунок струмів КЗ	3	7-й тиждень
3 Втрати і ККД	2	7-й тиждень
4 Тепловий та вентиляційний розрахунки	3	8-й тиждень
5 Механічний розрахунок вала	2	9-й тиждень
6 Розрахунок і побудова характеристик: зовнішньої й регулювальної для генератора, пускових і робочих для двигуна	15	10-й тиждень
7. Розробка та опис конструкції (виконання графічних робіт у тонких лініях)	18	11-й тиждень
8 Оцінка розробленої конструкції з урахуванням навколишнього середовища, економія природних ресурсів	3	12-й тиждень
9 Завершення графічних робіт та оформлення пояснювальної записки	10	13-14-й тиждень
Усього	100	

### **3 МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ПО РОЗДІЛАМ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ**

Перед виконанням проекту студент повинен ознайомитись з теоретичним матеріалом, викладеним у відповідних розділах [1;5;6;7]. Це необхідно для розуміння фізичних процесів і закономірностей, виражених розрахунковими формулами, а також для того, щоб, уникнути випадкових помилок.

#### **3.1 Стисла характеристика синхронних машин загального призначення**

Синхронні машини (СМ) загального призначення випускають окремими серіями. Кожна серія складається з ряду машин у визначеному інтервалі потужностей (і частот обертання), з'єднаних спільністю конструкції. Їх виконують на деяких нормалізованих зовнішніх діаметрах, котрі визначають габарит машин. При однаковій частоті обертання машини близьких потужностей мають однакову поперечну геометрію і відрізняються довжиною. Більшість типів синхронних двигунів випускають із номінальною напругою 380, 660, 6000, 10000 В (в окремих випадках на напругу 3000 В) для привода конкретних типів механізмів: компресорів, різноманітних млинів, вентиляторів, насосів, гумозмішувачів, грануляторів, екскаваторних агрегатів і т.д.

Найбільш розповсюджені серії явнопольосних СД мають таку структуру позначення:

$$\begin{array}{cccc} X & - & X & - & X & - & X \\ 1 & & 2 & & 3 & & 4 \end{array}$$

де 1 – повна назва серії та номер модифікації, 2 – умовне позначення габарита, 3 – довжина осердя статора, 4 – кількість полюсів.

Сьогодні явнопольосні синхронні двигуни загального призначення випускаються серіями СД2 (13,14 габарит), СДН2 (16,17 габарит), СДН3-2 (18-21 габарит), СДМ3-2 (22-24 габарит), СДК2 (16,17 габарит), СДКП (16,18 габарит), СДКП2 (18-21 габарит).

Синхронні генератори загального призначення виконують з явнопольосними роторами і використовують у парі із двигунами внутрішнього згоряння або електродвигунами. Синхронні генератори випускаються серіями СГ2 потужністю 100-1000 кВт при осі обертання  $h$  до 450 мм (13,14 габарити), СГД2 (16,17 габарити), ОС, ЕСС, ЕСС5 у діапазоні потужностей від 4 до 100 кВт (5-9 габарити).



Трифазні синхронні генератори серії ЕСС виконуються з горизонтальним валом і аксіальною вентиляцією в захисному виконанні IP23. Ці генератори призначені для тривалого режиму роботи в пересувних і стаціонарних електропристроях в якості джерела трифазної змінної напруги 230 і 400 В з частотою  $f=50$  Гц і  $\text{Cos}\varphi=0.8$ . Генератори виконують з самозбудженням від додаткової обмотки, закладеної в пази статора. Трифазні синхронні генератори СГ2 і двигуни також виконуються двополюсними з горизонтальним валом і радіальною системою охолодження, що забезпечується вентиляційною дією полюсів ротора і вентиляційними лопатками.

### 3.2 Вибір головних розмірів

Проектування СМ потрібно розпочинати з вибору головних розмірів: внутрішнього діаметра статора  $D_1$  і розрахункової довжини осердя статора  $l_\delta$  машини.

Попереднє значення діаметру  $D_1$ , визначають по максимально допустимому значенню зовнішнього діаметру осердя статора  $D_{h1\text{max}}$  в залежності від висоти осі обертання  $h$ . Отримане значення  $D_{h1\text{max}}$  округляють до найближчого нормалізованого діаметру, значення якого приведено [3].

Нормалізовані діаметри одержують, виходячи з найбільш економного розкрою листів електротехнічної сталі. Внутрішній діаметр осердя статора  $D_1$  можна визначити, користуючись залежністю  $D_1=f(D_{h1})$  з урахуванням кількості полюсів машини  $2p$ .

Для визначення розрахункової довжини осердя статора машини по отриманим значенням діаметра  $D_1$  і полюсній поділці  $\delta$  необхідно вибрати лінійне навантаження статора  $A$  та значення магнітної індукції в повітряному зазорі  $B_\delta$  при номінальному навантаженні.

Знайдені значення  $A$  і  $B_\delta$  потрібно розглядати як попередні. Надалі при необхідності їх можна змінити.

Визначивши розрахункову довжину  $l_\delta$  машини, знаходять відношення  $\lambda=l_\delta/\tau$  від якого залежить ряд показників машини. Отримане значення  $\lambda$  повинно бути в припустимих межах [3, рис 11.10]

У протилежному випадку необхідно змінити діаметр  $D_{h1}$ .

### 3.3 Електромагнітний розрахунок

#### Розрахунок обмотки та зубцевої зони статора

Для СМ загального призначення звичайно обирають двошарову петлеву обмотку з  $u < \tau$  із числом ефективних провідників у пазу  $U_p > 2$ , яке при двошарових обмотках повинно бути парним. Кожний ефективний провідник складається з деяких елементарних провідників із площею поперечного перерізу 12 ... 20 мм<sup>2</sup>. Струм у такому складеному провіднику допускається 150 ... 200 А.

При виборі числа паралельних гілок  $a$  потрібно виконувати умови знаходження струму паралельних віток у межах 50 ... 150 А. Вибір числа пазів  $Z_1$ , потрібно виконувати з урахуванням ряду обставин, що впливають на техніко-економічні показники проектованої машини. При цьому можна починати з розміру зубцевої поділки

$$t_1 = p \frac{D_{h1}}{Z_1}$$

Обране число зубців статора  $Z_1$ , повинно задовольняти наступним вимогам:  $Z$  повинно бути кратним числу фаз  $m$  та числу паралельних гілок  $a$ , так як  $Z/a$  – ціле число; число пазів на полюс і фазу  $q_1 = Z/2mp$  повинно бути цілим, або дробовим у вигляді  $q_1 = b + c/d$  (де  $b$  – ціле число), а  $c/d$  правильний не скорочений дріб, причому  $d$  не повинно бути кратне числу фаз  $m$  і повинно бути меншим від числа пар полюсів.

Для синхронних машин загального призначення при  $2p < 8$  як правило  $q_1$  – ціле число, а при  $2p > 8$  і малому значенні полюсної поділки  $2p$  можна обирати із дрібним  $q_1$ .

Відношення числа полюсів до числа паралельних віток  $2p/a$  повинно задовольняти наступним вимогам:

- при цілому  $q_1$  – відношення  $2p/a$  – ціле число;
- при дробовому  $q_1$  – відношення  $2p/a$  – ціле число.

Для машин із зовнішнім діаметром  $D_{h1} > 990$  мм для зручнішого сегментування, потрібно, щоб, число пазів розкладалося на як можна більшу кількість множників (2,3,5).

Для СМ потужністю до 100 кВт при  $U \leq 500$  В для статора частіше всього застосовуються напівзакриті пази і всипні петлеві обмотки із круглого дроту. Пази мають трапецієподібну або грушоподібну форму. Число пазів на полюс і фазу беруть цілим та

обирають від 3 до 5. Велике значення  $q_1$  беруть для машин із меншим числом полюсів.

Особливості конструкції обмотки, вибору її типу й форми пазів статора в залежності від потужності, номінальної напруги і висоти осі обертання викладені [3, 9-4, 11-4].

Далі уточнюють число ефективних провідників у пазу  $U_p$ , зубцевий крок  $t_1$ , та лінійне навантаження  $A$ . При відхиленні  $A$  від раніше обраного значення на 5 % потрібно змінити  $t_1$ . При цьому обирають інше значення або число паралельних віток. Маючи зубцевий крок  $t_1$ , визначають ширину пазу попередньо  $b_p = (0.34..0.5) \cdot t_1$

Великі значення відносяться до машин менших розмірів. Ширину пазу беруть тим більшою, чим більша напруга машини і товстіша ізоляція. Остаточну ширину пазу визначають після вибору провідників обмотки і їх ізоляції.

Враховуючи, що СМ є машини із самозбудженням, в пазах статора, крім основної обмотки, розташовується додаткова обмотка, від якої живиться обмотка збудження через тиристорний перетворювач. Розрахунок додаткової обмотки викладені [3, 11-4].

При розрахунку висоти пазу статора  $h_{п1}$  необхідно врахувати розміри провідників основної і додаткової обмоток, а також наявність ізоляції між ними.

### **Розрахунок магнітного ланцюга**

Для побудови характеристики намагнічування  $\Phi=f(F_{z0})$  і характеристики холостого ходу  $E=f(F_{z0})$  СМ необхідно виконати розрахунок магнітного ланцюга. Розрахунок зводиться до визначення МРС обмотки збудження при п'яти значеннях магнітного потоку  $\Phi$  і відповідної йому ЕРС обмотки статора

$$E=(0,25; 0,5; 0,75; 1,0; 1,25) E_n$$

МРС складається з суми МРС окремо послідовно сполучених ділянок магнітного ланцюга: повітряний зазор  $\delta$  між полюсним наконечником ротора та осердям статора; зубцева ділянка статора  $L_{z1}$ ; спинка статора  $L_{c1}$ ; спинка ротора  $L_{c2}$ ; осердя полюса з урахуванням полюсного наконечника  $L_n$ ; зазор у стику полюса й осердя ротора  $\delta_{п2}$ .

Магнітний ланцюг СМ симетричний, тому розрахунок МРС ведуть на один полюс [3, 9] або на пару полюсів [10].

При проектуванні СМ для осердя статора потрібно вибирати електротехнічну сталь марки 2013 або 2312, для більш потужних машин марки 2411, таблиці намагнічення яких наведені [3 дод. 5, 11, 14]. Осердя полюса й остов (спинка) ротора виконуються з конструкційної сталі марки Ст3, таблиця намагнічення якої наведена в [13 дод. 213].

Послідовність і методика розрахунку магнітного ланцюга наведені в [13, 11 – 6].

На підставі результатів розрахунку будують характеристику ХХ і характеристики намагнічування. Розрахункову характеристику ХХ треба порівняти з нормальною, яку будують по даним, наведеним [3, 9, 10]

Розходження розрахункової й нормальної характеристики в робочій зоні не повинно перевищувати 15%.

За даними розрахунку визначають коефіцієнт насичення магнітної системи, який повинен знаходитись в межах 1.15 .. 1.35.

#### **Розрахунок намагнічуючої сили обмотки збудження при навантаженні**

Для розрахунку МРС обмотки збудження, яка необхідна для створення номінального магнітного потоку при навантаженні, слід враховувати вплив реакції якоря машини. Для кількісного врахування реакції якоря на магнітне поле машини зручніше МРС реакції якоря  $F_d$  та поперечну  $F_q = F_a \cdot \cos \psi$ . Тут  $\psi$  кут зсуву між струмом якоря та ЕРС, наведеною результуючим поздовжнім потоком.

МРС обмотки збудження при навантаженні можна визначити за допомогою векторної діаграми Блонделя і часткових характеристик намагнічування машини.

$$\Phi = f(F_c) = f(F_n + F_{cn.2})$$

$$\Phi = f(F_{\delta.з.с}) = f(F_{\delta} + F_{31} + F_{cn.2})$$

$$\Phi_{\delta} = f_1(F_{\delta.з.с}) = f_1(F_{\delta} + F_{31} + F_{cn.2})$$

При побудові часткових характеристик намагнічування і векторної діаграми у відносних одиницях за базисні приймають значення магнітного потоку  $\Phi$  при номінальній фазній напрузі і відповідній МРС обмотки збудження.

Часткові характеристики намагнічування будують за даними розрахунку магнітного ланцюга машини. Порядок побудови часткових характеристик і векторної діаграми Блонделя викладені [3,9].

Внаслідок побудови знаходять МРС обмотки збудження СМ при навантаженні у відносних одиницях  $F_{z0}^*$ .

Для визначення МРС обмотки збудження при навантаженні машини можна використовувати діаграму МРС, порядок побудови якої викладений [1; 5; 7]. За діаграмою ЕРС можна також побудувати зовнішню характеристику генератора  $U=f(I)$ .

### **Витрати та ККД СМ**

При розрахунку ККД машини необхідно врахувати всі види втрат.

Основні та додаткові втрати в сталі

Основні втрати в сталі створюються основним магнітним потоком  $\Phi$  і виникають у спинках та зубцях статора, їх визначають за методикою, викладеною [3, 9-9]. Додаткові втрати в сталі складаються з поверхневих втрат у полюсних наконечниках. Ці втрати залежать від амплітуди коливань, товщини листів полюсного наконечника, їх магнітної проникності і питомого опору [3, 11-11].

Основні електричні втрати і втрати на збудження

До основних електричних втрат належать втрати в обмотці статора (з урахуванням додаткової обмотки). Втрати на збудження у СМ складаються з втрат у обмотці збудження та втрат у щітковому контакті. Додаткові втрати при навантаженні виникають у сталі та обмотці статора за рахунок полів розсіювання. Наближено додаткові втрати визначають у (%) відсотках від потужності машини. Згідно з ДЕСТ 11828-93 для СМ потужністю до 1000 кВ·А -  $R_d=0.005 \cdot P_{2n}$ , а для машин потужністю більше 1000 кВ·А -  $R_d=(0.0025-0,004) \cdot P_{2n}$ .

Механічні втрати складаються із втрат на тертя в підшипниках, щіток контактних кілець, обертових частин машини об повітря й втрати на вентиляцію.

Коефіцієнт ККД при номінальному навантаженні

$$\eta = \frac{1 - P_e}{P_{2n} - P_e} 100\%$$

### **3.4 Тепловий та вентиляційний розрахунки**

Метою теплового розрахунку є визначення теплового стану активної частини машини у порівнянні з навколишнім повітрям.

Для проєктованої машини необхідно визначити: перепад температури в пазовій ізоляції обмотки статора; перевищення температури зовнішньої поверхні статора над температурою повітря, що охолоджує; середнє перевищення температури обмотки статора та обмотки збудження.

Вентиляційний розрахунок ведеться з метою визначення втрат повітря, необхідного для охолодження машини та напору вентилятора, що забезпечує подачу необхідної кількості повітря.

Проєктовані СМ виконуються самовентильюючими. Особливості, при  $h \leq 315$  – з аксіальними, а при  $h \geq 315$  – з радіальною системою охолодження, вентиляційного розрахунку СМ викладені [3; 5-3; 11-13, 9].

### **3.5 Механічні розрахунки**

Повний обсяг механічних розрахунків визначається керівником проєкту.

Обов'язково потрібно зробити розрахунок валу, а в окремих випадках ще й хвостовика полюса ротора, оскільки їх результати визначають розміри машини.

Приклади механічних розрахунків елементів наведені в [9, 9-6; 3, 3-3; 9-6 – 9-8].

### **3.6 Характеристики синхронних машин**

Робочі властивості СМ визначаються її характеристиками. Для генераторів основні характеристики: регульовальна, зовнішня, кутова і U-подібна; для двигунів: робочі, кутові, U-подібна. Для побудови регульовальних, зовнішніх і U-подібної характеристики використовують векторні діаграми СМ. Порядок побудови характеристик СМ викладений в [9, 9-17; 10, 14-11; 3, 11-12]

### **3.7 Розробка конструкції проєктованої машини**

Конструктивну частину курсового проєкту виконують на двох аркушах. У неї входять: поздовжній та поперечний розріз машини; креслення окремих деталей та вузлів (видаються викладачем). Усі креслення виконуються згідно з ЕСКД. Специфікацію потрібно виконати на окремих аркушах та підшити ПЗ.

У специфікацію загального огляду виносять 20 .. 25 основних деталей та вузлів і вказують матеріали, з яких вони виготовлені.

Конструювання потрібно розпочинати з розробки подовжнього та поперечного розрізів машини. При цьому повинні бути враховані технологічність конструкції, її економічність, вигідність в експлуатації та ремонті, надійність. При конструюванні закладаються основні технології виготовлення машини. Тому необхідно уявляти, яким чином будуть виготовлені кожний проєктований вузол, або деталь, та яким чином здійсниться її обробка.

Кращим вважається такий варіант конструкції машини, що забезпечує: мінімальні розміри та масу; достатню надійність у роботі; вигідність обслуговування при експлуатації; простоту виготовлення; низьку вартість; широку уніфікацію вузлів та деталей і гарний зовнішній вигляд.

Основними матеріалами для розробки конструкції СМ є заводські креслення машини даного типу, близької до заданої потужності і конструктивному виконанню. Ці креслення можна знайти в каталогах і довідниках по ЕМ. У зв'язку з обмеженістю кількості цих матеріалів у додатку В приведені загальні види різних типів цих СМ, які входять у завдання до курсового проєкту.

Неприпустимо механічне копіювання заводського креслення нетипової машини. Існуючі креслення необхідно ретельно вивчити, критично оцінити конструкцію і намітити шляхи її поліпшення й удосконалення.

Виконання креслення загального виду слід розпочинати із встановлення розмірів активної частини подовжнього розрізу, поступово переходячи до периферії: осердя статора; лобових частин обмотки; щитів; підшипників; ротору.

Порядок розробки конструкції наступний:

- вибір засобу кріплення та пресування осердя статора в корпусі;
- вибір конструкції та розмірів корпусу;
- вибір конструкції щитів запобіжних або підшипникових;
- вибір засобу кріплення полюсів до остова ротора;
- вибір засобу кріплення котушки на полюсі;
- вибір конструкції демпферної та пускової обмотки ротора;
- вибір конструкції остова ротора;
- вибір конструкції та розмірів валу;

– вибір типу підшипників.

При виборі конструкції СМ потрібно враховувати форму виконання машини та засоби вентиляції.

### **Осердя статора**

Розміри осердя статора визначають при електромагнітному розрахунку машини.

Листи електротехнічної сталі осердя товщиною 0,5 мм повинні бути цільнопресовані, щоб при роботі машини повністю виключалася можливість їх відносного переміщення. При зовнішньому діаметрі осердя статора  $D \geq 990$  мм виконуються з сегментів, а при  $D < 990$  мм з цілих дисків. Щоб запобігти коливанню листів необхідно забезпечити щільність їх шихтовки і стяжку в осьовому напрямку.

Осердя статора при суцільних листах кріпляться в станині за допомогою нажимних фланців та шпонок, а при сегментних листах стяжними шпильками.

Для поділу осердя статора на пакети по довжині до крайніх листів пакетів прикріплюють чи приварюють точковим зварюванням вентиляційні розпірки. Їх виготовляють зі спеціальної профільної сталі. Через канали, створені вентиляційними розпірками, здійснюється радіальна вентиляція машини. Довжина пакету приймається 40 .. 50 мм, а ширина вентиляційного каналу 10 мм. Для зменшення віяла зубців статора, до крайніх листів кінцевого пакету осердя прикріплюють натискуючі пальці прямокутного розрізу.

### **Конструкція і розміри корпусу статора**

Корпус статора СМ у залежності від її потужності і висоти осі обертання може виготовлятися литвом з чавуну, чи зі сталі або зварений з листової сталі. Для СМ, що мають діаметр розточки статора не більше 600 мм звичайно застосовується литий корпус. У них на внутрішній поверхні корпусу відлиті ребра на яких пресуються пакети статора. Осердя статора кріпиться в корпусі статора за допомогою натискуючих фланців і шпонок, врізаних у ребра корпусу.

Корпус СМ із розточкою статора 600 мм і більше виконується зварним.

### **Підшипникові щити**

Підшипникові щити виготовляють зварними або литими зі сталі, або чавуну. Ці щити запобігають попаданню в машину сторонніх



предметів, спрямовують рух повітря для її охолодження та сприймають навантаження від ротора.

Конструктивно ці щити подібні до щитів асинхронних машин та машин постійного струму.

### **Полюси**

Полюси СМ виконують в основному шихтованими зі сталевих пластин, що штампуються з товщиною 1 .. 2 мм. Полюсному наконечнику надається необхідна конфігурація для наближення форми поля до синусоїди.

Кріплення полюсів до остову може здійснюватися за допомогою болтів, ласточкиних або Т-подібних хвостів. Вибір засобу кріплення полюсу до остову ротора залежить від потужності машини, сил, діючих на полюс під час роботи машини, і від конструкції остова ротора.

Шихтовані полюси по торцях мають натискуючі фланці. Вони забезпечують більш рівномірний обжим листів полюса, і слугують для закріплення обмотки збудження.

В осевому напрямку полюси стягуються з допомогою заклепок, або стяжних шпильок.

### **Котушки полюсів**

Котушки обмотки збудження, для генераторів потужністю до 100 кВт виготовляються зі звичайного круглого проводу, а для СМ потужністю понад 100 кВт із голої полосової міді, зігнутої на ребро.

Осердя полюсів ізолюється залежно від класу та ізоляції машини. Котушки мають тільки міжвиткову ізоляцію. Добре опресовані і запечені вони насаджуються на ізольовані полюсні наконечники. По торцях котушок встановлюються гетинаксові рамки товщиною 5 .. 10 мм. Рамки повинні виступати за зовнішній контур котушки на 7 .. 10 мм.

Котушки обмотки збудження виконують однорядними або багаторядними. Багаторядні котушки мають скошену форму зовнішньої частини полюса.

Відстань між котушками в нижній частині полюса повинна бути не менше 7 мм. Якщо такий зазор не отримується, його досягають перерозподілом деяких нижніх витків у верхню частину котушки.

Котушки між собою єднують за допомогою міжкотушкових з'єднань, виконаних з ізолюваного гнучкого проводу.

Демпферна (пускова) обмотка складається зі стрижнів та сегментів. Діаметр, число стрижнів і крок між стрижнями, а також матеріал, з якого вони виготовляються, беруть з електромагнітного розрахунку.

Короткозамкнені сегменти замикають усі стрижні з торців полюсу і з'єднуються із сегментами сусідніх полюсів, створює кільце. У цьому разі демпферна обмотка має назву подовжньо-поперечної. Якщо сегменти сусідніх полюсів не з'єднуються між собою, то обмотка має назву подовжня і застосовується у тихохідних генераторах.

### **Остов ротора**

Конструкція остова ротора залежить від частоти обертання і діаметра валу. У машинах малої потужності остов виготовляють спільно з валом.

У тихохідних машинах застосовують литі остови. При обводовій швидкості на ободі остова, що перевищує 30 м/с, застосовують сталеву зварну конструкцію, або шихтовану зі сталевих листів товщиною 2 ... 4 мм. Листова сталь витримує значно більші напруги, ніж сталеве лиття.

Остов насаджується на вал пресовою посадкою. У машинах із важкими умовами роботи остов закріплюється від обертання за допомогою шпонки.

### **Контактні кільця та щіткова траверза**

Контактні кільця використовують для підводу струму збудження від збуджувача до обертової обмотки полюсів. Кільця виготовляють із чавуну або зі сталі, а при струмі збудження більше 1000 А – із броні. Контактні кільця насаджуються в нагрітому стані на ізолювану чавунну або сталеву втулку. У машинах малої потужності інколи контактні кільця заливають пластмасою по аналогії з колекторами машин постійного струму. Для сполучення з обмоткою збудження в кожне кільце вгвинчується контактний гвинт, що ізолюється від сусіднього кільця міканітовою трубкою. Втулка з кільцями в нормальних машинах насаджується на вал між

підшипником і остовом ротора, або кріпиться до торця вала за підшипниковим щитом.

Розміри та діаметр контактних кілець залежить від діаметру шийки вала і конструктивних особливостей машини.

На контактні кільця накладаються щітки, вмонтовані в щіткотримачі, що закріплені на сталевих оцинкованих або мідних шинах, зігнутих на ребро напівкільця. Шини закріплюються на сталевих ізольованих гвинтах, укріплених у приливах на кришці підшипника.

### **Підшипники**

У машинах серії СД використовують підшипники кочення: з боку контактних кілець – однорядний підшипник кочення, з боку привода – однорядні роликові.

У машинах серії СДН2 можуть використовуватися як підшипники кочення, так і підшипники ковзання. Усі машини серії СДН3 мають підшипники ковзання. Обирають підшипники по довіднику з обов'язковим зазначенням типу підшипника та його номеру.

Розроблену конструкцію спроектованої машини потрібно оцінити з точки зору охорони навколишнього середовища, економії природних ресурсів.

## 4 КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ І ПОРЯДОК ЗАХИСТУ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ

Повністю виконані курсові проекти студенти здають на перевірку керівнику проекту не пізніше ніж за 3 дні до захисту проекту. Керівник приймає рішення про допуск студента до захисту проекту.

Графік захисту курсових проектів складається керівником під час консультацій, затверджується завідуючим кафедрою та вивішується на дошці об'яв. Захист курсового проекту проводить комісія в складі 2-3 викладачів.

На початку захисту студент робить стисле повідомлення про виконаний проект (протягом 5 .. 7 хв.). У цьому повідомленні він повинен викласти завдання на проект, розповісти про отримані технічні дані машини, її конструкції, параметри та характеристики, порівняти отримані розрахункові дані з даними аналогічних машин.

Під час захисту курсового проекту студент повинен уміти пояснити фізичний зміст окремих величин, розуміти їх значення та знати порядок, уміти пояснити вплив окремих геометричних, магнітних та електричних параметрів на техніко-економічні показники спроектованої машини.

Студент повинен уміти відповісти на питання викладачів пов'язані з особливостями електромагнітного, теплового, вентиляційного та механічного розрахунку машини.

Після захисту проекту комісія приймає рішення про оцінку, а за відсутності у студента необхідного рівня знань - про повторний захист. В окремих випадках комісія (керівник проекту) може прийняти рішення про видачу нової теми проекту.

При захисті курсового проекту студент повинен чітко обґрунтувати прийняті їм конструктивні рішення, відповісти на наступні питання:

Призначення спроектованої синхронної машини.

Вимоги, що пред'являються до синхронних машин.

Від яких параметрів залежать головні розміри машини?

Як обирається тип обмотки статора?

Дати визначення основного магнітного потоку.

На яких ділянках магнітного ланцюга створюється найбільший спад магнітного потенціалу?

ОКЗ синхронної машини, його фізичний зміст.

Дайте визначення коефіцієнту насичення, його допустимої межі.

Як впливає цей коефіцієнт на габаритні розміри машини?

Коли ККД машини сягає максимального значення?

Розповісти про засіб кріплення осердя статора в корпусі спроектованої машини.

На підставі чого обираються підшипники?

Чому в синхронній машині в лівому та правому підшипниковому щиті ставлять різні підшипники?

Перерахуйте та охарактеризуйте існуючі системи охолодження синхронної машини.

У чому полягає тепловий і вентиляційний розрахунки синхронних машин?

З яких марок сталі виготовляється осердя статора?

На які параметри машини впливає форма полюсного наконечника?

Як кріпиться осердя полюса до остову ротора?

Призначення демпфуючої обмотки, технологія її виготовлення.

Що являє собою регульовальна характеристика синхронного генератора?

Чому характеристика холостого ходу синхронних машин нормалізуються?

Допустиме відхилення розрахункової характеристики холостого ходу від нормальної.

Призначення остова ротора, засоби кріплення його на валу.

Конструкція та призначення контактних кілець і щіткового апарату.

Чому обмотка статора генератора виконується з укороченим кроком?

Яким чином здійснюється включення спроектованої машини на паралельну роботу з мережею?

Яка кратність ударного струму в машині?

Які впливи на обмотку статора робить ударний струм?

Як визначається внутрішній діаметр статора?

Особливості розрахунку МРС зубцевої ділянки.

Порядок побудови зовнішніх характеристик.

Порядок визначення МРС обмотки збудження.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Вольдек А.И. Электрические машины. – Л.: Энергия, 1974. -
2. 839 с.
3. Генераторы трехфазные синхронные мощностью свыше 100 кВт  
Общие технические условия. ГОСТ 14965-80. – М.: Изд-во стандартов, 1980. – 19с.
4. Гольдберг О.Д., Гурин Я.С., Свириденко И.С. Проектирование электрических машин. – М.: Высш. шк., 1964. – 430с.
5. Домбровский В.В., Хуторецкий Г.М. Основы проектирования электрических машин переменного тока. – Л.: Энергия, 1974. – 503с.
6. Иванов-Смоленский А.В. Электрические машины. – М.: Энергия, 1980. – 926с.
7. Копылов И.С. Электрические машины. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 360с.
8. Костенко М.П., Пиотровский Л.М. Электрические машины. – М.: Энергия, 1972. – Ч. 1. – 815с.: Ч. 2. – 712с.
9. Машины электрические трехфазные синхронные, методы испытаний. ГОСТ 10169-77. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 77с.
10. Проектирование электрических машин. Под ред. И.П.Копылова. – М.: Энергия, 1980. – 495с.
11. Сергеев П.С., Виноградов Н.В., Горяйнов Ф.А. Проектирование электрических машин. – М.: Энергия, 1969. – 632с.
12. Электротехнический справочник. Т2. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 711с.
13. Яримбаш, Д. С. Розрахунок параметрів головних шинних пакетів секцій печей графітації змінного струму [Електронний ресурс]: навчальний посібник / Д. С. Яримбаш, С. Т. Яримбаш – Електрон. дані. – Запоріжжя : ЗНТУ, 2017. ISBN 978-617-529-171-9 Режим доступу: <http://eir.zntu.edu.ua/handle/123456789/2682>
14. Міщенко, Т. М. Перспективи схемотехнічних рішень і моделювання підсистем електричної тяги при високошвидкісному русі поїздів / Т. М. Міщенко // Електротехніка та електроенергетика. - 2014. - № 1. - С. 19-28.
15. Трушевський, В. Е. Застосування автоматичних стрілок тролейбусу як детекторів в системах світлофорного авторегулювання / В. Е. Трушевський // Електротехніка та електроенергетика. - 2014. - № 1. - С. 29-31.

16. Ершов, А. В. Конвективный и лучистый теплообмен при плавлении проволоки в струе дуговой плазмы / А. В. Ершов, Е. А. Зеленина // *Электротехника та електроенергетика*. - 2014. - № 1. - С. 37-42.
17. Крисан, Ю. О. Модернізація лабораторного стенда дослідження асинхронного електропривода / Ю. О. Крисан // *Електротехніка та електроенергетика*. - 2014. - № 1. - С. 49-54.
18. Ярымбаш, Д. С. Повышение энергоэффективности электротехнического комплекса графитации при модернизации боковых шинных пакетов мощных печей графитации / Д. С. Ярымбаш, С. Т. Ярымбаш // *Вісник СевНТУ: зб. наук. пр. Вип. 132/2012. Серія: Механіка, енергетика, екологія*. 2012. С. 93–100
19. Сивокобыленко, В. Ф. Совершенствование пусковых органов бавр в системах электроснабжения с двигательной нагрузкой / В. Ф. Сивокобыленко, С. В. Деркачев // *Электротехника та електроенергетика*. - 2014. - № 1. - С. 61-67.
20. Килимник, И.М. Повышение эффективности обработки информации при регистрации контролируемых параметров в системах автоматического управления / И.М. Килимник, Д.С. Ярымбаш // *Радіоелектроніка. Інформатика. Управління*. 2007. – № 1. – С. 68 – 73
21. Ткаченко, С. Н. Энергосистема будущего. Концепция smart grid. Специфика реализации на Украине / С. Н. Ткаченко // *Електротехніка та електроенергетика*. - 2014. - № 1. - С. 68-73.
22. Ярымбаш, Д.С. Повышение эффективности управления режимами электрического обогрева при прессовании заготовок подовых блоков / Д.С. Ярымбаш, А.В. Тютюнник, О.Л. Загрунный // *Электротехника и электроэнергетика*. – Запорожье: ЗНТУ, 2006. – № 2. – С. 56 – 60.
23. Немудрый, И. Ю. Повышение эффективности преобразования энергии в ветроэлектрических установках с аэродинамической мультипликацией / И. Ю. Немудрый // *Електротехніка та електроенергетика*. - 2014. - № 1. - С. 79-86.
24. Андриенко, П.Д. Особенности моделирования температурного состояния технологической системы как объекта управления / П.Д. Андриенко, Д.С. Ярымбаш // *Електромашинобудування та електрообладнання*, 2006. №66 – С. 291–293.
25. Морозов, Д. І. Вентильний двигун постійного струму на базі синхронної машини оберненої конструкції / Д. І. Морозов, І. С. Шевченко // *Електротехніка та електроенергетика*. - 2014. - № 2. - С. 6-12.

26. Власенко, Р. В. Порівняння методів компенсації неактивної потужності трифазним силовим активним фільтром з адаптивним релейним регулятором струму / Р. В. Власенко, О. В. Бялобржеський // Електротехніка та електроенергетика. - 2014. - № 2. - С. 20-27.

27. Ярымбаш, С. Т. Идентификация характеристик системы резистивно-индукционного нагрева для транспортировки хлора методами математического моделирования / С. Т. Ярымбаш, И. М. Килимник, Д. С. Ярымбаш, Д. А. Литвинов // Материалы МНТК «ПАЭП. Теория и практика». – Харьков, 2010. – С. 320–324.

28. Михайленко, В. В. Аналіз електромагнітних процесів у дванадцятипульсному напівпровідниковому перетворювачі з п'ятизонним регулюванням вихідної напруги / В. В. Михайленко, В. І. Чибеліс, Ю. П. Орлиця, О. Р. Трофименко // Електротехніка та електроенергетика. - 2014. - № 2. - С. 28-31.

29. Андриенко, П. Д. Особенности непрерывного контроля характеристик влагосодержания изоляции маслонаполненного электрооборудования / П. Д. Андриенко, А. А. Сахно, С. П. Конограй, Л. С. Скрупская // Електротехніка та електроенергетика. - 2014. - № 2. - С. 32-40.

30. Ярымбаш, Д. С. Анализ электромагнитных и термоэлектрических процессов в печах Ачесона / Д. С. Ярымбаш // Энергозбереження. Енергетика. Енергоаудит, 2014. №6 – С. 11 – 21.

31. Задорожня, И. Н. Анализ свойств систем автоматического управления двухмассовым электроприводом при синтезе параметров на основе стандартных характеристических полиномов / И. Н. Задорожня, Н. А. Задорожний // Електротехніка та електроенергетика. - 2014. - № 2. - С. 54-58.

32. Ярымбаш, Д. С. Численно-полевой анализ электромагнитных и электротепловых процессов в шинных пакетах печей графитации / Д.С. Ярымбаш // Ползуновский вестник. – 2013. – №4–2. – С. 216–222

33. Тиховод, С. М. Моделирование переходных процессов в трансформаторах на основе магнитоэлектрических схем замещения / С. М. Тиховод // Електротехніка та електроенергетика. - 2014. - № 2. - С. 59-68.

34. Кулинич, Э. М. Уточнение модели автоматизированного управления двухкомпонентным дозированием технологического процесса приготовления газобетона / Э. М. Кулинич // Електротехніка та електроенергетика. - 2014. - № 2. - С. 69-76.



35. Волков, В. А. Оценка возможности осуществления гидроаккумуляции на существующих гидроэлектростанциях днепровского каскада Украины / В. А. Волков // *Електротехніка та електроенергетика*. - 2014. - № 2. - С. 77-82.

36. Ярымбаш, Д.С. Особенности определения параметров электрической схемы замещения печной петли печи графитации переменного тока [Текст] / Д.С. Ярымбаш, И.М. Килимник, С.Т. Ярымбаш // *Електротехніка та електроенергетика*. – 2010. №2. – С. 36 – 43.

37. Ярымбаш, Д.С. Особенности электротепловых режимов главных шинных пакетов секций печей графитации переменного тока / Д.С. Ярымбаш, С.Т. Ярымбаш, И.М. Килимник // *Електротехніка та електроенергетика*. – 2011. – №1. – С. 64 – 69.

38. Ярымбаш, Д.С. Особенности измерения переменного тока в токопроводах печей графитации / Д.С. Ярымбаш // *Електротехніка та електроенергетика*. – 2005. - №1. – с. 74 – 76.

39. Ярымбаш, Д. С. Исследование электромагнитных и термоэлектрических процессов в печах графитации переменного и постоянного тока / Д. С. Ярымбаш // *Науковий вісник НГУ* – 2015. – №3. – С.95–102.

40. Ярымбаш, Д.С. Повышение энергоэффективности бокового шинопакета печей графитации переменного тока / Д.С. Ярымбаш, С.Т. Ярымбаш // *Технічна електродинаміка. Тематичний вип. Силова електроніка і енергоефективність*. – 2011, С. 229 – 233.

41. Ярымбаш, Д. С. Особенности моделирования электромагнитных процессов в индукторе калибра мунштука пресса / Д. С. Ярымбаш, И. М. Килимник // *Вісник кременчуцького державного політехнічного університету*. – 2007. – №4 (45) Частина 1. – С. 53–55.

42. Ярымбаш, Д. С. Особливості розподілення магнітних потоків у режимі неробочого ходу силових трансформаторів / Д. С. Ярымбаш, С. Т. Ярымбаш, Т. Є. Дівчук, І. М. Килимник // *Електротехніка та електроенергетика*. - 2016. - № 2. - С. 5-12.

43. Ярымбаш, Д. С. Особливості визначення параметрів короткого замикання силових трансформаторів засобами польового моделювання / Д. С. Ярымбаш, С. Т. Ярымбаш, Т. Є. Дівчук, І. М. Килимник // *Електротехніка та електроенергетика*. - 2016. - № 1. - С. 12-17.

44. Yarymbash, D.S. On specific features of modeling electromagnetic field in the connection area of side busbar packages to graphitization furnace

current leads / D.S.Yarymbash, A.M. Oleinikov // Russian Electrical Engineering, 2015, Vol.86, Issue 2, pp. 86 – 92.

45. Ярымбаш, Д.С. Моделирование температурных режимов электротехнологической системы «индукторы - мундштук» на подготовительном этапе тура прессования / Д.С. Ярымбаш, А.В. Тютюнник, О.Л. Загрунный // Электротехніка та електроенергетика. 2006. № 1. - С. 56-60.

46. Коцур, М.И. Оценка теплового состояния изоляции асинхронного двигателя с фазным ротором с модифицированной системой импульсного регулирования / М.И. Коцур, // Электротехніка та електроенергетика. – 2013 –№1 – С.31-36.

47. Коцур, М. И. Особенности ударного теплового воздействия на асинхронный двигатель с модифицированной системой импульсного регулирования в условиях частых пусков / М. И. Коцур, // Электротехніка та електроенергетика. – 2014 – №1 – С. 32 – 36.

48. Коцур, М. И. Повышение эффективности режима торможения противовключением асинхронного двигателя с фазным ротором / М. И. Коцур, И. М. Коцур, А. В. Близняков // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. –2015. – №1/8(73). – С.27-30.

49. Андриенко, П.Д. Применение методов математического моделирования для определения параметров индуктора / П.Д. Андриенко, И.М. Коцур, Д.С. Ярымбаш // Вестник СевНТУ – Севастополь, 2008. – Вып. 88. – С. 117 – 120.

50. Коцур, М. И. Повышение эффективности электропривода вентиляторных установок / М. И. Коцур, И. М. Коцур, Н. С. Иваницкий, Д. А. Кравченко, В. Г. Савельев // Электротехнічні та комп'ютерні системи. – 2017. №25(101) – С. 9 – 16.

51. Ярымбаш, Д. С. Применение адаптированных схемных моделей для расчета токов короткой сети мощных электротехнических комплексов / Д. С. Ярымбаш // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2012. №2. – С. 72–76.

52. Kotsur, M.I. Converter for frequency-current slip-power recovery scheme / M.I. Kotsur, P.D. Andrienko, I. M. Kotsur, O.V Bliznyakov // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. 2017. - №4 – С. 49-54.

53. Ярымбаш, Д. С. Особенности трехмерного моделирования электромагнитных полей асинхронного двигателя / Д. С. Ярымбаш, М. И. Коцур, С. Т. Ярымбаш, И. М. Коцур // Электротехніка та електроенергетика – 2016. – №2 – С. 43 – 50.

54. Ярымбаш, Д.С. Особенности идентификации интенсивности солнечной радиации при проектировании солнечных электростанций / Д. С. Ярымбаш, Ю.В. Даус // *Электротехника та електроенергетика*. - 2014 - № 1 - С. 74-78.

55. Yarymbash, D., Kotsur, M., Subbotin, S., Oliinyk, A. A New Simulation Approach of the Electromagnetic Fields in Electrical Machines. IEEE: The International Conference on Information and Digital Technologies, July 5th - 7th, Zilina, 2017, Catalog Number CFP17CDT-USB, pp. 452-457.

56. Ярымбаш, Д. С. Особенности определения параметров схемы замещения асинхронного двигателя для режима короткого замыкания / Д. С. Ярымбаш, М. И. Коцур, С. Т. Ярымбаш, И. М. Коцур // *Электротехника та електроенергетика* – 2017. – №1– С. 24 – 30.

57. Дивчук, Т. Э. Подход к определению токов холостого хода силовых трехфазных трансформаторов с плоскими стержневыми магнитными системами / Т. Э. Дивчук, Д. С. Ярымбаш, С. Т. Ярымбаш, И. М. Килимник, И. М. Коцур, Ю. С. Безверхняя // *Электротехника та електроенергетика*. – 2017. – № 2. - С. 56-66.

58. Kotsur, M. A New Approach of the Induction Motor Parameters Determination in Short-Circuit Mode by 3D Electromagnetic Field Simulation [Text] / M. Kotsur, D. Yarymbash, S. Yarymbash, I. Kotsur // *International Young Scientists Forum on Applied Physics and Engineering (YSF)*, October 17th - 20th, Lviv, Ukraine, 2017, pp. 207-210

59. Kotsur, M. I. Increasing of Thermal Reliability of a Regulated Induction Motor in Non-Standard Cycle Time Conditions [Text] / M. I. Kotsur, I.M. Kotsur, Yu. Bezverkhnia, D. Andrienko // *IEEE: International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES)*, 2017, pp. 88-91

60. Ярымбаш, Д. С. Идентификация электрических параметров шихтованных шинных пакетов мощных коротких сетей / Д. С. Ярымбаш, И. М. Килимник, С. Т. Ярымбаш // *Электротехника та електроенергетика*. – 2012. – № 2. – С. 55 – 61.

61. Yarymbash, D. Features of Defining Three-Phase Transformer No-Load Parameters by 3D Modeling Methods [Text] / D. Yarymbash, S. Yarymbash, I. Kylymnyk, T. Divchuk, D. Litvinov // *IEEE: International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES)*, 2017, pp. 132-135.

62. Kotsur, M. Speed Synchronization Methods of the Energy-Efficient Electric Drive System for Induction Motors / M. Kotsur, D. Yarymbash, I. Kotsur, Yu. Bezverkhnia // *IEEE: 14th International Conference on Advanced*

Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET), 2018.

63. Yarymbash, D. An Application of Scheme and Field Models for Simulation of Electromagnetic Processes of Power Transformers [Text] / D. Yarymbash, M. Kotsur, S. Yarymbash, I. Kylymnyk, T. Divchuk // IEEE: 14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET), 2018.

64. Дивчук, Т.Е. Особенности определения параметров силовых трансформаторов методами схемно-полевого моделирования / Дивчук, Т.Е., Д. К. Мимоход, С. А. Кутилин, А. Е. Кузнецов, Ю. В. Гуразда, И. С. Сирых // Электротехника и электроэнергетика. – 2017. – № 1. - С. 61-70.

65. Ярымбаш, Д.С. Идентификация электрических параметров печной петли мощных печей графитации / Д.С. Ярымбаш // «Электротехника и электромеханика». – 2012. №1. – С. 49 – 54.

66. Ярымбаш, Д.С. Особенности контроля электрических параметров, мощности и энергопотребления во время кампании графитации в печи переменного тока / Ярымбаш Д.С., Ярымбаш С.Т., Тютюнник О.В. // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – 2006, Вип. 3/2006(38), – С. 53 – 55.

67. Малюшевская, А.П. Дослідження впливу підвищених температур на експлуатаційні властивості трансформаторного масла Т-1500 в плівкових ізоляційних системах / АП Малюшевская, АЯ Дмитришин, СО Топоров // Електротехніка та електроенергетика – 2015. - №1. – С. 21-25.

68. Верещаго, Е.Н. Модель электрической дуги в MATLAB/SIMULINK / Е.Н. Верещаго, В.И. Костюченко // Электротехника та електроенергетика. – 2013. - №2. – С. 40-46.

69. Ярымбаш, Д. С. Анализ энергоэффективности конструкции торцевых соединений боковых шинных пакетов и токоподводов печей графитации / Д. С. Ярымбаш, А. М. Олейников // Электротехника та електроенергетика. - 2013. - № 2. - С. 26-34.

70. Иванков, В. Ф. Электротепловые расчетные модели элементов конструкции трансформаторного оборудования / В. Ф. Иванков, А. В. Басова, Н. В. Шульга // Электротехніка та електроенергетика. - 2014. - № 2. - С. 41-53

71. Ярымбаш, Д.С. Особенности расчета электродинамической стойкости шихтованных шинных пакетов короткой сети печи графитации / Д.С. Ярымбаш // Вісник СевНТУ: зб. наук. пр. Вип. 146/2014. Серія: Механіка. Енергетика. Екологія. 2014. – С. 131 – 136.

72. Ярымбаш, Д. С. Влияние расположения заготовок электродов на распределение удельной мощности в керне печи Ачесона / Д. С. Ярымбаш // *Електротехніка та електроенергетика*. - 2014. - № 1. - С. 5-11
73. Ivankov, V. F. Calculation of CFD-thermal models of oil-cooled transformer equipment / V. F. Ivankov, A. V. Basova // *Електротехніка та електроенергетика*. - 2016. - № 2. - С. 19-32.
74. Ципленков, Д. В. Методи та засоби зниження технічних втрат електроенергії в елементах систем електропостачання / Д. В. Ципленков, П. Ю. Красовський // *Електротехніка та електроенергетика*. 2015. № 1. С. 77–82.
75. Костін, М. О. Енергетичні спектри випадкових процесів тягових напруг і струмів електротранспорту / М. О. Костін // *Електротехніка та електроенергетика*. - 2015. - № 2. - С. 71-80
76. Літвінов, Д. О. Схемно-польове моделювання теплових процесів в асинхронних двигунах / Д. О. Літвінов, О. О. Шлянін, Т. В. Бондарчук, О. В. Стремідловська, Ріхам Матар // *Електротехніка та електроенергетика*. - 2017. - № 1. - С. 71-78
77. Остренко, М. В. Расчет потерь в элементах конструкции силовых трансформаторов и реакторов методом конечных элементов с граничными условиями импедансного типа / М. В. Остренко, С. М. Тиховод // *Електротехніка та електроенергетика*. - 2016. - № 2. - С. 33-42.
78. Курись, Л. В. Схема тягового електротехнічного комплексу транспортного засобу з накопичувачем енергії / Л. В. Курись, О. В. Бялобржеський // *Електротехніка та електроенергетика*. - 2015. № 1. - С. 4–10.
79. Лебедев, В. А. Электропривод малой мощности для сварочного оборудования / В. А. Лебедев // *Електротехніка та електроенергетика*. - 2015. - № 1. - С. 11–16.
80. Волкова, О. Г. Методика определения температуры поверхности силовых разрывных контактов в процессе коммутации / О. Г. Волкова // *Електротехніка та електроенергетика*. - 2015. - № 1. - С. 17–20.
81. Мельников, В. О. Компенсація впливу несиметрії обмоток статора асинхронного двигуна у системах векторного керування / В. О. Мельников, А. П. Калінов, І. М. Кочуров // *Електротехніка та електроенергетика*. - 2015. - № 1. - С. 26–33.
82. Остренко, В. С. Оцінка часу експлуатації IGBT4 модулів в режимі циклічного навантаження / В. С. Остренко // *Електротехніка та електроенергетика*. - 2015. - № 1. - С. 34–38.

83. Курись, Л. В. Схема тягового електротехнічного комплексу транспортного засобу з накопичувачем енергії / Л. В. Курись, О. В. Бялобржеський // Електротехніка та електроенергетика. - 2015. № 1. - С. 4–10.
84. Ярымбаш, Д.С. Анализ энергоэффективности торцевых соединений боковых шинных пакетов и токоподводов печей графитации / Д.С. Ярымбаш, А.М. Олейников // Електротехніка та електроенергетика. - 2013. - № 2. - С. 23 – 30.
85. Лебедев, В. А. Электропривод малой мощности для сварочного оборудования / В. А. Лебедев // Електротехніка та електроенергетика. - 2015. - № 1. - С. 11–16.
86. Волкова, О. Г. Методика определения температуры поверхности силовоточных разрывных контактов в процессе коммутации / О. Г. Волкова // Електротехніка та електроенергетика. - 2015. - № 1. - С. 17–20.
87. Мельников, В. О. Компенсація впливу несиметрії обмоток статора асинхронного двигуна у системах векторного керування / В. О. Мельников, А. П. Калінов, І. М. Кочуров // Електротехніка та електроенергетика. - 2015. - № 1. - С. 26–33.
88. Остренко, В. С. Оцінка часу експлуатації IGBT4 модулів в режимі циклічного навантаження / В. С. Остренко // Електротехніка та електроенергетика. - 2015. - № 1. - С. 34–38.
89. Тиховод, С. М. Усовершенствование итерационных методов решения систем нелинейных уравнений / С. М. Тиховод // Електротехніка та електроенергетика. - 2015. - № 1. - С. 46–49.
90. Шкрабець, Ф. П. Техніко-економічна оцінка оптимального рівня напруги для електроживлення робочих горизонтів глибоких шахт / Ф. П. Шкрабець, О. В. Остапчук, А. В. Кожевников, А. В. Акулов // Електротехніка та електроенергетика. - 2015. - № 1. - С. 50–54.
91. Волков, В. А. Совершенствование частотного пуска гидроагрегата гидроаккумулирующей электростанции в насосном режиме / В. А. Волков, Д. В. Довбищук // Електротехніка та електроенергетика. - 2015. - № 1. - С.55–61.
92. Літвінов, В. В. Удосконалення методу оцінювання надійності схем релейного захисту / В. В. Літвінов, Я. С. Саченко // Електротехніка та електроенергетика. - 2015. - № 1. - С. 62–69.
93. Дьяченко, В. В. Формирование программы энергосбережения для систем электроснабжения / В. В. Дьяченко // Електротехніка та електроенергетика. - 2015. - № 1. - С. 70–76.

94. Тиховод, С. М. Расчет переходных процессов в трансформаторах на основе магнитоэлектрических схем замещения с использованием полиномов Чебышёва / С. М. Тиховод // *Электротехника та електроенергетика*. - 2015. - № 2. - С. 5-14.

95. Коваленко, М. А. Автономный экспериментальный стенд для випробування уніполярного крокового двигуна на базі мікроконтролера / М. А. Коваленко, Д. С. Мацюк // *Электротехника та електроенергетика*. - 2015. - № 2. - С. 15-20.

96. Иванков, В. Ф. Верифікація методів електротеплових розрахунків електричних реакторів без сталі / В. Ф. Иванков, А. В. Басова, Н. В. Шульга // *Электротехника та електроенергетика*. - 2015. - № 2. - С. 26-34

97. Токмаков, И. В. Моделирование электромеханических переходных процессов в асинхронных двигателях на основе использования полиномов чебышёва / И. В. Токмаков // *Электротехника та електроенергетика*. - 2015. - № 2. - С. 35-41.

98. Сидорец, В. Н. Особенности анализа распределения тока высокой частоты в осесимметричных электродах электрохирургических инструментов / В. Н. Сидорец, А. Г. Дубко // *Электротехника та електроенергетика*. - 2015. - № 2. - С. 42-47.

99. Тиховод, С. М. Метод ускоренного численного расчета переходных процессов в электрических цепях на основе аппроксимации решения алгебраическими полиномами / С. М. Тиховод, Т. М. Корнус, Д. Г. Паталах // *Электротехника та електроенергетика*. - 2015. - № 2. - С. 48-54.

100. Андриенко, П.Д. Моделирование электромагнитных и тепловых процессов при индукционном нагреве мундштука пресса / П.Д. Андриенко, Д.С. Ярымбаш // *Разработка рудных месторождений*. – Кривой Рог, 2008. – Вып. 92. – С. 163 – 167.

101. Ярымбаш, Д.С. Особенности моделирования электромагнитного поля в зоне подключения боковых шинных пакетов к токоподводам печи графитации / Д.С. Ярымбаш, А.М. Олейников // *Электротехника*. – М.: Знак. – №2. 2015. – С. 44 – 50.

102. Ярымбаш, Д. С. Динамическая адаптация схемных моделей короткой сети / Д. С. Ярымбаш, И. М. Килимник, С. Т. Ярымбаш // *Электротехника та електроенергетика*. - 2015. - № 2. - С. 65-70.

103. Міщенко, Т. М. Геометричне трактування реактивної потужності та його зв'язок зі спектральним складом тягових напруги та

струму швидкісних електровозів / Т. М. Міщенко // Електротехніка та електроенергетика. - 2015. - № 2. - С. 81-86.

104. Скалько, Ю. С. Удосконалення групового регулювання гідроагрегатів дніпровської гес за допомогою нечіткої логіки / Ю. С. Скалько // Електротехніка та електроенергетика. - 2015. - № 2. - С. 95-99.

105. Коцур, М. И. Определение оптимальной частоты коммутации вентилей преобразователя по схеме частотно-токового асинхронно-вентильного каскада / М. И. Коцур, И. М. Коцур, А. А. Андриенко, Д. С. Андриенко // Електротехніка та електроенергетика. - 2016. - № 1. - С. 5-11.

106. Малюшевська, А. П. Вплив складу і морфології конденсаторних полімерних плівок на термостабільність їх короточасної електричної міцності / А. П. Малюшевська, С. О. Топоров // Електротехніка та електроенергетика. - 2016. - № 1. - С. 18-24.

107. Цабенко, М. В. Системи антипомпажного керування відцентровим компресором / М. В. Цабенко // Електротехніка та електроенергетика. - 2016. - № 1. - С. 35-41.

108. Слободенюк, Ю. О. Модель розрахунку миттєвих параметрів режиму системи тягового електропостачання при русі електровозу / Ю. О. Слободенюк, О. В. Бялобржеський // Електротехніка та електроенергетика. - 2016. - № 1. - С. 42-48.

109. Ярымбаш, Д.С. Особенности обработки данных регистрации электрических параметров электротехнических комплексов графитации переменного тока / Д.С. Ярымбаш // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит, 2014. №2 – С. 59 – 65.

110. Ярымбаш, Д. С. Оценка погрешности сенсоров тока автоматизированной системы управления технологическим процессом графитации / Д.С. Ярымбаш, И. М. Килимник, С. Т. Ярымбаш // «Електротехнічні та комп'ютерні системи». – № 03(79) – 2011

111. Чередник, Н. Г. Дослідження режиму синхронного генератора когенераційної установки при паралельній та автономній роботі з урахуванням явища насичення магнітної системи генератора / Н. Г. Чередник, О. В. Бялобржеський // Електротехніка та електроенергетика. - 2016. - № 1. - С. 49-56.

112. Ярымбаш, Д.С. Идентификация параметров электродинамической стойкости короткой сети мощных электротехнических комплексов графитации переменного тока / Д.С. Ярымбаш // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. – 2012. Вип. 3/2012 (19). – С. 487 – 490



113. Власенко, Р. В. Корекція алгоритму визначення заданого струму силового активного фільтра на основі теорії фрізе в умовах несиметрії / Р. В. Власенко, О. В. Бялобржеський // Електротехніка та електроенергетика. - 2016. - № 1. - С. 57-63.

114. Ярымбаш, Д.С. Особенности оптимизации электрических режимов графитации / Д.С. Ярымбаш // Электротехнические и компьютерные системы. – Одесса, 2014. – №15 (91). – С. 215 – 219.

115. Малюшевська, А. П. Вплив морфологічних особливостей конденсаторних полімерних плівок на їх деформаційні властивості / А. П. Малюшевська, Г. М. Ющишина // Електротехніка та електроенергетика. - 2016. - № 2. - С. 13-18.

116. Ярымбаш, Д.С. Идентификация электрических параметров торцевых ошинок печей сопротивления прямого действия / Д.С. Ярымбаш, А. М.Олейников, С. Т. Ярымбаш, И.М. Килимник // Вестник НТУ «ХПИ», 2013. №36. –С. 466–470

117. Андрієнко, П. Д. Дослідження динамічних режимів електродвигуна послідовного збудження з імпульсними схемами регулювання електроприводу / П. Д. Андрієнко, С. І. Шило, О. О. Каплієнко // Електротехніка та електроенергетика. - 2016. - № 2. - С. 51-58.

118. Золотаревский, А. И. Исследование спектральной зависимости диэлектрической проницаемости некоторых полярных диэлектриков в диапазоне низких частот / А. И. Золотаревский, С. П. Лушин // Електротехніка та електроенергетика. - 2017. - № 1. - С. 6-11.

119. Малюшевська, А. П. Довготривала електрична міцність полімерних плівок під дією електричного поля / А. П. Малюшевська, С. О. Топоров, В. І. Гунько // Електротехніка та електроенергетика. - 2017. - № 1. - С. 12-17.

120. Ярымбаш, Д.С. Повышение эффективности использования фотопанелей на солнечных электростанциях / Д. С. Ярымбаш, Ю. В. Даус // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. - 2015. - № 1. - С. 22-28

121. Ярымбаш, Д.С. Исследование электромагнитных и электротепловых процессов в области торцевых шинных пакетов печей графитации / Д.С. Ярымбаш, А.М. Олейников // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2013. №11. – С. 60–68.

122. Качан, Ю. Г. Застосування просторових електричних полів задля створення теплових перешкод у камерних печах / Ю. Г. Качан, А. А. Візер, А. В. Сибір // Електротехніка та електроенергетика. - 2017. - № 1. - С. 18-23.

123. Василенко, О. В. Модель крокового двигуна для дослідження систем автоматичного позиціонування в EСAD / О. В. Василенко, Є. Л. Жавжаров // Електротехніка та електроенергетика. - 2017. - № 1. - С. 31-38.

124. Ярымбаш, Д.С. Особенности распределения электрической мощности нагрева в керне печи графитации переменного тока / Д.С. Ярымбаш, А.М. Олейников // Праці Інституту електродинаміки НАН України, 2013. – вип.. 37. – С. 94 – 100

125. Дзензерский, В. А. Разработка алгоритма автоматизированного контроля электрохимических накопителей энергии / В. А. Дзензерский, Н. Е. Житник, С. В. Плаксин, В. В. Лисунова // Електротехніка та електроенергетика. - 2017. - № 1. - С. 39-47.

126. Ярымбаш, Д.С. Идентификация температурных зависимостей удельных электрических сопротивлений керна в процессе графитации / Д.С. Ярымбаш // Електротехніка и електромеханіка. – 2014. №2. – С. 66 – 70.

127. Алексеевский, Д. Г. Определение рабочей области иппн в составе электромеханической системы взу с переменной скоростью вращения / Д. Г. Алексеевский, П. Д. Андриенко, К. О. Турышев, О. О. Панкова // Електротехніка та електроенергетика. - 2017. - № 1. - С. 79-85.

128. Ярымбаш, Д.С. Особенности расчета токов короткого замыкания мощных электротехнических комплексов графитации переменного тока / Д. С. Ярымбаш // Електротехніка та електроенергетика. - 2012. - № 1. - С. 23-30

129. Зиновкин, В. В. Влияние нестационарных электромагнитных процессов на электромеханические параметры в синхронном электроприводе / В. В. Зиновкин, Н. Л. Антонов, Ю.А. Крисан // Електротехніка та електроенергетика. - 2017. - № 2. - С. 6-17.

130. Zirka, S. E. Topological transient models of three-phase five-limb transformer / S. E. Zirka, Y. I. Moroz, C. M. Arturi, D. Bonnman // Електротехніка та електроенергетика. - 2017. - № 2. - С. 18-25.

131. Ярымбаш, Д.С. Метод частотной адаптации уравнений Максвелла для переменного тока к рекуррентным уравнениям в формулировках для постоянного тока / Д.С. Ярымбаш // Вісник СевНТУ: зб. наук. пр. Вип. 146/2014. Серія: Автоматизація процесів та управління. – Севастороль. 2014. – С. 203 – 206

132. Мацуй, А. М. Теоретичне і експериментальне дослідження магнітоелектричної системи, що сприймає крупність пісків

односпирального класифікатора / А. М. Мацуй, В. О. Кондратець // Електротехніка та електроенергетика. - 2017. - № 2. - С. 38-49.

133. Ярымбаш, Д.С. Выбор критерия энергоэффективности боковых шинных пакетов мощных печей графитации / Д.С. Ярымбаш // Технічна електродинаміка. Тематичний вип. Силова електроніка і енергоефективність – 2012.

134. Паталах, Д. Г. Численный безытерационный метод моделирования электромеханических процессов в асинхронных двигателях / Д. Г. Паталах, С. М. Тиховод, Т. М. Корнус // Електротехніка та електроенергетика. - 2017. - № 2. - С. 50-55.

135. Ярымбаш, Д.С. Особенности идентификации электрических параметров контура печи графитации переменного тока методами полевого моделирования и оптимизации / Д.С. Ярымбаш, А.М. Олейников // Оптимізація виробничих процесів: зб. наук. пр. Вип. 15/2014. – Севастороль. 2014. – С. 108 – 112.

136. Дивчук, Т. Е. Подход к определению токов холостого хода силовых трехфазных трансформаторов с плоскими стержневыми магнитными системами / Т. Е. Дивчук, Д. С. Ярымбаш, С. Т. Ярымбаш, И. М. Килимник, М. И. Коцур, Ю. Безверхняя // Електротехніка та електроенергетика. - 2017. - № 2. - С. 56-66.

137. Лаврич, Ю. М. Методологічний підхід до побудови енергоощадної системи аварійного освітлення / Ю. М. Лаврич, Л. М. Погоріла, А. Ю. Подчасов // Електротехніка та електроенергетика. - 2017. - № 2. - С. 67-73.

138. Шутенко, О. В. Анализ динамики изменения критериев, используемых для интерпретации результатов арг, в исправных высоковольтных трансформаторах негерметичного исполнения / О. В. Шутенко // Електротехніка та електроенергетика. - 2017. - № 2. - С. 74-83.

139. Лобов, В. Й. Управління газоповітряною енергетичною установкою промислового підприємства / В. Й. Лобов, К. В. Лобова, А. В. Даць // Електротехніка та електроенергетика. - 2017. - № 2. - С. 84-95.

140. Милых, В. И. Анализ гармонического состава переменного магнитного поля, связанного с вращающимся ротором турбогенератора, в режимах холостого хода и короткого замыкания / В. И. Милых, Н. В. Полякова // Електротехніка та електроенергетика. - 2013. - № 2. - С. 5-13.

141. Китаев, А. В. Схемы замещения электрических машин / А. В. Китаев, В. Л. Агбомассу, В. И. Глухова // Електротехніка та електроенергетика. - 2013. - № 2. - С. 14-26.

142. Верещаго, Е. Н. Модель электрической дуги в MATLAB / SIMULINK / Е. Н. Верещаго, В. И. Костюченко // *Электротехника та електроенергетика*. - 2013. - № 2. - С. 40-46.

143. Ершов А. В. Влияние магнитного поля проводника на течение металла на торце проволоки в дуговом разряде / А. В. Ершов, Е. А. Зеленина // *Электротехника та електроенергетика*. - 2013. - № 2. - С. 62-65.

144. Пожуєв, В. І. Визначення ефективності існуючих гідроенергетичних систем / В. І. Пожуєв, В. В. Радченко, Ф. П. Шкрабець, В. Г. Кучер, В. П. Кобець // *Електротехніка та електроенергетика*. - 2013. - № 2. - С. 71-76.

145. Яримбаш, Д. С. Визначення параметрів короткого замикання силового трансформатора засобами математичного моделювання [Текст] / Д. С. Яримбаш, С. Т. Яримбаш, Т. Є. Дівчук, Д. О. Літвінов // *Электротехнические и компьютерные системы*. – 2017. – № 26(102). – С. 110–119.

146. Олейников, А.М. Математическая модель автономной безредукторной ветроэлектрической установки на генераторе с постоянными магнитами / А.М. Олейников, Л.Н. Канов, Ю.В. Матвеев, Е.И. Зарицкая // *Электротехника та електроенергетика*. – 2010. – № 2. – С.62 – 67.

147. Гребеников, В.В. Исследование влияния конфигурации магнитной системы на моментные характеристики электродвигателей с постоянными магнитами / В.В. Гребеников, М.В. Прыймак // *Електротехніка та електроенергетика*. – 2009. - №2. - С. 57-60

148. Голубцов В. А. Модифицирование стали для отливок и слитков / В. А. Голубцов, В. В. Лунев. Челябинск-Запорожье: ЗНТУ, 2009. 356 с.

149. Богуслаев В.А. Технологическое обеспечение и прогнозирование несущей способности деталей ГТД / Богуслаев В.А., Яценко В.К., Притченко В.Ф. — К.: Манускрипт, 1993. — 333 с.

150. Pogosov V. V. Energetics of metal slabs and clusters: The rectangular-box model / V. V. Pogosov, V. P. Kurbatsky, E. V. Vasyutin // *Phys. Rev. B*. 2005. Vol. 71. N 19. 195410 p.

## Додаток А

## Вхідні дані для виконання проекту

Таблиця А.1 - Вхідні дані для виконання проекту

№ вар.	P2, кВт	Un, В	n, об/хв	h, мм	№ вар.	P2, кВт	Un, В	n, об/хв	h, мм
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>1</b>	4	230	1500	160	<b>30</b>	75	400	750	315
<b>2</b>	5.5	230	1500	180	<b>31</b>	45	690	600	315
<b>3</b>	7.5	230	1500	180	<b>32</b>	45	400	600	315
<b>4</b>	11	230	1500	180	<b>33</b>	200	400	1500	315
<b>5</b>	15	230	1500	200	<b>34</b>	200	690	1500	315
<b>6</b>	18.5	230	1500	200	<b>35</b>	132	400	1000	315
<b>7</b>	30	230	1500	225	<b>36</b>	132	690	1000	315
<b>8</b>	22	230	1000	225	<b>37</b>	90	690	750	315
<b>9</b>	22	400	1000	225	<b>38</b>	55	690	600	315
<b>10</b>	37	230	1500	225	<b>39</b>	250	690	1500	355
<b>11</b>	37	400	1500	225	<b>40</b>	160	690	1000	355
<b>12</b>	30	230	1000	225	<b>41</b>	160	690	1000	355
<b>13</b>	30	400	1000	225	<b>42</b>	160	400	1000	355
<b>14</b>	45	230	1500	225	<b>43</b>	110	400	750	355
<b>15</b>	45	400	1500	255	<b>44</b>	110	690	750	355
<b>16</b>	55	400	1500	250	<b>45</b>	75	400	600	355
<b>17</b>	37	400	1500	250	<b>46</b>	75	690	600	355
<b>18</b>	75	400	1500	250	<b>47</b>	55	400	500	355
<b>19</b>	45	400	1000	250	<b>48</b>	55	690	500	355
<b>20</b>	90	400	1500	280	<b>49</b>	315	400	1500	355
<b>21</b>	55	400	1000	280	<b>50</b>	315	690	1500	355
<b>22</b>	110	400	1500	280	<b>51</b>	200	400	1000	355
<b>23</b>	75	400	1000	280	<b>52</b>	132	400	750	355
<b>24</b>	132	400	1500	280	<b>53</b>	90	400	600	355
<b>25</b>	90	400	1000	280	<b>54</b>	90	690	600	355
<b>26</b>	90	690	1000	280	<b>55</b>	75	400	500	355
<b>27</b>	160	690	1500	315	<b>56</b>	75	690	500	355
<b>28</b>	110	690	1000	315	<b>57</b>	160	400	750	400
<b>29</b>	75	690	750	315	<b>58</b>	110	400	600	400

## Продовження таблиці А.1

№ вар.	P2, кВт	Ун, В	п, об/хв	h, мм	№ вар.	P2, кВт	Ун, В	п, об/хв	h, мм
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>59</b>	90	690	500	400	<b>80</b>	630	690	1500	450
<b>60</b>	400	6300	1500	400	<b>81</b>	400	400	1000	450
<b>61</b>	400	690	1500	400	<b>82</b>	400	690	1000	450
<b>62</b>	250	400	1000	400	<b>83</b>	315	690	750	450
<b>63</b>	250	690	1000	400	<b>84</b>	315	400	750	450
<b>64</b>	250	6300	1000	400	<b>85</b>	250	690	600	450
<b>65</b>	200	400	750	400	<b>86</b>	200	400	500	450
<b>66</b>	200	6300	750	400	<b>87</b>	800	690	1500	450
<b>67</b>	132	400	600	400	<b>88</b>	800	6300	1500	450
<b>68</b>	132	690	600	400	<b>89</b>	500	6300	1000	450
<b>69</b>	110	690	500	400	<b>90</b>	400	6300	750	450
<b>70</b>	110	6300	500	400	<b>91</b>	400	690	750	450
<b>71</b>	500	690	1500	400	<b>92</b>	315	6300	600	450
<b>72</b>	500	6300	1500	400	<b>93</b>	315	690	600	450
<b>73</b>	315	6300	1500	400	<b>94</b>	250	6300	500	450
<b>74</b>	250	6300	750	400	<b>95</b>	1000	6300	1500	450
<b>75</b>	160	400	600	400	<b>96</b>	630	6300	1000	450
<b>76</b>	160	690	600	400	<b>97</b>	500	6300	1000	450
<b>77</b>	132	400	500	400	<b>98</b>	500	690	750	450
<b>78</b>	132	690	500	400	<b>99</b>	400	6300	600	450
<b>79</b>	6300	6300	1500	450	<b>100</b>	315	6300	500	450

## Додаток Б

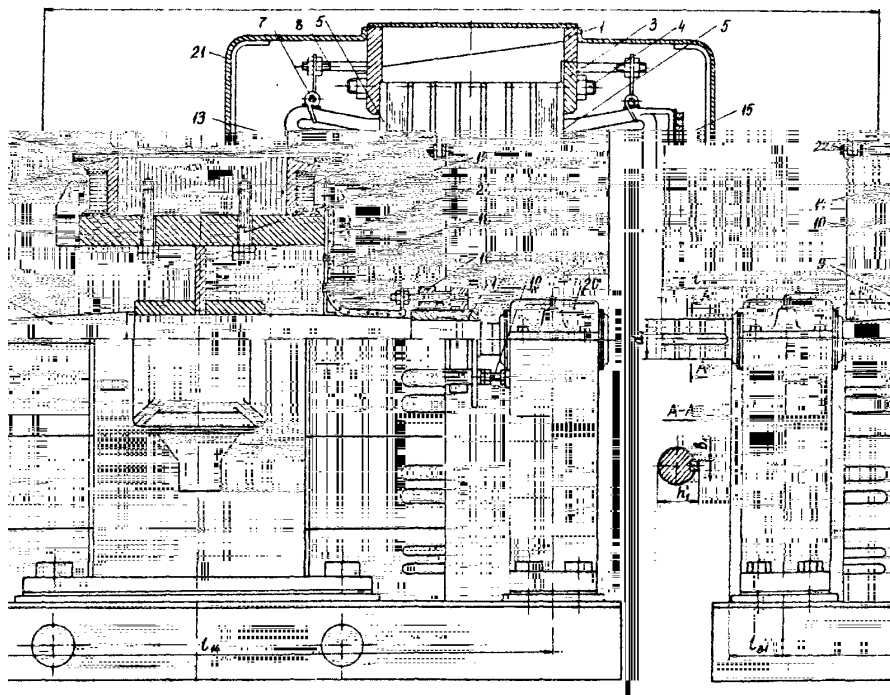
## Техніко-економічне порівняння основних показників машини

Таблиця Б.1 - Порівняння основних показників машини

Наменування	Одиниці виміру	Значення показників машини	
		зпроект-ваної	за ГОСТом
<u>Головні розміри:</u>			
Зовнішній діаметр статора	м		
Розрахункова довжина статора	м		
<u>Електромагнітні навантаження:</u>			
Індукція у повітряному зазорі	Тл		
Лінійне навантаження	А/м		
Густина струму обмотки статора	А/м <sup>2</sup>		
Густина струму обмотки збудження	А/м <sup>2</sup>		
<u>Параметри:</u>			
Індуктивний опір	в.о.		
Відношення струмів КЗ	в.о.		
<u>Вага міді:</u>			
Обмотка статора	кг		
Обмотка збудження	кг		
Демпферна обмотка	кг		
Повна вага міді	кг		
<u>Вага активної сталі:</u>			
Осердя статора	кг		
Остов ротора	кг		
Полюса	кг		
Повна вага активної сталі	кг		
Питома втрати в сталі	Вт/кг		
ККД	%		
Перегрів обмотки статора	°С		
Перегрів обмотки збудження	°С		

## Додаток В

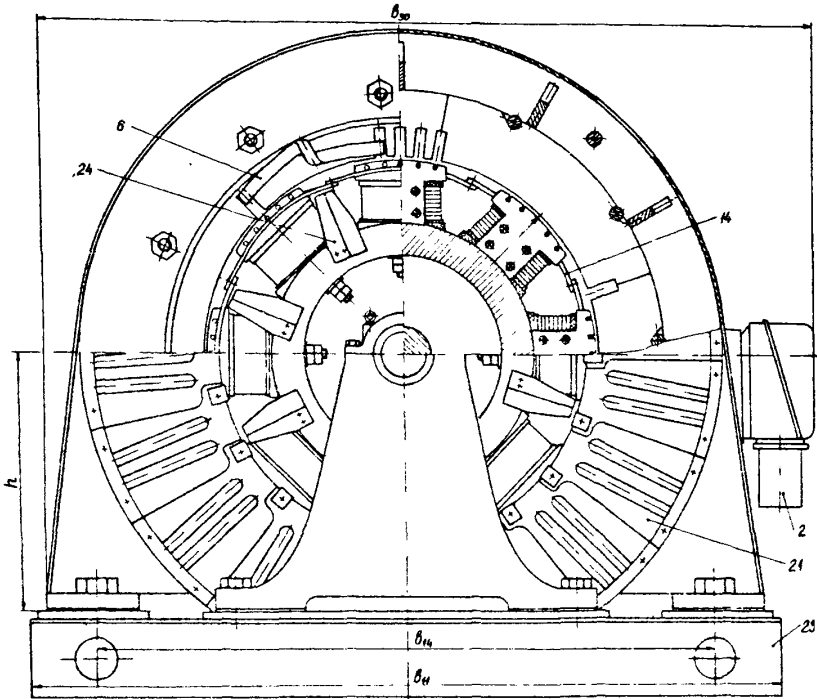
## Приклади конструкцій синхронних машин



- 1 – станина; 3 – натисне кільце; 4 – стяжні шпильки; 5 – натисні пальці;  
 7 – бандажні кільця; 8 – шпильки; 9 – вал; 10 – остов; 11 – осердя полюса;  
 12 – шпильки; 13 – стрижні пускової обмотки; 14 – коротко-закриваючі сегменти;  
 15 – котушки обмотки збудження; 16 – контактні кільця; 17 – ізолювана втулка;  
 18 – кабель; 19 – шпильки; 20 – підшипниковий стояк; 21 – сегменти; 22 – болти

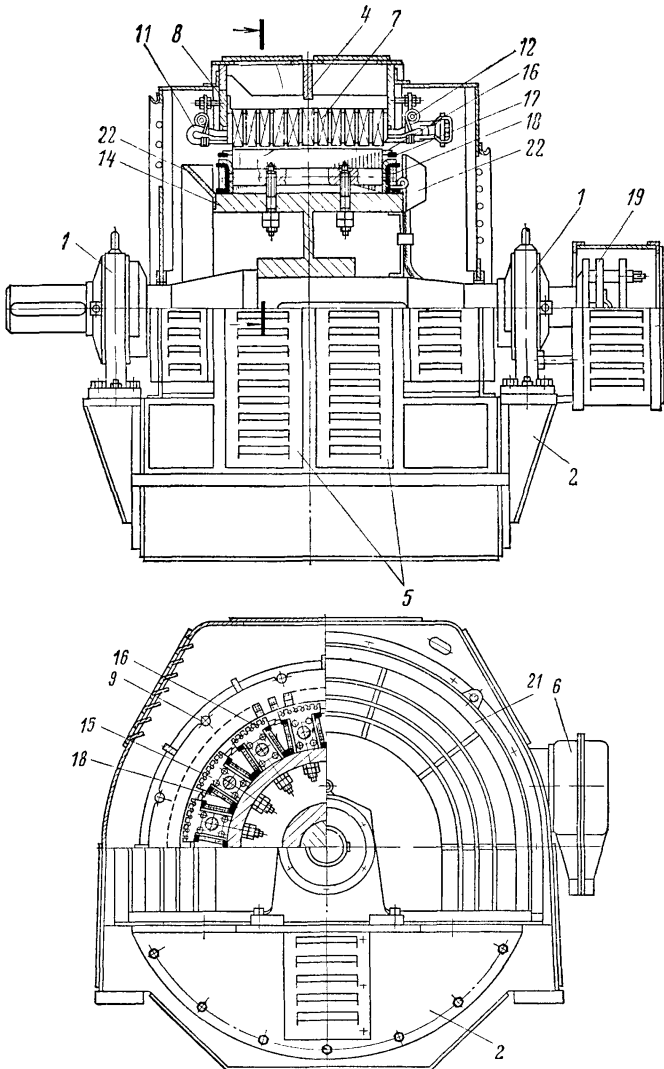
Рисунок В.1 – Двигун серії СДН (фронтальна проекція)





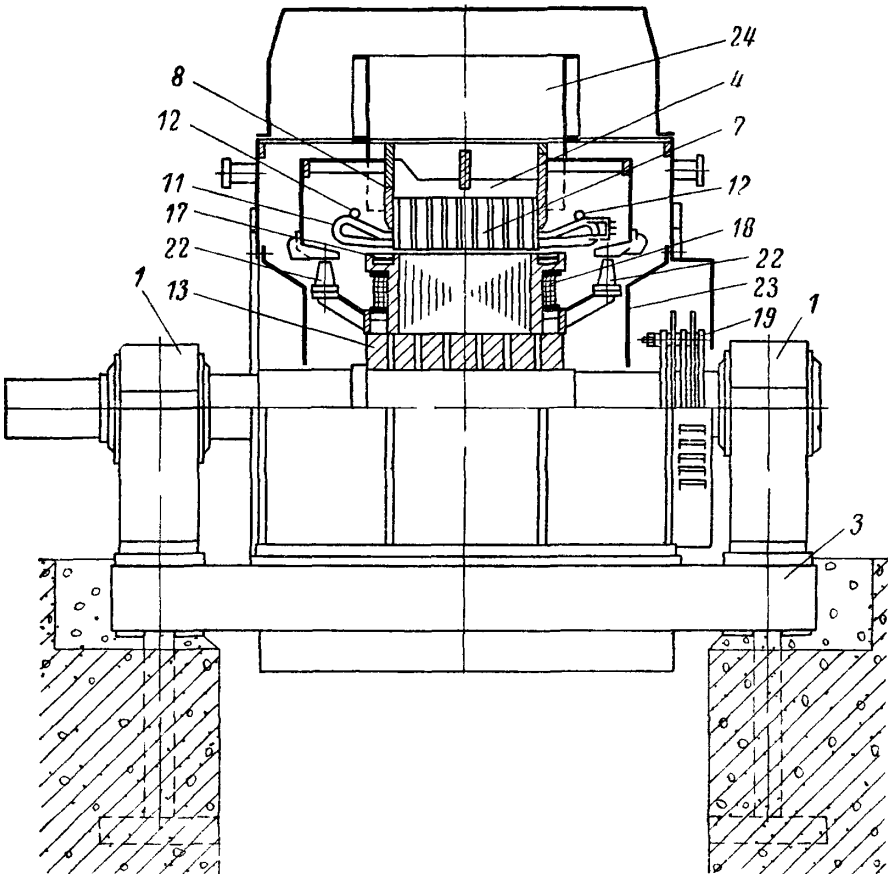
- 2 - лита коробка виводів; 6 - котушка обмотки статора;  
 14 - коротко-замикаючі сегменти; 21 - сегменти;  
 23 - фундаментна плита; 24 - вентиляційні лопатки

**Рисунок В.2** – Двигун серії СДН (профільна проекція)



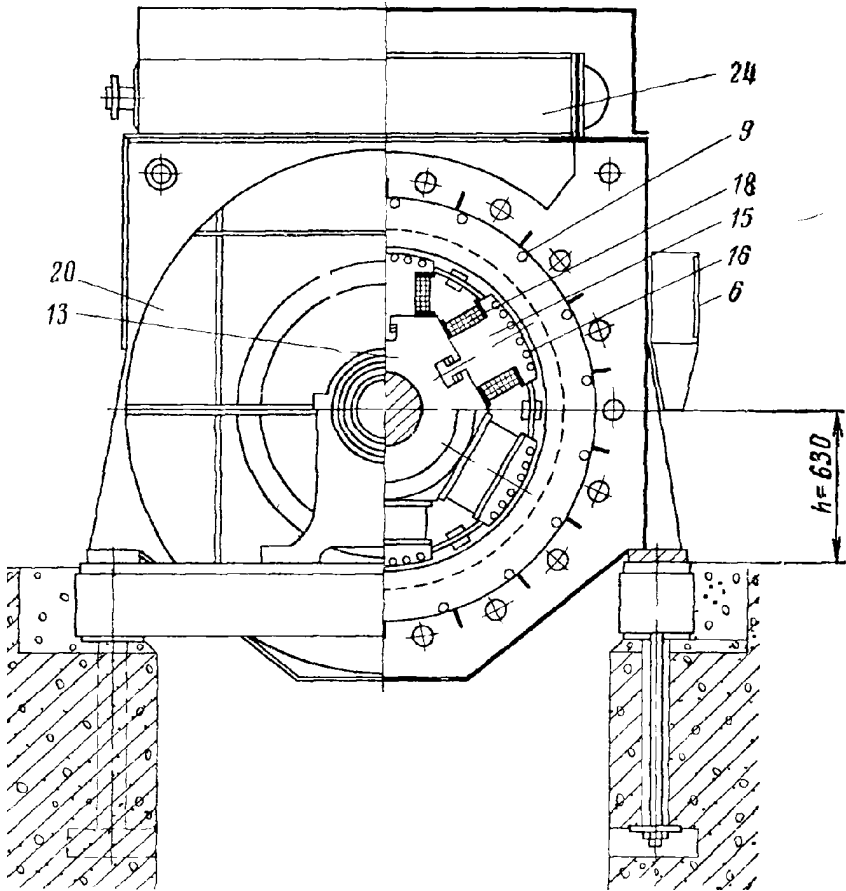
- 1 – стоякові підшипники; 2 – нижні підшипникові напівщити; 4 – станина;  
 5 – вікна з жалюзі; 6 – коробка виводів статора з кришкою; 7 – осердя статора;  
 8 – натисні кільця; 9 – стяжні шпильки; 11 – двошарова петльова обмотка;  
 12 – бандажні кільця; 14 – магнітне колесо; 15 – осердя полюса; 16 – демпферна клітка;  
 17 – дугоподібні сегменти; 18 – обмотка збудження; 19 – контактні кільця;  
 21 – запобіжні щити; 22 – вентилятор

**Рисунок В.3** – Синхронний двигун серії СДН-2



- 1 – стоякові підшипники; 3 - фундаментна плита; 4 - станина; 7 – осердя статора;  
 8 - натисні кільця; 11 – двошарова петльова обмотка; 12 - бандажні кільця;  
 13 - остов; 17 – дугоподібні сегменти; 18 – обмотка збудження; 19 - контактні кільця;  
 20 – підшипникові щити; 22 - вентилятор; 23 – дифузори;  
 24 – убудований повітряохолоджувач

**Рисунок В.4** – Синхронний двигун серії СДНЗ-2 (фронтальна проекція)



- 6 - коробка виводів статора з кришкою; 9 - стяжні шпильки; 13 - остов;  
 15 - осердя полюса; 16 - демпферна клітка; 18 - обмотка збудження;  
 20 - підшипникові щити; 24 - убудований повітряохолоджувач

**Рисунок В.5** – Синхронний двигун серії СДНЗ-2 (профільна проекція)