

# ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

**на тему:** Розрахунок та проектування обладнання вентиляційної системи теплоелектростанції тиском 2500 Па з вибухозахищеним електроприводом

Баранніков А.О.

.....  
(підпис)

**Завдання на дипломни проект**

**выдает на бланке**

					ПД 301.000.000 ПЗ	Арк..
Зм.	Арк..	№ докцм.	Підпис	Дата		5


					ПД 301.000.000 ПЗ	Арк..
Зм.	Арк..	№ докум.	Підпис	Дата		6

## ВСТУП

Найбільш важливою проблемою перспективного розвитку теплової енергетики світу залишається, як і раніше, подальше технологічне вдосконалення ТЕС з метою підвищення економічності, надійності і екологічної чистоти виробництва електричної і теплової енергії. Розвідані запаси викопного органічного палива достатні для стійкої роботи теплової енергетики впродовж багатьох десятиліть. За сучасними даними, забезпеченість потреб світової спільноти в нафті і природному газі, виходячи з встановлених витягуваних ресурсів, оцінюється в 50–70 років, вугілля – більш ніж в 200 років. У останніх 20–30 років ці терміни постійно коректуються у бік збільшення в результаті випереджаючих темпів геологорозвідки і вдосконалення технологій витягання розвіданих запасів.

Сучасна ТЕС – це складне підприємство, яке включає в себе велику кількість різного устаткування (теплосилового, електричного, електронного тощо) і будівельних конструкцій. Основним устаткуванням ТЕС є котельня і теплосилова установка. За типом теплосилової установки (теплового двигуна) теплові електричні станції бувають: паротурбінні (основний вид електростанцій), газотурбінні і парогазові ТЕС, а також електростанції з двигунами внутрішнього згорання (ДВЗ). Разом з цим існують теплофікаційні ТЕС, на яких одночасно виробляють як електричну, так і теплову енергію у вигляді технологічної або побутової пари, яка частково відпрацювала свій енергетичний ресурс у паровій турбіні для виробництва електричної енергії. Такі станції називають теплоелектроцентралями (ТЕЦ), їх розташовують безпосередньо біля споживачів теплоти: у містах, поруч з великими промисловими центрами і підприємствами тощо.

Використання ТЕС, ТЕЦ, міні ТЕЦ, а також котелень пов'язане з потребою забезпечити споживачів тепловою енергією у вигляді водяної пари або гарячої води потрібних параметрів. Для великих міст України особливістю теплопостачання є теплофікація за рахунок ТЕЦ. Вони забезпечують близько 40 % теплової енергії, споживаної в промисловості і комунальному господарстві для пот-

					ПД 301.000.000 ПЗ	Арк..
Зм.	Арк..	№ докum.	Підпис	Дата		7

реб опалення і гарячого водопостачання, і мають безперечну термодинамічну перевагу перед виробництвом енергії на КЕС. Підвищення ефективності ТЕС є природним процесом, що диктується необхідністю компенсації постійно зростаючих витрат паливного циклу. Розвідка, освоєння і експлуатація нових родовищ нафти, газу і вугілля, як і доопрацювання існуючих обходяться усе більш високою ціною, і підтримка прийнятних цін на електричну енергію вимагає адекватного випереджаючого підвищення к.к.д. ТЕС. Окрім цього, необхідність підвищення ефективності диктується і екологічними міркуваннями.

Постачання до споживача теплоти, віддача її та повернення до джерела теплопостачання конденсату або охолодженої води відбуваються за рахунок використання спеціалізованого обладнання (РОУ, водяні та конденсатні насоси, вен-тилятори, теплообмінники, інжектори, теплоізовані трубопроводи – теплові мережі тощо). Сучасне проектування з метою удосконалення будь якого устаткування ТЕС значно підвищує надійність та безперебійність роботи всієї системи теплоенергопостачання, що підтверджує актуальність цієї роботи. Вентиляція займає важливе місце у виробничому процесі ТЕС, тому що сама можливість ведення робіт, здоров'я й продуктивність праці робітників залежать від стану вентиляції приміщень.

Основним засобом, що забезпечує нормальні атмосферні умови в робочих приміщеннях, є вентиляційні установки провітрювання. У цей час вітчизняні заводи щорічно випускають понад 40 тисяч вентиляторів місцевого провітрювання сумарною номінальною потужністю понад 400 тис. кВт.

Підвищення експлуатаційно-технічних показників вентиляторів місцевого провітрювання у зв'язку із пропонованими до них специфічними вимогами є досить складним завданням, рішення якого вимагає серйозних досліджень в області аеродинаміки, акустики, міцності, надійності й економіки. Найважливішим також в цьому питанні є створення надійного і економічного відповідного вибухозахищеного електроприводу.

**Метою цього дипломного проекту є розрахунок та проектування економічної конструкції вентилятора з заданим тиском та оптимально розрахованим**

					ПД 301.000.000 ПЗ	Арк..
Зм.	Арк..	№ докцм.	Підпис	Дата		8

вибухозахищеним електроприводом для роботи в умовах теплоелектростанції. Застосування відповідної потужності електродвигуна з поліпшеними техніко-економічними параметрами для приводу вентилятора та модернізація конструкції робочого колеса приводить до зменшення маси приводу вентилятора при підвищеному створеному тиску.

У процесі проектування двигуна застосовувалися методи автоматизованого проектування електротехнічних установок (ЕТУ) і електромеханічних систем (ЕМС). При розробці використовувався пакет програм-розрахунків (електромагнітної, теплової, механічної, економічної і технологічної частини) і редагування пояснювальної записки для автоматизованого проектування електричних машин у курсовому і дипломному проектах. При розробці графічної частини дипломного проекту використовувався комп'ютерний комплект креслень-заготівель двигуна і графічний редактор "КОМПАС".

					ПД 301.000.000 ПЗ	Арк..
						9
Зм.	Арк..	№ докцм.	Підпис	Дата		

## 1. ОГЛЯД КОНСТРУКЦІЙ УСТАТКУВАННЯ ТА ОБГРУНТУВАННЯ ТЕМИ ПРОЕКТУ

Вентиляційна система кожної теплоелектростанції досить складна. Приплив зовнішнього повітря в турбінне відділення головного корпусу передбачається за допомогою припливних вентиляційних установок з механічною спонукуючою з частковою рециркуляцією внутрішнього повітря. Видалення повітря з турбінного і котельного відділення здійснюється витяжними системами. У електроприміщеннях для видалення надлишкового тепла від електроустаткування передбачаються припливно-витяжні системи вентиляції.

У системах вентиляції теплоелектростанцій застосовуються як осьові так і відцентрові вентилятори. Найбільш поширеним в системі вентиляції промислових підприємств вважається відцентровий реверсивний вентилятор, котрий подає або витягує повітря. Широкому застосуванню відцентрових реверсивних вентиляторів перешкоджає їх відносно низький ККД. Більшу частину втрат в вентиляційній вузлі складають втрати в безлопаточному плескому дифузори, розташованим за робочим колесом вентилятора. Втрати на початковій ділянці безлопаточного дифузора, які залежать від нуля швидкостей на вході, визначають втрати у всьому дифузори.

З огляду на значне число вентиляторів різного тиску, що потрібні теплопостачальним підприємствам країни та на вентилятори, що серійно випускаються вітчизняною промисловістю, можна зробити висновок, що не всі вони повною мірою відповідають вимогам ТЕС. Тому дана робота ставить перед собою завдання розробити вентиляційну установку, що повинна відповідати наступним вимогам:

- задовольняти прогнозованому полю вентиляційних режимів, що простирається по продуктивності від 0,8 до 30 м<sup>3</sup>/с і сягаючий по тиску 1000—5000 Па;
- бути високоекономічною, глибоко регульованою, задовольняти санітарним нормам по шуму;

					ПД 301.000.000 ПЗ	Арк..
Зм.	Арк..	№ докцм.	Підпис	Дата		10

- бути компактною, легкою, транспортабельною, міцною, надійною в роботі й простій в обслуговуванні;

- зручно приєднуватися до вентиляційного трубопроводу при роботі на нагнітання й усмоктування;

- мати надійний сучасний елетропривід відповідної потужності.

Вентилятори повинні мати високу надійність у роботі. Як правило, надійність вентилятора визначається надійністю його електродвигуна.

Для вентиляційних установок застосовують електродвигуни серій ВАО, ЕДК, ВР, АІР, АІУ. Це спеціальні рудничні вибухозахищені двигуни. Вони вбудовуються в корпус вентилятора, робоче колесо, найчастіше, насаджуються безпосередньо на вал електродвигуна.

### **1.1. Огляд конструкцій осьових вентиляторів**

Найпростіший осьовий вентилятор складається із двох основних частин: осьового лопатевого колеса (із числом лопаток від 2 до 12) і кожуха. При обертанні колеса повітря надходить через вхідний отвір, проходить між лопатками й осьовим напрямком і виходить через вихідний отвір, осьові колеса й більшої часті випадків насаджуються безпосередньо на вали двигунів, а двигуни, укриті обтічниками, розташовуються усередині кожуха. Величина зазорів між кожухом і кінцями лопаток повинна бути мінімальною, при якій забезпечується можливість обертання колеса усередині кожуха. Вона не повинна перевищувати 1,5% від довжини лопатки, тому що при більших зазорах погіршуються аеродинамічні якості осьових вентиляторів (зменшується статичний напір і знижується загальний ККД).

Осьове колесо складається із втулки щодо великого діаметра й прикріплених до неї глухих або поворотних лопаток (рис.1.1). Лопатки можуть бути симетричного й несиметричного профілю. Найбільш досконалу форму мають лопатки зі спеціальним несиметричним профілем, що нагадує профіль крила літака. При симетричному профілі лопатки можуть працювати при будь-якому напрямку обертання, тому такі вентилятори називаються реверсивними, тому

					ПД 301.000.000 ПЗ	Арк..
Зм.	Арк..	№ докцм.	Підпис	Дата		11

що для зміни напрямку потоку досить міняти направлення обертання лопатевого колеса. Нереверсивними прийнято називати вентилятори з несиметричними лопатками.

Лопатки або навіть цілі колеса виготовляють штампуванням з листового металу. При великих розмірах вентилятора лопатки робляться пустотілими. Втулки можуть бути литі й зварні. З підвищенням швидкохідності осьового вентилятора число лопаток зменшують.



Рис. 1. 1. Осьовий вентилятор

Осьові вентилятори належать до швидкохідних нагнітачів і застосовуються для подачі щодо більших обсягів газу при менших тисках у порівнянні з відцентровими, наприклад, для провітрювання приміщень, для вентиляції шахт, тунелів, у ходків печей випалу під час вивантаження цегли й т.д. В осьових вентиляторів струменя повітря рухаються паралельно осі, тому окружна швидкість практично не змінюється, тобто для кожного струмка  $U_1 = U_2$ . Отже, у роботі не беруть участь відцентрові сили. От чому вентилятори цього типу розвивають менший тиск, чим відцентрові.

Потужність, споживана осьовим вентилятором, майже не залежить від зміни продуктивності, тому немає необхідності встановлювати двигуни із запасом потужності, як це робиться для відцентрових вентиляторів.

Осьові вентилятори мають невеликий ККД, при симетричних лопатках

					ПД 301.000.000 ПЗ	Арк..
Зм.	Арк..	№ докцм.	Підпис	Дата		12



вони реверсивні. Потужність більшості вентиляторів мало залежить від зміни продуктивності, розміри такого вентилятора в радіальному напрямленні невеликі.

## 1.2. Огляд конструкцій відцентрових вентиляторів

Звичайний відцентровий вентилятор (рис.1.2) складається із трьох основних частин: відцентрового колеса з робочими лопатками, спірального кожуха і станини.

Колеса вентиляторів виготовляють із листової сталі із застосуванням клепкових і зварювальних робіт. Відцентрове колесо служить для створення напору й подачі повітря в мережу. Клепане або зварне колесо складається із диска, до якого кріпляться лопатки і втулка. Втулка лита або нагострена служить для насадження колеса на вал.



Рис. 1.2. Відцентровий вентилятор

Кожух, що має форму равлика, служить для збирання потоку повітря, що збігає з колеса, і для перетворення динамічного тиску в статистичне.

При обертанні лопатевого колеса газ, що перебуває в каналах колеса, під дією відцентрових сил відкидається в кожух, з якого виходить через відповідний вихідний отвір. На місце газу, що йде з робочого колеса, із зовнішнього середовища через вхідний патрубок всмоктуються нові частки газу. При

					ПД 301.000.000 ПЗ	Арк..
Зм.	Арк..	№ докцм.	Підпис	Дата		13

безперервному обертанні робочого колеса створюється безперервне переміщення газу усередині кожуха. По конструктивному виконанню лопатки робочого колеса мають форму загнутих уперед, радіальних і загнутих назад щодо напрямку обертання.

#### *Класифікація відцентрових вентиляторів*

По створюваному напорі розрізняють вентилятори:

- а) низького тиску - до 981 Па;
- б) середнього тиску 981 – 2943 Па;
- в) високого тиску - вище 2943 до 11772 Па.

Однак слід зазначити, що вентилятор низького тиску при збільшенні швидкості обертання може працювати як вентилятор середнього тиску й навпаки. Тому наведена вище класифікація вентиляторів по створюваному напору є умовною. При класифікації вентиляторів також користуються формулою коефіцієнта швидкохідності:

$$n_s = 11,3 \cdot \frac{n \cdot \sqrt{Q}}{\sqrt[4]{(P / g \rho)^3}},$$

де  $n$  - частота обертання двигуна (об/хвил);

$Q$  - витрата повітря, м<sup>3</sup>/сек,

$P$  - тиск вентилятора, Па.

Залежно від коефіцієнта швидкохідності вентилятори підрозділяються на:

- а) швидкохідні (осьові) при  $n_s > 1500$  об/хв;
- б) середньої швидкохідності (відцентрові) при  $n_s = 800 - 1400$  об/хв;
- в) тихохідні (відцентрові) при  $n_s = 500 - 700$  об/хв;
- г) дуже тихохідні (відцентрові) при  $n_s < 500$  об/хв.

Залежно від роду переміщуваного середовища відцентрові вентилятори підрозділяються на:

- а) вентилятори одного призначення, коли переміщувана середовища - повітря й інші газові суміші, агресивність яких стосовно вуглеро-

					ПД 301.000.000 ПЗ	Арк..
Зм.	Арк..	№ докцм.	Підпис	Дата		14

дістим сталям не вище агресивності повітря з температурою до 80°C;

б) пилові вентилятори застосовують, коли переміщувана середовище - повітря зі змістом пилу більше 100 г/м<sup>3</sup>;

в) іскрозахистні вентилятори - з підвищеним захистом від іскроутворювання, коли передбачені засоби й заходи, що утрудняють виникнення небезпечних іскор;

г) корозійностійкі вентилятори з титану призначені для переміщення невибухонебезпечних газоповітряних сумішей з агресивними домішками, що викликають прискорену корозію вентилятора з вуглецевих сталей;

д) вентилятори з деталями із пластмас призначені для переміщення агресивних газів і парів рідин, у середовищі яких стійкість сталевих вентиляторів низка, а пластмаси не руйнуються.

Сьогодні в теплоенергетичних підприємствах для місцевого провітрювання широко застосовуються вентилятори відцентрові (радіальні) середнього тиску серії ВЦ (ВЦ 14-46 ВЗ), які застосовуються для експлуатації в районах з помірним кліматом (У) і виготовляються по категорії розміщення 2 і 3 ГОСТ 15150-69.

Вентилятор ВЦ 14-46 ВЗ призначений для переміщення повітря і інших газових сумішей, агресивність яких по відношенню до вуглецевих сталей звичайної якості не вища за агресивність повітря, з температурою до +80 С°, що не містять липких речовин, волокнистих матеріалів, а також пилу і інших твердих домішок не більше 100 міліграма/м<sup>3</sup>.

*Характеристики відцентрового вентилятор ВЦ 14-46 ВЗ*

-високого тиску;

-одностороннього всмоктування;

-корпус спіральний поворотний;

-загнуті лопатки;

-кількість лопаток: 32 шт.;

-напрям обертання: правий і лівий;

					ПД 301.000.000 ПЗ	Арк..
Зм.	Арк..	№ докцм.	Підпис	Дата		15

- матеріал виготовлення: вуглецева сталь;
- робоче колесо на валу двигуна;
- вентилятори виготовляються відповідно до з ТУ 21-26-260-81.

*Сфера застосування відцентрових вентиляторів ВЦ 14-46ВЗ*

Вентилятори застосовуються в системах кондиціонування і вентиляції, а також для інших санітарно-технічних і виробничих цілей. Відцентрові вентилятори ВЦ 14-46 ВЗ застосовуються для подачі повітря у вагранки, печі, вентиляцію зернових елеваторів і глибоких шахт, а також в установках пневмотранспорту ежекційного типу і установках інших технологічних систем.

Допускається експлуатація вентиляторів по 1-ій категорії за умови обертання двигуна від атмосферних дій.

*Варіанти виготовлення відцентрових вентиляторів ВЦ 14-46ВЗ*

- з вуглецевої сталі;
- з нержавіючої сталі (під замовлення);
- з різномірних металів (під замовлення).

В залежності від необхідного тиску і продуктивності вентилятори ВЦ 14-46ВЗ комплектуються електродвигунами різної потужності.

Конструкція робочого колеса - турбінного типу, має 32 лопаток. Лопатки кріпляться електрозварюванням до переднього і заднього дисків. Задній диск кріпиться до втулки (маточини) за ліпленнями. Матеріал дисків і лопаток - листовая сталь, втулки - сірий чавун. Призначення колеса - створити розрядку в зоні всмоктування і надмірний тиск в зоні нагнітання. Робоче колесо може бути правого і лівого обертання.

Корпус спіральний вентилятора високого тиску ВЦ 14-46ВЗ зварюється з листового і сортового сталевих прокату. Спіральний корпус може бути лівого і правого обертання. Поверхні робочого колеса і спірального корпусу, дотичних до переміщуваного середовища, утворюють проточну порожнину. Призначення корпусу - формування потоків всмоктування і нагнітання. Вказаний вентилятор комплектується електродвигуном серії АІР.

					ПД 301.000.000 ПЗ	Арк..
Зм.	Арк..	№ докцм.	Підпис	Дата		16

Колеса вентиляторів виготовляють з листів сталі із застосуванням клепкових і зварювальних робіт. Відцентрове колесо служить для створення натиску і подачі повітря в мережу. Клепане або зварне колесо складається із заднього диска, до якого кріпляться лопатки і маточина. Маточина лита або точена служить для насадження колеса на вал.

Кожух має форму равлика, служить для збирання потоку повітря, що збігає з колеса, і для перетворення динамічного тиску в статичне.

При обертанні лопатевого колеса газ, що знаходиться в каналах колеса, під дією відцентрових сил відкидається в кожух, з якого виходить через відповідний вихідний отвір. На місце газу, що йде з робочого колеса, із зовнішнього середовища через вхідний патрубок всмоктуються нові частинки газу. При безперервному обертанні робочого колеса створюється безперервне переміщення газу усередині кожуха.

По конструктивному виконанню лопатки робочого колеса мають форму загнутих вперед, радіальних і загнутих назад відносно напрямку обертання.

Вентилятори типу ВЦ 14-46ВЗ випускаються ТОВ "Промислові вентилятори" (Київська обл., м. Бровари, Україна).

Ураховуючи огляд та аналіз конструкцій, за основу в даному проекті доцільно прийняти відцентровий вентилятор середнього тиску ВЦ 14-46ВЗ, тому що достоїнствами цього типу вентиляторів є: відносна малошумність і надійність експлуатації, зручність обслуговування й ремонту, висока економічність, сприятливі для паралельної роботи аеродинамічні характеристики.

### **1.3. Огляд асинхронних вибухозахищених двигунів**

Для вентиляційних установок застосовують електродвигуни серій ВАО, В, ВР, АІУ. Це спеціальні рудничні вибухозахищені двигуни. Вони вбудовуються в корпус вентилятора, робоче колесо, найчастіше, насаджуються безпосередньо на вал електродвигуна.

Розглянемо технічні характеристики основних серій вибухозахищених електродвигунів що відповідають умовам експлуатації теплоелектростанції.

					ПД 301.000.000 ПЗ	Арк..
Зм.	Арк..	№ докцм.	Підпис	Дата		17

*Двигуни серії ВАО характеризуються наступними показниками:*

- потужність – 1,5— 38 кВт;
- частота обертання – 3000 об/хв;
- номінальна напруга – 380/660 В.

*Номінальні значення експлуатаційних факторів:*

- висота над рівнем моря не більше 1000 м;
- верхнє значення температури навколишнього повітря +40 °С;
- верхнє значення відносної вологості повітря 100% при температурі 25°С, а при більшій низькій температурі з конденсацією вологи.

Електродвигуни повинні допускати тривалу роботу з номінальною потужністю при спаданні напруги живильної мережі до 0,85 номінальної напруги, а також при роботі вентилятора в холосту.

Ще одна серія електродвигунів застосовуваних у вентиляційних установках місцевого провітрювання – це двигуни серії ВР. Це вибухозахищені двигуни мають наступні показники:

- потужність – 0,25— 110 кВт;
- частота обертання – 3000; 1500; 1000; 750 об/хв.;
- номінальна напруга – 380/660 В.

*Номінальні значення експлуатаційних факторів:*

- висота над рівнем моря не більше 1000 м;
- верхнє значення температури навколишнього повітря +40 °С;
- верхнє значення відносної вологості повітря 100% при температурі 25°С, а при нижчій температурі з конденсацією вологи.

*Двигуни серій ВАО й (В)ВР мають наступні показники надійності:*

- середній механічний ресурс до першого капітального ремонту не менш 30000 г;
- імовірність безвідмовної роботи не менш 0,95 на 1000 г і не менш 0,85 на 8000 г;
- регламент планово-попереджувальних заміन і технічного обслуговування не рідше одного разів за 4000 г.;

					ПД 301.000.000 ПЗ	Арк..
Зм.	Арк..	№ докцм.	Підпис	Дата		18

-швидкість наростання температури обмотки статора в режимі короткого замикання не більше 7 °С /с.

Ротори двигунів балансуються динамічно.

Рівні шуму, що допускають, двигунів вентиляторів місцевого провітрювання не перевищують настановні норми для електродвигунів першого класу за ДСТ 16372 – 70.

Режим роботи електродвигунів даних серій тривалий.

#### *Електродвигуни серії АІУ*

Електродвигуни серії АІУ-це вибухозахищені електродвигуни, які використовуються для робіт в вибухонебезпечних середовищах. Двигуни серії АІУ є модернізованими високонадійними й економічними машинами.

Характеристики електродвигунів серії АІУ:

- потужність – 0,37— 55 кВт;
- частота обертання – 750 — 3000 об/хв.;
- номінальна напруга – 380/660 В;
- ККД – 70— 92,5%.

Двигуни випускаються на напругу 220, 240, 380, 415, 550, 660 У при частоті струму живильної мережі 50 Гц й 220, 230, 240, 380, 400, 415, 440 У при частоті 60 Гц.

Режим роботи двигунів – S1. Двигуни допускають роботу в режимах S2, S3, S4 із ПВ відповідно до ДЕРЖСТАНДАРТ 183 – 74. Для двигунів на частоту струму мережі 60 Гц допускається зниження кратності початкового пускового й мінімального моментів на 10% та підвищення кратності початкового пускового струму на 10%.

Проведений аналіз різних типів двигунів для приводу вентиляторів показав, що для поставленого завдання найбільш відповідає асинхронний електродвигун серії АІУ, тому що електродвигуни цієї сучасної серії характеризуються значно високою надійністю й економічністю та мають гарні технічні характеристики, його й буде взято за базовий при проектуванні.

					ПД 301.000.000 ПЗ	Арк..
Зм.	Арк..	№ докцм.	Підпис	Дата		19

Конструктивними рішеннями, загальними для усіх висот осі обертання електродвигуна АІУ зі ступенем захисту ІР54 (ДСТ 17494-72) і способом охолодження ІСА0141 (ДСТ 20459-75), є станина з подовжніми радіальними ребрами і зовнішній обдувши встановленим на валові реверсивним відцентровим вентилятором, захищеним кожухом, що служить одночасно для напрямку повітряного потоку. Сердечники статора і ротора зібрані з штампованих аркушів електротехнічної сталі товщиною 0,5 мм. Для сердечників АД з висотами осі обертання 50 — 132 мм застосовується сталь марки 2013 (ДСТ 21427.2-83), для АД з висотами осі обертання 160—250 мм - сталь марки 2212 (ДСТ 21427.2-83), для АД з висотами осі обертання 280— 355 мм - сталь марки 1312 (ДСТ 21427.3-83). Сердечники статорів АД скріплюють зварюванням або сталевими скобами. Сердечники статорів АД з висотами осі обертання 250 — 355 мм збираються безпосередньо в станині, обпресовуються і закріплюються кільцевими шпонками.

Обмотки АД з висотами осі обертання 50—132 мм мають ізоляцію класу нагрівостійкості В, АД з висотами осі обертання 160—355 мм - класу F. Двигуни з висотами осі обертання 50 —160 мм, за винятком двухполюсних с висотою осі обертання 160 мм, мають одношарові всипні статорні обмотки. Двигуни з висотами осі обертання 160—250 мм і двухполюсні з висотою осі обертання 160 мм мають одне-двошарові або двошарові всипні обмотки. У АД з висотами осі обертання 280—355 мм застосовані обмотки з підрозділених котушок, намотаних прямокутним проводом. Виключенням є 10-полюсні АД з висотою осі обертання 280— 355 мм і 12-полюсні АД з висотою осі обертання 315—355 мм, що мають всипні двошарові обмотки. Обмотки короткозамкнених роторів виконують литими з алюмінію або його сплавів.

На основі проведенного аналізу за базову конструкцію вентилятора для місцевого провітрювання в умовах теплоелектростанції приймаємо відцентровий вентилятор середнього тиску ВЦ 14-46ВЗ з вибухозахищеним електродвигуном серії АІУ, який повинен, згідно с завданням, створювати робочий тиск  $P=2500$  Па при продуктивності  $Q=0,8$  м<sup>3</sup>/с.

					ПД 301.000.000 ПЗ	Арк..
						20
Зм.	Арк..	№ докцм.	Підпис	Дата		



## 2. ВИБІР ТА РОЗРАХУНОК ОПТИМАЛЬНОЇ ПОТУЖНОСТІ ЕЛЕКТРОДВИГУНА

При виборі електродвигуна для механізмів, працюючих тривало з незмінним або мало таким, що міняється навантаженням без регулювання швидкості режиму, таких як вентилятори або насоси, необхідно знати потужність, споживану механізмом. Якщо ця потужність невідома, її визначають теоретичними розрахунками або розрахунками за емпіричними формулами з використанням коефіцієнтів, отриманих з численних дослідів. Для маловивчених механізмів необхідну потужність визначають шляхом зняття діаграм навантажень самописними приладами на наявних вже в експлуатації аналогічних установках або шляхом використання нормативів споживання енергії, отриманих на підставі статистичних даних, що враховують питому витрату електроенергії при випуску продукції.

При відомій потужності механізму потужність електродвигуна вибирається по каталогу з урахуванням ККД проміжної передачі. Розрахункова потужність на валу електродвигуна :

$$P = \frac{P_M}{\eta_{II}}$$

де  $P_M$  - потужність, споживана механізмом;

$\eta_{II}$  - ККД передачі.

Номінальна потужність електродвигуна, прийнятого по каталогу, має бути рівна або дещо більше за розрахункову. Вибраний електродвигун не потребує перевірки по нагріву або по перевантаженню, оскільки завод-виробник провів усі розрахунки і випробування, причому основою для розрахунків було максимальне використання матеріалів, закладених в електродвигуні при його номінальній потужності. Іноді, проте, доводиться перевіряти достатність пускового моменту, що розвивається електродвигуном, враховуючи, що деякі механізми мають підвищений опір тертя на початку чіпання з місця (наприклад, транспор-

					ПД 301.000.000 ПЗ	Арк..
Зм.	Арк..	№ докцм.	Підпис	Дата		21

тери, деякі механізми металорізальних верстатів).

При виборі напруги електродвигуна необхідно враховувати можливості системи енергопостачання підприємства. При цьому недоцільно при великих потужностях вибирати двигун з низькою напругою, оскільки це приведе до невиправданого дорожчання не лише двигуна, але і живлячих дротів і комутаційної апаратури внаслідок збільшення витрати міді.

Якщо при чіпанні момент опору навантаження невеликий і для зменшення пускових струмів асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором може бути застосований спосіб пуску з перемиканням з «зірки» на «трикутник», необхідно передбачити вивід в клемну коробку усіх шести затисків обмотки статора. У загальному випадку застосування схеми з'єднання «зірка» є переважною, оскільки в схемі «трикутник» є контур для протікання струмів нульової послідовності, які призводять до нагріву обмотки і зниження ККД двигуна, в з'єднанні «зірка» такий контур відсутній.

Більшість електродвигунів, що випускаються, мають міри захисту IP44, IP54 і IP55. При виборі електродвигуна необхідно враховувати умови довкілля (температура, вологість), а також необхідність захисту двигуна від дії чужорідних предметів і води.

#### *Зусилля, діючі на вал двигуна з боку навантаження*

Найбільш навантаженими в двигуні є підшипникові вузли. Тому при виборі двигуна мають бути враховані радіальні і осьові зусилля, діючі на робочий кінець валу двигуна з боку навантаження. Перевищення допустимих значень сил приводить до прискореного виходу з ладу не лише підшипників, але і усього двигуна (наприклад, зачіпання ротора об статор).

Зазвичай допустимі значення сил для кожного підшипника приведені в каталогах. Рекомендується у разі підвищених радіальних зусиль (ремінна передача) на робочий кінець валу встановити роликівий підшипник, при цьому переважним є двигун з чавунними підшипниковими щитами.

При роботі електроприводу з тривалим постійним навантаженням зручно використовувати асинхронні електродвигуни. При цьому у асинхронних двигу-

					ПД 301.000.000 ПЗ	Арк..
Зм.	Арк..	№ докцм.	Підпис	Дата		22

нів останнього покоління можна досить ефективно регулювати швидкість обертання, здійснювати реверс з необхідним моментом для роботи електроприводу, але для цього застосовуються спеціальні пристрої управління. Але якщо електродвигун приводу повинен працювати в умовах регульованої частоти обертання, реверсу, частих пусків, великих змін навантаження, то при виборі виду двигуна необхідно зіставити умови роботи електроприводу з особливостями механічних характеристик різних видів електродвигунів.

Важливим критерієм для оцінки механічних характеристик електродвигуна служить їх жорсткість. Вимоги до жорсткості механічної характеристики у ряді виадків є основою для вибору виду двигуна.

Тип двигуна (його конструкцію) вибирають залежно від умов довкілля. Доводиться враховувати необхідність захисту середовища від можливих искробразованій в двигуні (при наявність вибухонебезпечної атмосфери), а також самих двигунів від попадання в них вологи, пилу, хімічних речовин з довкілля.

*Оптимальний вибір потужності електродвигуна для приводу повинен задовольняти наступним вимогам:*

- надійність в роботі;
- можливість працездатного стану в різних умовах;
- економічність в експлуатації.

Установка двигуна більшої потужності, чим це необхідно за умовами роботи приводу, викликає зайві втрати енергії при роботі електричної машини, обумовлює додаткові капітальні вкладення, збільшення маси і габаритів двигуна.

Установка електродвигуна меншої потужності знижує продуктивність електроприводу і робить його роботу ненадійною. При цьому сам електродвигун в подібних умовах може бути пошкоджений.

Електродвигун необхідно вибирати так, щоб його потужність використовувалася можливо повніше. Під час роботи двигун не повинен нагріватися до гранично допустимої температури, в крайньому випадку на дуже нетривалий час. Крім того, двигун повинен нормально працювати при можливих тимчасових

					ПД 301.000.000 ПЗ	Арк..
Зм.	Арк..	№ докцм.	Підпис	Дата		23

перевантаженнях і розвивати пусковий момент на валу той, який потрібно для нормального функціонування старанного механізму.

Вибір потужності для приводу з тривалим режимом роботи при постійному або трохи такому, що міняється навантаженні на валу є простим. В цьому випадку потужність двигуна має дорівнювати потужності навантаження, а перевірки на перегрівання і перевантаження під час роботи електроприводу не потрібні (це пояснюється спочатку певними умовами роботи електродвигуна). У теж час необхідно перевірити, чи достатній пусковий момент на валу двигуна для пускових умов цієї електричної машини.

Відцентрові вентилятори відносяться до категорії нагнітачів, що відрізняються найбільшою різноманітністю конструктивних типів. Колеса вентиляторів можуть мати лопатки загнуті як вперед, так і назад відносно напрямку обертання колеса. Досить поширені вентилятори з радіальними лопатками. При проектуванні слід враховувати, що вентилятори з лопатками загнутими проти обертання економніші і менш шумні, але мають менший ККД. ККД вентилятора росте зі збільшенням швидкохідності і може досягати значення  $\sim 0,9$ . З урахуванням сучасних вимог до енергозбереження при проектуванні установок вентиляторів слід орієнтуватися на конструкції вентиляторів, що відповідають відпрацьованим аеродинамічним схемам Ц4-76, 0,55-40 і схожим з ними. Компонувальні рішення визначають ККД установки вентилятора. При моноблочному виконанні (колесо на валу електроприводу) ККД має максимальне значення. Використання в конструкції ходової частини (колесо на власному валу в підшипниках) знижує ККД приблизно на 2 %, передача клиноременева в порівнянні з муфтою додатково знижує ККД ще мінімум на 3 %. Проектні рішення залежать від тиску вентиляторів і їх швидкохідності.

#### *Потужність і моменти*

У загальному випадку для кваліфікованого підбору електродвигуна має бути відома діаграма навантаження механізму. Проте, у разі постійного або слабо такого, що міняється навантаження без регулювання швидкості досить

					ПД 301.000.000 ПЗ	Арк..
Зм.	Арк..	№ докцм.	Підпис	Дата		24

розрахувати необхідну потужність по теоретичних або емпіричних формулах, знаючи робочі параметри навантаження.

Враховуючи заданий робочий тиск на виході проектованого вентилятора  $P=2500\text{Па}$  з потрібною продуктивністю  $Q=0,8\text{м}^3/\text{с}$  (яка встановлюється з урахуванням схеми транспортування повітря) потрібна потужність електродвигуна для відцентрового вентилятора визначається:

$$P = \kappa_z \frac{QH}{\eta_v \eta_n} 10^{-3} = 1,1 \frac{0,8 \cdot 2500}{0,7 \cdot 0,93} 10^{-3} = 3,379 \text{ кВт},$$

де  $\eta_v$  - ККД вентилятора, рівний 0,5— 0,85 для осьових, 0,4— 0,7 - для відцентрових вентиляторів,

$\eta_n$  - ККД передачі від двигуна до крильчатки вентилятора рівний 0,93,

$\kappa_z$  - коефіцієнт запасу, рівний 1,1— 1,2 при потужності більше 3 кВт, 1,5 - при потужності до 2 кВт і 2,0 - при потужності до 1 кВт,

$H$  - робочий тиск на виході вентилятора.

Таким чином, розрахована оптимальна потужність двигуна для приводу вентилятора з робочим тиском 2500Па дорівнює  $P_2=3,5\text{кВт}$ , з невеликим запасом.

Момент  $M$  (Нм), що розвивається електродвигуном і корисна потужність на валу  $P_2$  (кВт) пов'язані наступним співвідношенням.

$$M = \frac{30P_2}{\pi n} 10^3 = 9,55 \frac{P_2}{n} 10^3$$

$$M = 9,55 \frac{3,5}{1500} \cdot 10^3 = 22,28 \text{ Нм}.$$

Момент при чіпанні опору навантаження згідно з завданням повинен бути не менш ніж  $M=20 \text{ Нм}$ , що виконується для обраного двигуна.

Критерієм правильності вибору є відповідність розрахункового тиску вентилятора заданому значенню у регульовальних характеристиках при фактичній частоті обертання двигуна.

					ПД 301.000.000 ПЗ	Арк..
Зм.	Арк..	№ докцм.	Підпис	Дата		25

## 4. ЕЛЕКТРОМАГНІТНИЙ РОЗРАХУНОК

**Вихідні дані.** Потужність на валові-  $P_{2H} = 3,5$  кВт. Напруга номінальна фазна  $-U_H = 380$  В. Частота живильної мережі  $-f = 50$  Гц. Синхронна частота обертання  $n_c = 1500$  об/хв. Ізоляція класу нагрівостійкості F.

### 4.1. Вибір головних розмірів

4.1.1. Число пар полюсів

$$p = 60f/n_1 = 60 \cdot 50 / 1500 = 2.$$

4.1.2. Висота осі обертання (попередньо) по рис. 8-17,а [1]

$$h_{np} = 100 \text{ мм.}$$

З табл. 8-6 [1] приймаємо

$$h = 100 \text{ мм;}$$

зовнішній діаметр сердечника статора (див. табл. 8.6) [1]

$$D_a = 0,168 \text{ м.}$$

По табл. 8-7 [1] вибираємо значення  $k_D$ : при  $2p=2$   $k_D = 0,52— 0,6$ ; при  $2p=4$   $k_D = 0,62— 0,68$ ; при  $2p=6$   $k_D = 0,7— 0,72$ ; при  $2p=8$   $k_D = 0,72— 0,75$ ; при  $2p=10— 12$   $k_D = 0,75— 0,77$ , у проекті  $2p=4$ , тому вибираємо коефіцієнт

$$k_D = 0,68 \text{ .}$$

4.1.3. Внутрішній діаметр статора

$$D = k_D D_a = 0,68 \cdot 0,168 = 0,1142 \text{ м.}$$

4.1.4. Поліусний розподіл

$$\tau = \frac{\pi D}{2p} = 3,14 \cdot 0,1142 / 4 = 0,090 \text{ м.}$$

4.1.5. Розрахункова потужність по рис. 9.20 [1] вибираємо коефіцієнт

$$k_E = 0,965 \text{ ;}$$

по рис. 8.21,а [1] вибираємо коефіцієнт корисної дії двигуна

					ПД 301.000.000 ПЗ	Арк..
Зм.	Арк..	№ докum.	Підпис	Дата		26

$$\eta = 0,83 \quad ;$$

і коефіцієнт потужності

$$\cos \varphi = 0,82 \quad ;$$

$$P' = P_{2н} \frac{k_E}{\eta \cos \varphi} = 3,5 \cdot 10^3 \cdot 0,965 / (0,69 \cdot 0,84) = 4,96 \text{ Вт.}$$

4.1.6. Електромагнітні навантаження (попередньо) по рис. 8.22 [1]:  
лінійне токове навантаження

$$A = 25000 \text{ А/м.}$$

магнітна індукція в повітряному зазорі

$$B_{\delta} = 0,85 \text{ Тл.}$$

4.1.7. Обмотувальний коефіцієнт обмотки (попередньо)  $k_{об1}$ , якщо  $2p=4$   
(для 1-шарових обмоток  $k_{об1} = 0,95—0,96$ ; для 2-шарових і 1-2-шарових при  
 $2p=2$   $k_{об1} = 0,90—0,91$  і при  $2p>2$   $k_{об1} = 0,91—0,92$ )

$$k_{об1} = 0,95$$

4.1.8. Розрахункова довжина повітряного зазору по (8.6) [1]

$$l_{\delta} = \frac{P'}{k_B D^2 \Omega k_{об1} A B_{\delta}} = 4,96 \cdot 10^3 / (1,11 \cdot 0,1142^2 \cdot 157 \cdot 0,9 \cdot 25000 \cdot 0,66) = 0,108 \text{ м.}$$

Приймаємо

$$l_{\delta} = 0,110 \text{ м.}$$

Відношення

$$\lambda = \frac{l_{\delta}}{\tau} = 0,11 / 0,090 = 1,22$$

знаходиться в припустимих межах (див. рис. 8.25 [1])

## 4.2. Визначення числа пазів, витків і перерізу проводу обмотки статора

4.2.1. Граничні значення зубцових розподілів статора  $t_1$  (по рис. 8.26 [1], якщо полюсний розподіл  $\tau = 0,090$  м;  $h = 100$  мм:

$$t_{z1 \min} = 9,5 \text{ мм,}$$

					ПД 301.000.000 ПЗ	Арк..
Зм.	Арк..	№ докum.	Підпис	Дата		27

$$t_{z1\max} = 12,5 \text{ мм.}$$

4.2.2. Число пазів статора по 8.16 [1]

$$Z_{1\max} = \pi D / t_{z1\min} = 3,14 \cdot 0,1142 / 9,5 \cdot 10^{-3} = 38;$$

$$Z_{1\min} = \pi D / t_{z1\max} = 3,14 \cdot 0,1142 / 12,5 \cdot 10^{-3} = 29.$$

Приймаємо

$$Z_1 = 36 \text{ ,}$$

тоді число пазів статора на полюс і фази

$$q = \frac{Z_1}{2pm} = 36 / (2 \cdot 2 \cdot 3) = 3.$$

Обмотка одношарова.

4.2.3. Зубцовий розподіл статора (остаточно)

$$t_1 = \frac{\pi D}{2pmq} = 3,14 \cdot 0,1142 / (2 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 3) = 0,0100 \text{ м.}$$

4.2.4. Число ефективних провідників у пази (попередньо) за умови, що число паралельних гілок обмотки статора  $a=1$  по (8.17) [1]

Струм обмотки статора номінальний по 8.18 [1]

$$I_{1H} = \frac{P_{2H}}{mU_{1H}\eta\cos\varphi} = 3,5 \cdot 10^3 / 3 \cdot 380 \cdot 0,867 \cdot 0,84 = 4,216 \text{ А,}$$

$$u'_n = \frac{\pi D A}{I_{1H} Z_1} = 3,14 \cdot 0,1142 \cdot 25000 / (4,216 \cdot 36) = 55.$$

4.2.5. Приймаємо число паралельних гілок

$$a = 1 \text{ ,}$$

тоді по (8.19) [1]

$$u_n = a u'_n = 1 \cdot 55 = 55.$$

Приймаємо

$$u_n = 55 \text{ .}$$

4.2.6. Визначаємо остаточно основні параметри двигуна.

4.2.6.1. Обмотка одношарова з м'яких секцій. Число витків у котушці

					ПД 301.000.000 ПЗ	Арк..
Зм.	Арк..	№ докцм.	Підпис	Дата		28



$$w_k = \frac{u_n}{1} = 55/1 = 55.$$

4.2.6.2. Для одношарової обмотки укорочення кроку обмотки

$$\beta_1 = \frac{y_1}{\tau} = 1.$$

4.2.6.3. Число витків фази обмотки статора по (8.20) [1]

$$w_1 = \frac{u_n z_1}{2am} = 55 \cdot 36 / (2 \cdot 1 \cdot 3) = 330 \text{ витка (ів).}$$

4.2.6.4. Лінійне токове навантаження статора по (8.21) [1]

$$A = \frac{2I_{1H} w_1 m}{\pi D} = 2 \cdot 4,216 \cdot 330 \cdot 3 / (3,14 \cdot 0,1142) = 24903 \text{ А/м.}$$

4.2.6.5. Коефіцієнт розподілу для першої гармоніки електрорушійної сили (ЕРС) для трифазних машин ( $m=3$ ) і  $q=3$  по табл.3.16 [1]

$$k_{p1} = 0,96 \text{ .}$$

4.2.6.7. Обмоточний коефіцієнт для одношарової обмотки

$$k_{o\delta 1} = k_{p1} = 0,96.$$

4.2.6.8. Магнітний потік у повітряному зазорі по (8.22) [1]

$$\Phi = \frac{k_E U_{1H}}{4k_B w_1 k_{o\delta 1} f_1} = 0,965 \cdot 380 / (4 \cdot 1,11 \cdot 330 \cdot 0,96 \cdot 50) = 0,005214 \text{ Вб.}$$

4.2.6.9. Магнітна індукція в повітряному зазорі по (8.23) [1]

$$B_\delta = \frac{p\Phi}{Dl_\delta} = 2 \cdot 0,005214 / (0,1142 \cdot 0,11) = 0,830 \text{ Тл.}$$

4.2.7. Щільність струму в обмотці статора (попередньо) по (8.25) [1]:  
по рис. 8.27,б [1] визначаємо (якщо  $Da=0,168 \text{ м}$ )

$$AJ_1 = 177 \times 10^9 \text{ А}^2/\text{м}^3.$$

Потім щільність струму

$$J_1 = \frac{(AJ_1)}{A} = 177 \cdot 10^9 / 24903 = 7107577 \text{ А/м}^2.$$

4.2.8. Переріз ефективного провідника (попередньо) по (8.24) [1]

					ПД 301.000.000 ПЗ	Арк..
Зм.	Арк..	№ докum.	Підпис	Дата		29

$$q_{ef} = \frac{I_{1н}}{n_{el} J_1} = 4,216 / (1 \cdot 7107577) = 0,6345 \cdot 10^{-6} (\text{м}^2) = 0,6345 \text{ мм}^2.$$

4.2.9. Приймаємо число елементарних провідників в ефективному провіднику

$$n_{el} = 2,$$

тоді переріз елементарного провідника

$$q_{el} = \frac{q_{ef}}{n_{el}} = 0,6345 / 2 = 0,3173 \text{ мм}^2.$$

4.2.10. Вибираємо обмотувальний провід ПЕТ-155 по табл. ПЗ.1 [1]:

$$q_{el} = 0,396 \text{ мм}^2.$$

Діаметр голого проводу

$$d_z = d_{el} = 0,71 \text{ мм.}$$

Діаметр ізолюваного проводу

$$d_{iz} = 0,77 \text{ мм.}$$

Переріз ефективного провідника остаточно

$$q_{ef} = n_{el} q_{el} = 2 \cdot 0,396 = 0,792 \text{ мм}^2;$$

4.2.11. Щільність струму в обмотці статора (остаточно) по (8.27) [1]

$$J_1 = \frac{I_{1н}}{a q_{el} n_{el}} = 4,216 / (1 \cdot 0,396 \cdot 2) = 5,69 \text{ А/мм}^2.$$

### 4.3. Розрахунок розмірів зубцової зони статора

4.3.1. Застосовуємо електротехнічну сталь 2013. У більшості сучасних двигунів виконують трапецеїдальні пази (рис. 4.1, 4.2). Паз статора трапецеїдальний приймаємо по рис. 8.29 [1] зі співвідношенням розмірів, що забезпечують паралельність бічних граней зубців (див. рис 4.1).

					ПД 301.000.000 ПЗ	Арк..
Зм.	Арк..	№ докum.	Підпис	Дата		30

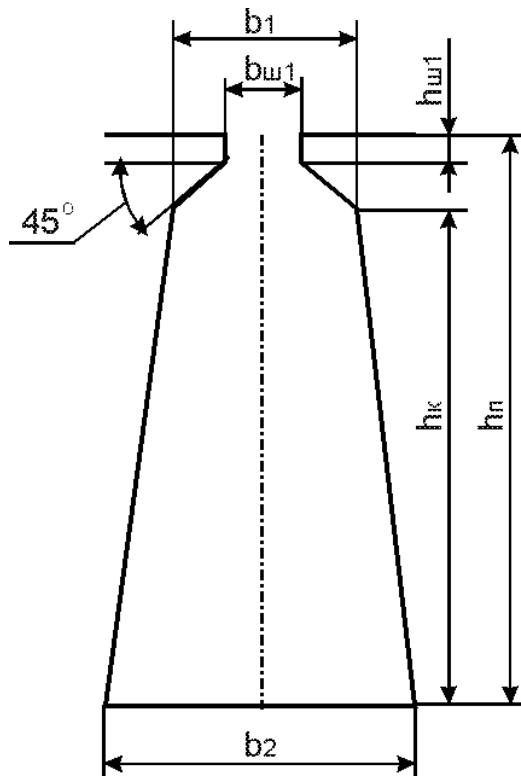


Рис. 4.1. Паз статора

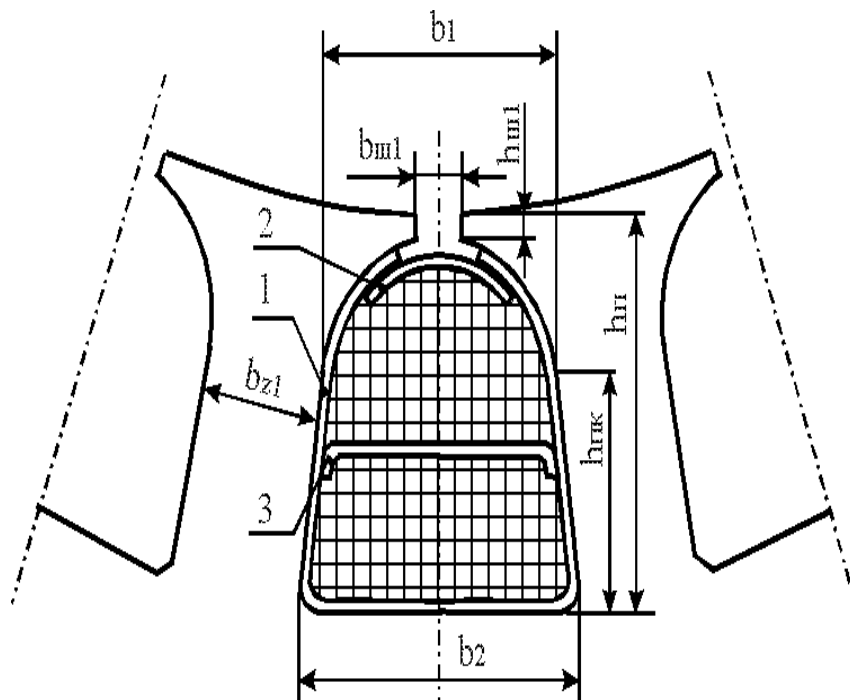


Рис. 4.2. Паз статора

4.3.2. Приймаємо попередньо по табл. 8.10 [1]:  
індукція в зубцях статора

$$B_{z1} = 1,68 \text{ Тл,}$$

Зм.	Арк..	№ докum.	Підпис	Дата
-----	-------	----------	--------	------

ПД 301.000.000 ПЗ

Арк..

31

індукція в ярмі статора

$$B_a = 1,45 \text{ Тл.}$$

4.3.3. Коефіцієнт заповнення пакета статора сталлю по табл.8.11 [1] для оксидованої сталі марки 2013.

$$k_c = 0,97 \text{ .}$$

Ширина зубця статора по (8.37) [1]

$$b_{z1} = \frac{B_{\delta} t_1 l_{\delta}}{B_{z1} l_{cm1} k_c} = 0,830 \cdot 0,0100 \cdot 0,11 / (1,68 \cdot 0,11 \cdot 0,97) = 0,00509 \text{ м} = 5,09 \text{ мм.}$$

Довжина пакета статора  $l_{cm1}$  дорівнює розрахунковій довжині повітряного зазору  $l_{\delta}$ .

4.3.4. Висота ярма статора по (8.28) [1]

$$h_a = \frac{\Phi}{2B_a l_{cm1} k_c} = 0,005214 / (2 \cdot 1,45 \cdot 0,11 \cdot 0,97) = 0,01685 \text{ м} = 16,85 \text{ мм.}$$

4.3.5. Розміри паза в штампі приймаємо по табл. (8.14) [1]:

$$b_{u1} = 0,0018 \text{ м,}$$

Ширину шліца в двигунах із  $h \leq 132$  мм приймають  $h_{u1} = 0,5$  мм, у двигунах із  $h \geq 160$  мм збільшують до  $h_{u1} = 1$  мм, для  $h = 100$  мм

$$h_{u1} = 0,0005 \text{ м.}$$

по (8.38) [1] висота паза

$$h_n = 0,5(D_a - D) - h_a = 0,5 \cdot (0,168 - 0,1142) - 0,01685 = 0,01005 \text{ м} = 10,05 \text{ мм.}$$

4.3.6. Виходячи з умови паралельності граней зубців, знаходимо:

$$b_1 = \frac{\pi(D + 2h_{u1}) - Z_1 b_{z1}}{Z_1 - \pi} = (3,14(0,1142 + 2 \cdot 0,0005) - 36 \cdot 0,00509) / (36 - 3,14) = 0,00543 \text{ м} = 5,43 \text{ мм;}$$

$$b_2 = \frac{\pi(D + 2h_n)}{Z_1} - b_{z1} = 3,14 \cdot (0,1142 + 2 \cdot 0,01005) / 36 - 0,00509 = 0,00662 \text{ м} =$$

					ПД 301.000.000 ПЗ	Арк..
Зм.	Арк..	№ докum.	Підпис	Дата		32

$$=6,62 \text{ мм};$$

по (8.42)- (8-45) [1]:

$$h_{нк} = h_n - \frac{b_1 + h_{из1}}{2} = 0,01005 - (0,00543 + 0,0005)/2 = 0,00709 \text{ м} = 7,09 \text{ мм}.$$

4.3.7. Розміри паза у світлі по (8.42) [1] з урахуванням припусків на зборку згідно табл. 8.12. [1]:

по ширині паза

$$\Delta b_n = 0,1 \text{ мм},$$

по висоті паза

$$\Delta h_n = 0,1 \text{ мм}.$$

$$b'_1 = b_1 - \Delta b_n = 0,00543 - 0,1 \cdot 10^{-3} = 0,00533 \text{ м} = 5,33 \text{ мм};$$

$$b'_2 = b_2 - \Delta b_n = 0,00662 - 0,1 \cdot 10^{-3} = 0,00652 \text{ м} = 6,52 \text{ мм};$$

$$h'_{нк} = h_{нк} - \Delta h_n = 0,00709 - 0,1 \cdot 10^{-3} = 0,00699 \text{ м} = 6,99 \text{ мм}.$$

4.3.9. Площа поперечного переріза паза, у якому розміщується обмотка, корпусна ізоляція і прокладки

$$S_n = \frac{\pi b'^2}{8} + \frac{(b'_1 + b'_2) h'_{нк}}{2} = 3,14 \cdot 0,00533^2 / 8 + (0,00533 + 0,00652) \cdot (0,00699) / 2 =$$

$$= 0,0000526 \text{ м}^2 = 52,6 \text{ мм}^2.$$

4.3.8. Пазова ізоляція приведена в табл. 4.1.

Таблиця 4.1

Ізоляція класу F обмотки статора

Позиція по рис. 4.2, найменування ізоляції	Марка матеріалу	Товщина матеріалу, мм	Число шарів	Однобічна товщина ізоляції
1, корпусна ізоляція, $b_{из}$	Изофлекс	0,2	1	0,15
2, пазова кришка, $b_{нк}$	Изофлекс	0,3	1	0,2
3, прокладка, $b_{пр}$	Відсутня якщо обмотка одношарова	0	0	0

4.3.10. Площа, поперечного переріза корпусної ізоляції в пазу

$$S_{uz} = b_{uz}(2h'_{нк} + 0,5\pi b'_1 + b'_2) = 0,15 \cdot 10^{-3} \cdot (2 \cdot 0,00699 + 0,5 \cdot 3,14 \cdot 0,00533 + 0,00652) = 0,0000044 \text{ м}^2 = 4,4 \text{ мм}^2,$$

де  $b_{uz}$  - однобічна товщина ізоляції в пазу по табл. 4.1.

4.3.11. Площа, займана прокладками в пазу згідно рис. 4.2. (поз. 2 і поз. 3) і табл. 4.1

$$S_{np} = b'_1 \cdot b_{нк} + \frac{b'_1 + b'_2}{2} \cdot b_{np} = 0,00533 \cdot 0,2 \cdot 10^{-3} + (0,00533 + 0,00652) / 2 \cdot 0 \cdot 10^{-3} = 0,0000011 \text{ м}^2 = 1,1 \text{ мм}^2.$$

4.3.12. Площа поперечного переріза паза для розміщення провідників по (8.48) [1]

$$S'_n = S_n - S_{uz} - S_{np} = 0,0000526 - 0,0000044 - 0,0000011 = 0,0000471 \text{ м}^2 = 47,1 \text{ мм}^2.$$

4.3.13. Коефіцієнт заповнення паза (контроль правильності розміщення обмотки в пазах)

$$k_3 = \frac{d_{uz}^2 u_n}{S'_n} = (0,771 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 55 / 0,0000471 = 0,69,$$

що задовольняє вимозі технологічності виготовлення обмотки, що повинна бути знаходитися в межах  $k_3 = 0,69—0,71$  для двополюсних машин ( $2p = 2$ ) і  $k_3 = 0,72—0,74$  для двигунів з  $2p \geq 4$ .

#### 4.4. Розрахунок ротора

4.4.1. Повітряний зазор (по рис. 8.31 [1]) для зовнішнього діаметра статора  $D_a = 0,168$  м

$$\delta = 0,3 \text{ мм.}$$

4.4.2. Число пазів ротора (по табл. 8.16 [1]), якщо число пазів статора дорівнює  $Z_1 = 36$

$$Z_2 = 26 \text{ .}$$

4.4.3. Зовнішній діаметр ротора

$$D_2 = D - 2\delta = 0,1142 - 2 \cdot 0,3 \cdot 10^{-3} = 0,1136 \text{ м.}$$

					ПД 301.000.000 ПЗ	Арк..
Зм.	Арк..	№ докум.	Підпис	Дата		34

4.4.4. Довжина магнітопроводу  $l_2 = l_1 = l_\delta = 0,11$  м.

4.4.5. Зубцове розподіл ротора

$$t_2 = \pi D_2 / Z_2 = 3,14 \cdot 0,1136 / 26 = 0,0137 \text{ м} = 13,7 \text{ мм.}$$

4.4.6. Внутрішній діаметр ротора дорівнює діаметрові вала, тому що сердечник ротора безпосередньо насаджується на вал, (8.102) [1].

Коефіцієнт  $k_B$  визначимо по табл. 8.17 [1]

$$k_B = 0,23 \quad \text{м.}$$

$$D_J = k_B \cdot D_a = 0,23 \cdot 0,168 = 0,039 \text{ м.}$$

Приймаємо

$$D_J = 0,039 \quad \text{м.}$$

4.4.7. Струм у стрижні ротора .

4.4.7.1. Коефіцієнт, що враховує вплив струму намагнічування на відношення  $I_1/I_2$  ,

$$k_i = 0,2 + 0,8 \cos \varphi = 0,2 + 0,8 \cdot 0,84 = 0,856.$$

4.4.7.2. Коефіцієнт приведення струмів

$$v_i = \frac{2m_1 w_1 k_{об1}}{Z_2 k_{ск}} = 2 \cdot 3 \cdot 330 \cdot 0,95 / 26 \cdot 1 = 72,35.$$

4.4.7.3. Струм у стрижні ротора по (8.57) [1]

$$I_2 = k_i v_i I_{1н} = 0,856 \cdot 72,35 \cdot 4,216 = 279,3 \text{ А.}$$

4.4.7.4. Припустима щільність струму в стрижнях ротора в трифазних закритих двигунах, що обдуваються, при заливанні алюмінієвим сплавом складає  $J_2 = 2,5—3 \text{ А/мм}^2$  , а при захищеному виконанні на 10—15% вище; у мідних стрижнях  $J_2 = 4—8 \text{ А/мм}^2$  . Великі значення відповідають машинам меншої потужності. Приймаємо для алюмінієвої обмотки

$$J_2 = 3 \quad \text{А/мм}^2 .$$

Площа поперечного переріза стрижня по (8.68) [1]

$$q_c = \frac{I_2}{J_2} = 279,3 / 3 \cdot 10^6 = 93,1 \text{ мм}^2$$

					ПД 301.000.000 ПЗ	Арк..
Зм.	Арк..	№ докум.	Підпис	Дата		35

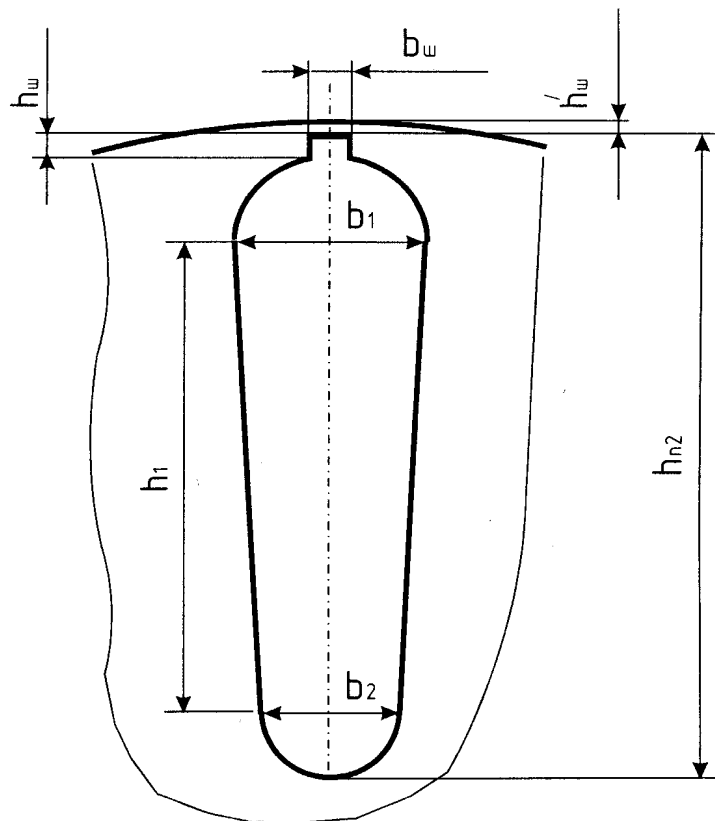


Рис. 4.3. Паз ротора

4.4.8. Паз ротора - по рис. 8.40,б. У двигунах з висотою осі обертання  $h < 160$  мм пази мають вузький проріз з наступними розмірами:  $b_{u2} = 1,0$  мм і  $h_{u2} = 0,5$  мм при висоті осі обертання  $h < 100$  мм;  $b_{u2} = 1,5$  мм і  $h_{u2} = 0,75$  мм при висоті осі обертання  $h = 112—132$  мм; у двигунах з  $h = 160—200$  мм виконують трапецеидальні закриті пази (рис. 4.3) з розмірами шліца  $b_{u2} = 1,5$  мм і  $h_{u2} = 0,7$  мм. Висота перемички над пазом у двигунах з  $2p \geq 4$  виконується рівної  $h'_{u2} = 0,3$  мм, у двухполюсной машині  $h'_{u2} = 1,0—1,5$  мм.

Приймаємо для  $h = 100$  мм (див. рис. 3.3):

$$b_{u2} = 1 \text{ мм.}$$

Висоту шліца приймаємо

$$h_{u2} = 0,5 \text{ мм.}$$

Висота містка для  $h = 100$  мм

Зм.	Арк..	№ докцм.	Підпис	Дата
-----	-------	----------	--------	------



$$h'_{ш2} = 0,3 \text{ мм.}$$

Приймаємо індукцію в зубцях ротора по табл. 8.10 [1]

$$B_{z2} = 1,95 \text{ Тл,}$$

Припустима ширина зубця по (8.75) [1]

$$b_{z2\text{доп}} = B_{\delta} t_{1\delta} / (B_{z2} l_{\text{ст}2} k_c) = 0,830 \cdot 0,0137 \cdot 0,11 / (1,95 \cdot 0,11 \cdot 0,97) = 0,0060 \text{ м} = 6 \text{ мм.}$$

Розміри паза

$$b_1 = (\pi (D_2 - 2h_{ш2} - 2h'_{ш2}) - Z_2 b_{z2}) / (\pi + Z_2) =$$

$$= (3,14 \cdot (0,1136 - 2 \cdot 0,0005 - 2 \cdot 0,0003) - 26 \cdot 0,0060) / (3,14 + 26) = 0,0067 \text{ м} =$$

$$= 6,7 \text{ мм;}$$

по (8.77) [1]

$$b_2 = \sqrt{\frac{b_1^2 \left( \frac{Z_2}{\pi} + \frac{\pi}{2} \right) - 4q_c}{\frac{Z_2}{\pi} - \frac{\pi}{2}}} = \left( (0,0067^2 \cdot (26/3,14 + 3,14/2) -$$

$$- 4 \cdot 0,00009341 \cdot 10^{-6}) / (26/3,14 - 3,14/2) \right)^{1/2} = 0,0032 \text{ м} = 3,2 \text{ мм;}$$

по (8.78) [1]

$$h_1 = (b_1 - b_2) Z_2 / 2\pi = (0,0067 - 0,0032) \cdot 26 / (2 \cdot 3,14) = 0,0145 \text{ м} = 14,5 \text{ мм.}$$

Приймаємо:  $b_1 = 6,7 \text{ мм}$ ;  $b_2 = 3,2 \text{ мм}$ ;  $h_1 = 14,5 \text{ мм}$ .

Повна висота паза

$$h_{п2} = h'_{ш} + h_{ш} + b_{1/2} + h_1 + b_{2/2} = 0,0003 + 0,0005 + 0,0067/2 + 0,0145 + 0,0032/2 =$$

$$0,0203 \text{ м} = 20,3 \text{ мм.}$$

Переріз стрижня по (8.79) [1]

$$q_c = \pi(b_1^2 + b_2^2) / 8 + h_1(b_1 + b_2) / 2 =$$

$$= 3,14 \cdot (0,0067^2 + 0,0032^2) / 8 + 0,0145 \cdot (0,0067 + 0,0032) / 2 = 0,00009341 \text{ м}^2 =$$

$$= 93,41 \text{ мм}^2.$$

4.4.9. Щільність струму в стрижні

$$J_2 = I_2 / q_c = 279,3 / 0,00009341 = 2,99 \cdot 10^6 \text{ А/м}^2.$$

4.4.10. Короткозамикаючі кільця (див. рис. 8.37 [1]).

4.4.10.1. Коефіцієнт співвідношення струму в стрижні і струму в кільці

					ПД 301.000.000 ПЗ	Арк..
Зм.	Арк..	№ докум.	Підпис	Дата		37

$$\Delta = 2\sin(\alpha_z/2) = 2\sin(p\pi/Z_2) = 2\sin(2 \cdot 3,14/26) = 0,48.$$

4.4.10.2. Струм у замикаючих кільцях

$$I_{\text{кл}} = I_2 / \Delta = 279,3 / 0,48 = 582 \text{ А.}$$

4.4.10.3. Щільність струму в замикаючих кільцях

$$J_{\text{кл}} = 0,85 J_2 = 0,85 \cdot 2990043,89 = 2,54 \cdot 10^6 \text{ А/м}^2.$$

4.4.10.4. Площа поперечного переріза кільця по (8.72) [1]

$$q_{\text{кл}} = I_{\text{кл}} / J_{\text{кл}} = 582 / 2541537,31 = 229 \cdot 10^{-6} \text{ (м}^2\text{)} = 229 \text{ мм}^2.$$

4.4.10.5. Розміри замикаючих кілець:

висота кільця

$$h_{\text{кл}} = 1,25 h_{\text{п2}} = 1,25 \cdot 0,0203 = 0,0254 \text{ м} = 25,4 \text{ мм};$$

ширина кільця

$$b_{\text{кл}} = q_{\text{кл}} / h_{\text{кл}} = 229 \cdot 10^{-6} / 0,0254 = 0,0090 \text{ м} = 9 \text{ мм.}$$

4.4.10.6. Площа поперечного переріза замикаючих кілець

$$q_{\text{кл}} = h_{\text{кл}} b_{\text{кл}} = 0,0254 \cdot 0,0090 = 0,000229 \text{ м}^2 = 229,00 \text{ мм}^2.$$

4.4.10.7. Середній діаметр замикаючих кілець

$$D_{\text{к.ср}} = D_2 - h_{\text{кл}} = 0,1136 - 0,0254 = 0,0882 \text{ м} = 88,2 \text{ мм.}$$

#### 4.5. Розрахунок струму, що намагнічує

Магнітопровід зі сталі 2013; товщина 0,5 мм.

4.5.1. Магнітна напруга повітряного зазору.

4.5.1.1. Коефіцієнти визначаються:

для статора

$$\gamma_1 = \frac{\left(\frac{b_{\text{ш1}}}{\delta}\right)^2}{5 + \frac{b_{\text{ш1}}}{\delta}} = (1,8/0,3)^2 / (5 + 1,8/0,3) = 3,27;$$

для ротора з зубчатою поверхнею

$$\gamma_2 = \frac{\left(\frac{b_{\text{ш2}}}{\delta}\right)^2}{5 + \frac{b_{\text{ш2}}}{\delta}} = (1/0,3)^2 / (5 + 1/0,3) = 1,33,$$

					ПД 301.000.000 ПЗ	Арк..
Зм.	Арк..	№ докцм.	Підпис	Дата		38

для гладкої поверхні ротора приймаємо  $\gamma_2 = 0$ .

Приймаємо

$$\gamma_2 = 0,83$$

4.5.1.2. Коефіцієнт повітряного зазору (коефіцієнт Картера) по (4.15) [1]

$$k_{\delta 1} = \frac{t_1}{t_1 - \gamma_1 \delta} = 10 / (10 - 3,27 \cdot 0,3) = 1,11.$$

$$k_{\delta 1} = \frac{t_2}{t_2 - \gamma_2 \delta} = 13,7 / (13,7 - 0,83 \cdot 0,3) = 1,02.$$

$$k_{\delta} = k_{\delta 1} \cdot k_{\delta 2} = 1,11 \cdot 1,02 = 1,13$$

4.5.1.3. Магнітна напруга повітряного зазору по (8.103) [1]

$$F_{\delta} = 1,59 \cdot 10^6 B_{\delta} k_{\delta} \delta F_{\delta} = 1,59 \cdot 10^6 \cdot 0,830 \cdot 1,13 \cdot 0,00030 = 447,38 \text{ А.}$$

4.5.2. Магнітна індукція в зубці статора з грушоподібними або трапецеидальними пазами по (8.105) [1]

$$B_{z1} = \frac{B_{\delta} t_1 l_{\delta}}{b_{z1} l_{cm1} k_c} = 0,830 \cdot 0,0100 \cdot 0,11 / (0,00509 \cdot 0,11 \cdot 0,97) = 1,68 \text{ Тл.}$$

4.5.3. Магнітна індукція в зубці ротора з паралельними гранями по (8.109) [1]

$$B_{z2} = \frac{B_{\delta} t_2 l_{\delta}}{b_{z2} l_{cm2} k_c} = 0,830 \cdot 0,0137 \cdot 0,11 / (0,0060 \cdot 0,11 \cdot 0,97) = 1,95 \text{ Тл.}$$

4.5.4. Магнітна індукція в ярмі статора по (8.117) [1]

$$B_a = \frac{\Phi}{2h_a l_{cm1} k_c} = 0,005214 / (2 \cdot 0,01685 \cdot 0,11 \cdot 0,97) = 1,45 \text{ Тл.}$$

4.5.5. Магнітна індукція в ярмі ротора.

4.5.5.1. Висота ярма ротора:

а) дійсна висота ярма ротора по (8.126) [1]

$$h_j = \frac{D_2 - D_1}{2} - h_{n2} = (0,1136 - 0,039) / 2 - 0,0203 = 0,017 \text{ м} = 17 \text{ мм};$$

б) приймаємо діаметр вентиляційних каналів

$$d_k = 0 \text{ м,}$$

					ПД 301.000.000 ПЗ	Арк..
Зм.	Арк..	№ докум.	Підпис	Дата		39

кількість рядів

$$m_k = 0$$

Розрахункова висота ярма ротора по (8.124) [1] для чотирьохполюсних машин при  $0,75(0,5D_2 - h_{n2}) = 0,75 \cdot (0,5 \cdot 0,1136 - 0,0203) = 0,0274 < 0,039$ , а також для двополюсних машин,

$$h'_j = \frac{2+p}{3,2p} \left( \frac{D_2}{2} - h_{n2} \right) = (2+2)/(3,2 \cdot 2) \cdot (0,1136/2 - 0,0203) = 0,0228 \text{ м};$$

у протилежному випадку,

$$h'_j = \frac{D_2 - D_j}{2} - h_{n2} - \frac{2}{3} d_k m_k = (0,1136 - 0,039)/2 - 0,0203 - 2 \cdot 0 \cdot 0/3 = 0,017 \text{ м}.$$

а також для шестиполусных машин,  $h'_j = h_j$ ; отже, приймаємо

$$h'_j = 0,0269 \text{ м}.$$

4.5.5.2. Індукція в ярмі ротора по (8.122) [1]

$$B_a = \frac{\Phi}{2h_j l_{cm} 2k_c} = 0,005214 / (2 \cdot 0,0269 \cdot 0,11 \cdot 0,97) = 0,91 \text{ Тл}.$$

4.5.6. Напруженість магнітного поля в зубці статора для сталі 2013 по табл. П1.7 [2] для  $B_{z1} = 1,68 \text{ Тл}$

$$H_{z1} = 990 \text{ А/м}.$$

4.5.7. Напруженість магнітного поля в зубці ротора для сталі 2013 по табл. П1.7 [2]  $H_{z2} = 2430 \text{ А/м}$  для  $B_{z2} = 1,95 \text{ Тл}$

$$H_{z2} = 2430 \text{ А/м}.$$

4.5.8. Висота зубця статора

$$h_{z1} = h_{n1} = 0,01005 \text{ м}.$$

4.5.9. Висота зубця ротора

$$h_{z2} = h_{n2} - 0,1b_2 = 0,0203 - 0,1 \cdot 0,0032 = 0,02 \text{ м}.$$

4.5.10. Магнітна напруга зубцової зони статора

$$F_{z1} = 2h_{z1} H_{z1} = 2 \cdot 0,01005 \cdot 990 = 19,9 \text{ А}.$$

4.5.11. Магнітна напруга зубцової зони ротора

					ПД 301.000.000 ПЗ	Арк..
Зм.	Арк..	№ докум.	Підпис	Дата		40

$$F_{z1} = 2h_{z2}H_{z2} = 2 \cdot 0,02 \cdot 2430 = 97,2 \text{ А.}$$

4.5.12. Коефіцієнт насичення зубцової зони

$$k_z = 1 + \frac{F_{z1} + F_{z2}}{F_\delta} = 1 + (19,9 + 97,2) / 447,38 = 1,26.$$

4.5.13. Напруженість магнітного поля в ярмі статора для сталі 2013 по табл. П1.6 [2] для  $B_a = 1,45$

$$H_a = 400 \text{ А/м.}$$

4.5.14. Напруженість магнітного поля в ярмі ротора для сталі 2013 по табл. П1.6 [2] для  $B_j = 0,91 \text{ Тл}$

$$H_j = 158 \text{ А/м.}$$

4.5.15. Довжина середньої магнітної силової лінії в ярмі статора по (8.119) [1]

$$L_a = \frac{\pi(D - h_a)}{2p} = 3,14 \cdot (0,168 - 0,01685) / (2 \cdot 2) = 0,11865 \text{ м.}$$

4.5.16. Довжина середньої магнітної силової лінії в ярмі ротора по (8.127) [1]

$$L_j = \frac{\pi(D_j + h_j)}{2p} = 3,14 \cdot (0,039 + 0,017) / (2 \cdot 2) = 0,044 \text{ м.}$$

4.5.17. Магнітна напруга ярма статора по (8.116) [1]

$$F_a = L_a H_a = 0,11865 \cdot 400 = 47,5 \text{ А.}$$

4.5.18. Магнітна напруга ярма ротора по (8.121) [1]

$$F_j = L_j H_j = 0,044 \cdot 158 = 7,0 \text{ А.}$$

4.5.19. Магнітна напруга на паре полюсів по (8.128) [1]

$$F = F_\delta + F_{z1} + F_{z2} + F_a + F_j = 447,38 + 19,9 + 97,2 + 47,5 + 7,0 = 619,0 \text{ А.}$$

4.5.20. Коефіцієнт насичення магнітного ланцюга по (8.129) [1]

$$k_\mu = \frac{F_y}{F_\delta} = 619,0 / 447,38 = 1,38.$$

4.5.21. Струм, що намагнічує, по (8.130) [1]

					ПД 301.000.000 ПЗ	Арк..
Зм.	Арк..	№ докум.	Підпис	Дата		41

$$I_{\mu} = \frac{pF_{\psi}}{0,9w_1mk_{об1}} = 2 \cdot 619,0 / (0,9 \cdot 330 \cdot 3 \cdot 0,95) = 1,46 \text{ А.}$$

4.5.22. Відносне значення струму, що намагнічує, по (8.130) [1]

$$I_{\mu}^* = \frac{I_{\mu}}{I_{1H}} = 1,46 / 4,216 = 0,32.$$

#### 4.6. Параметри робочого режиму

4.6.1. Активний опір фази обмотки статора

4.6.1.1. Довжина пазової частини котушки дорівнює конструктивній довжині сердечника статора:

$$l_{п1} = l_1 = 0,11 \text{ м.}$$

4.6.1.2. Середня ширина котушки, обумовлена по дузі окружності, що проходить по серединах висоти пазів,

$$b_{кт} = \pi (D + h_{п1}) \beta_{1/2p} = 3,14 \cdot (0,1142 + 0,01005) \cdot 1 / (2 \cdot 2) = 0,09754 \text{ м,}$$

де  $\beta_1$  - укорочення кроку обмотки.

4.6.1.3. Довжина вильоту прямолінійної частини котушки з паза від торця сердечника до початку відгину лобової частини, згідно стор. 334 [1]

$$B = 0,01 \text{ м.}$$

4.6.1.4. Вибираємо по табл. 8.21 [1] коефіцієнт для  $2p = 2$   $K_L = 1,2$ , для  $2p = 4$   $K_L = 1,3$ , отже,

$$K_n = 1,3 \text{ .}$$

4.6.1.5. Довжина лобової частини для котушки всипної обмотки по (8.136) [1]

$$l_{л1} = K_L b_{кт} + 2B = 1,3 \cdot 0,09754 + 2 \cdot 0,01 = 0,147 \text{ м.}$$

4.6.1.6. Вибираємо по табл. 8.21 [1] коефіцієнт  $K_{вил}$  для  $2p = 2$   $K_{вил} = 0,26$ , для  $2p = 4$   $K_{вил} = 0,4$ , отже,

$$K_{вил} = 0,4 \text{ .}$$

4.6.1.7. Довжина вильоту лобової частини котушки по (8.137) [1]

					ПД 301.000.000 ПЗ	Арк..
Зм.	Арк..	№ докум.	Підпис	Дата		42

$$l_{\text{вил}} = K_{\text{вил}} b_{\text{кт}} + B = 0,4 \cdot 0,09754 + 0,01 = 0,04902 \text{ м} = 49,02 \text{ мм.}$$

4.6.1.8. Середня довжина витка обмотки по (8.135) [1]

$$l_{\text{ср1}} = 2(l_{\text{п1}} + l_{\text{л1}}) = 2 \cdot (0,11 + 0,147) = 0,514 \text{ м.}$$

4.6.1.9. Довжина провідників фази обмотки

$$L_1 = l_{\text{ср}} w_1 = 0,514 \cdot 330 = 169,6 \text{ м.}$$

4.6.1.10. Для класу нагrevостойкости ізоляції F розрахункова температура  $\vartheta_{\text{розр}} = 115^\circ\text{C}$ . Для міді питомий опір при розрахунковій температурі

$$\rho_{115} = 10^{-6} / 41 \text{ Ом}\cdot\text{м.}$$

4.6.1.11. Активний опір фази обмотки статора

$$r_1 = \rho_{115} L_1 / (q_{\text{эф}} a) = 10^{-6} \cdot 169,6 / (0,792 \cdot 10^{-6} \cdot 1 \cdot 41) = 5,2 \text{ Ом,}$$

де  $a$  - число паралельних гілок фази обмотки статора.

4.6.1.12. Відносне значення опору фази обмотки статора

$$r_1^* = r_1 \frac{I_{1\text{H}}}{U_{1\text{H}}} = 5,2 \cdot 4,216 / 380 = 0,062 \text{ Ом.}$$

4.6.1.13. Маса трехфазной обмотки статора

$$m_{\text{м1}} = 8900 \cdot 3 L_1 q_{\text{эф1}} = 8900 \cdot 3 \cdot 169,6 \cdot 0,396 \cdot 10^{-6} = 1,793 \text{ кг.}$$

4.6.2. Активний опір фази обмотки ротора.

За фази обмотки ротора, виконаної у виді білячої клітки, приймають один стрижень і дві ділянки короткозамикаючих кілець.

4.6.2.1. Для литої алюмінієвої обмотки ротора питомий опір при розрахунковій температурі  $\vartheta_{\text{розр}} = 115^\circ\text{C}$

$$\rho_{115} = \frac{10^{-6}}{20,5} \text{ Ом}\cdot\text{м.}$$

4.6.2.2. Активний опір стрижня по (8.169) [1]

$$r_c = \rho_{115} \frac{l_2}{q_c} k_r = \frac{10^{-6}}{20,5} \cdot 0,11 / 0,00009341 = 57,44 \cdot 10^{-6} \text{ Ом,}$$

де  $k_r$  - коефіцієнт збільшення активного опору стрижня від дії ефекту ви-

						ПД 301.000.000 ПЗ	Арк..
Зм.	Арк..	№ докум.	Підпис	Дата			43

тиснення струму; при розрахунку робочих режимів у межах зміни ковзаня від холостого ходу до номінального приймають  $k_r=1$ .

4.6.2.2. Активний опір ділянки замикаючого кільця, укладеного між двома сусідніми стрижнями, по (8.170) [1]

$$r_{\text{кЛ}} = \rho_{115} \frac{\pi D_{\text{кЛ.сп}}}{Z_2 q_{\text{кЛ}}} = \frac{10^{-6}}{20.5} \cdot 3,14 \cdot 0,0882 / (26 \cdot 0,000229) = 2,269 \cdot 10^{-6} \text{ Ом.}$$

4.6.2.3. Активний опір фази обмотки ротора по (8.168) [1]

$$r_2 = \left( r_c + \frac{2r_{\text{кЛ}}}{\Delta^2} \right) = 57,44 \cdot 10^{-6} + 2 \cdot 2,269 \cdot 10^{-6} / 0,48^2 = 77,14 \cdot 10^{-6} \text{ Ом.}$$

4.6.2.4. Приводимо  $r_2$  до числа витків обмотки статора згідно (8.173) [1]

$$r_2' = r_2 \frac{4m(\omega k_{об1})^2}{Z_2} = 77,14 \cdot 10^{-6} \cdot 4 \cdot 3 \cdot (330 \cdot 0,95)^2 / 26 = 3,50 \text{ Ом.}$$

4.6.2.5. Відносне значення

$$r_2'^* = r_2' \frac{I_{1H}}{U_{1H}} = 3,50 \cdot 4,216 / 380 = 0,04154 \text{ Ом.}$$

4.6.3. Індуктивний опір фази обмотки статора.

4.6.3.1. Коефіцієнт магнітної провідності пазового розсіювання по табл. 8.24, [1] рис. 8.50,е [1] (див. рис. 4.4) визначається:

$h_1=0$  (провідники закріплені пазовою кришкою);

$$h_2 = h_{нк} - 2b_{уз} = 0,00709 - 2 \cdot 0,15 \cdot 10^{-3} = 6,79 \text{ мм;}$$

$$b_1 = 5,43 \text{ мм;}$$

$$h_k = 0,5(b_1 - b_{у1} \cdot 10^3) = 0,5 \cdot (5,43 - 0,0018 \cdot 10^3) = 1,82 \text{ мм;}$$

$$k'_\beta = 0,25(1 + 3\beta_1) = 0,25(1 + 3 \cdot 1) = 1$$

$$k_\beta = 0,25(1 + 3 \cdot k'_\beta) = 0,25(1 + 3 \cdot 1) = 1;$$

$$l'_\delta = l_\delta = 0,11 \text{ м;}$$

$$\lambda_n = \frac{h_2}{3b_1} k_\beta + \left( \frac{h_1}{b_1} + \frac{3h_k}{b_1 + 2b_{у1}} + \frac{h_{у1}}{b_{у1}} \right) k'_\beta = 0,00679 \cdot 1 / (3 \cdot 0,00543) + (0 /$$

$$0,00543 + 3 \cdot 0,00182 / (0,00543 + 2 \cdot 0,0018) + 0,0005 / 0,0018) \cdot 1 = 3,970.$$

									Арк..
									44
Зм.	Арк..	№ докум.	Підпис	Дата	ПД 301.000.000 ПЗ				



4.6.3.2. Коефіцієнт магнітної провідності лобового розсіювання  $\lambda_{л1}$  визначається по (8.159) [1]:

число пазів на полюс і фазу  $q=3$ , відносне укорочення кроку  $\beta=1$ ;

$$\lambda_{л1} = 0,34 \frac{q}{l'_\delta} (l_\tau - 0,64\beta\tau) = 0,34 \cdot 3 \cdot (0,147 - 0,64 \cdot 1 \cdot 0,090) / 0,11 = 0,829.$$

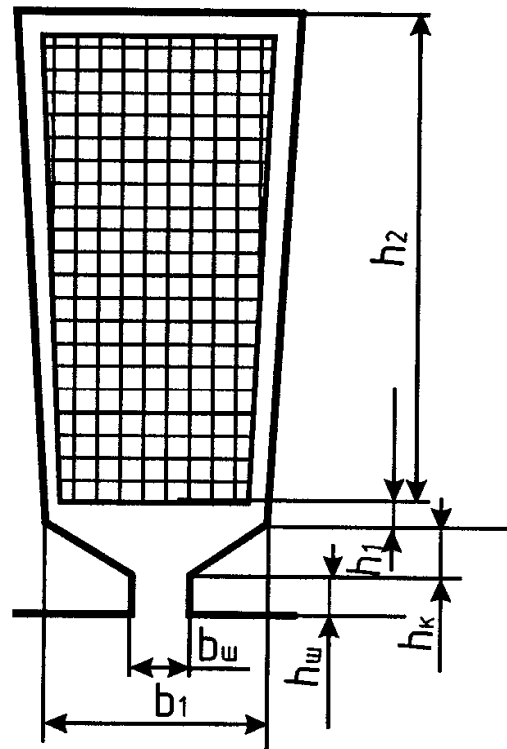


Рис. 4.4. До розрахунку коефіцієнта магнітної провідності пазового розсіювання обмотки статора

4.6.3.3. Коефіцієнт магнітної провідності диференціального розсіювання  $\lambda_{\partial 1}$  визначається по (8.160) [1].

Оскільки скіс пазів відсутній,  $\beta_{ск1}=0$ , по кривих рис.8.51,д [1] у залежності від  $t_2/t_1=0,0137/ 0,0100=1,37$  і  $\beta_{ск}=0$  визначаємо значення

$$k'_{ск} = 1,25 .$$

коефіцієнт по (8.176) [1]

$$\xi = 2k'_{ck} k_{\beta} - k_{\sigma\delta 1}^2 \left( \frac{t_2}{t_1} \right)^2 (1 + \beta_{ck}) = 2 \cdot 1,00 \cdot 1 - 0,95^2 \cdot (0,0137 / 0,0100)^2 \cdot (1+0) = 0,806;$$

$$\lambda_{\delta 1} = \frac{t_1}{12\delta k_{\delta}} \xi = 0,0100 \cdot 0,806 / (12 \cdot 0,0003 \cdot 1,13) = 1,981.$$

4.6.3.4. Індуктивний опір фази обмотки статора по (8.152) [1]

$$x_1 = 15,8 \frac{f_1}{100} \left( \frac{w_1}{100} \right)^2 \frac{l'_{\delta}}{pq} (\lambda_n + \lambda_l + \lambda_{\delta}) = 15,8 \cdot (50/100) \cdot (330/100)^2 \cdot (0,11/(2 \cdot 3)) \cdot (3,970 + 0,829 + 1,981) = 10,69 \text{ Ом.}$$

4.6.4. Відносне значення

$$x_1^* = x_1 \frac{I_{1H}}{U_{1H}} = 10,69 \cdot 4,216 / 380 = 0,127.$$

4.6.4. Індуктивний опір фази обмотки ротора.

4.6.4.1. Коефіцієнт магнітної провідності пазового розсіювання по табл. 8.25 [1], рис. 8.52 а, ж [1] (див. рис.4.5) визначається:

$h_1 = 0,0145 \text{ м}$ ;  $b_1 = 0,0067 \text{ м}$ ;  $b_{uu} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ ,  $h_{III} = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ мм}$ ,  $h'_{III} = 0,0003 \text{ м}$ ,  $q_c = 0,00009341 \text{ м}^2$ ,  $k_d = 1$  (для робочого режиму),

$$\lambda_{n2} = \left[ \frac{h_1 + 0,4b_2}{3b_1} \left( 1 - \frac{\pi b_1^2}{8q_c} \right) + 0,66 - \frac{b_{uu}}{2b} \right] k_{\delta} + \frac{h_{uu}}{b_{uu}} + 1,12 \frac{h'_{uu} \cdot 10^6}{I_2} =$$

$$[ ( ( 0,0145 + 0,4 \cdot 0,0032 ) / ( 3 \cdot 0,0067 ) ) \cdot ( 1 - 3,14 \cdot 0,0067^2 / ( 8 \cdot 0,00009341 ) ) + 0,66 - 1 \cdot 0,001 / ( 2 \cdot 0,0067 ) ] \cdot 1 + 0,51 \cdot 10^{-3} / 110^{-3} + 1,12 \cdot 0,0003 \cdot 10^6 / 279,3 = 2,805.$$

						ПД 301.000.000 ПЗ	Арк..
Зм.	Арк..	№ докум.	Підпис	Дата			46

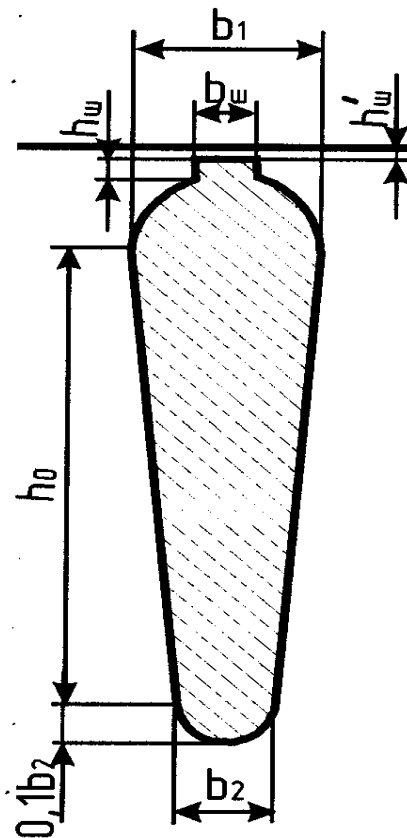


Рис.4.5. До розрахунку коефіцієнта магнітної провідності пазового розсіювання обмотки статора

4.6.4.2. Коефіцієнт магнітної провідності лобового розсіювання  $\lambda_{л2}$  визначається по (8.178) [1]: попередньо обчислимо

$$x = \frac{4,7D_{клсп}}{2b_{кл} + h_{кл}} = 4,7 \cdot 0,0882 / (2 \cdot 0,0090 + 0,0254) = 9,55,$$

обчислимо калькулятором

$$\lg x = \lg(9,55) = 0,969 \quad ,$$

потім

$$\lambda_{л2} = \frac{2,3D_{клсп}}{Z_2 l'_{\delta} \Delta^2} \lg \frac{4,7D_{клсп}}{2b_{кл} + h_{кл}} = 2,3 \cdot 0,0882 / (26 \cdot 0,11 \cdot 0,48^2) \cdot \lg(0,969) = 0,298.$$

4.6.4.3. Коефіцієнт магнітної провідності диференціального розсіювання  $\lambda_{\partial 2}$  визначається по (8.181) [1]:

										Арк..
										47
Зм.	Арк..	№ докум.	Підпис	Дата	ПД 301.000.000 ПЗ					

$$\xi = 1 + \frac{1}{5} \left( \frac{\pi p}{Z_2} \right)^2 - \frac{\Delta Z}{1 - \left( \frac{p}{Z_2} \right)^2} \approx 1,$$

тому що при великому числі пазів ротора, що приходяться на пари полюсів

$$\left( \frac{z_2}{p} \geq 10 \right), \frac{1}{5} \left( \frac{\pi p}{Z_2} \right)^2 \approx 0 \text{ і } \Delta Z \approx 0;$$

$$\lambda_{\partial 2} = \frac{t_2}{12 \delta k_{\delta}} \xi = 0,0137 \cdot 1 / (12 \cdot 0,0003 \cdot 1,13) = 3,368.$$

4.6.4.4. Для зменшення шуму і паразитних моментів у двигунів з короткозамкнутим ротором застосовується скіс пазів на роторі, рівний одному зубцовому розподілові статора

$$b_{ск2} = t_1 = 0,0100 \text{ м,}$$

$b_{ск2}$  - скіс пазів, відлічений по дузі окружності ротора, м.

Скіс пазів у частках зубцового розподілу ротора

$$\beta_{ск} = \frac{t_1}{t_2} = 0,0100 / 0,0137 = 0,730.$$

тоді центральний кут скосу пазів ротора

$$\alpha_{ск} = \frac{2 p b_{ск2}}{(D - 2 \delta)} = 2 \cdot 2 \cdot 0,0100 / (0,1142 - 2 \cdot 0,3 \cdot 10^{-3}) = 0,3521 \text{ рад.}$$

Коефіцієнт скосу паза враховує зменшення е.р.с., наведеної в одній з обмоток головним потоком іншої обмотки, тому він визначається аналогічно обмотувальному коефіцієнтові розподілу обмотки ротора

$$k_{op} = k_{ск}.$$

Коефіцієнт скосу розраховується

$$k_{ск} = \frac{2 \sin \frac{\alpha_{ск}}{2}}{\alpha_{ск}} = 2 \cdot \sin(0,3521/2) / 0,3521 = 1,00,$$

тому що синус малого аргументу (у радіанах) дорівнює малому аргументові.

										Арк..
Зм.	Арк..	№ докum.	Підпис	Дата						48

Обмотувальний коефіцієнт обмотки ротора  $k_{p2} = k_{ск} = 1,00$ . При скошених пазах трохи зростає диференціальне розсіювання, тому що вищі гармоніки поля в цьому випадку менше заглушаються.

Коефіцієнт магнітної провідності скосу, що враховує вплив на ЕРС обмотки ротора скосу пазів

$$\lambda_{ск} = \frac{t_2}{12\delta k_{\delta} k_{\mu}} \beta_{ск}^2 = 0,0137 \cdot 0,730^2 / (12 \cdot 0,0003 \cdot 1,13 \cdot 1,38^2) = 0.$$

Якщо скіс пазів, відсутній  $\lambda_{ск} = 0$ . Приймаємо

$$\lambda_{ск} = 0.$$

4.6.4.5. Індуктивний опір фази обмотки ротора  $x_2$  по (8.177) [1]

$$\sum \lambda_2 = \lambda_{n2} + \lambda_{л2} + \lambda_{\delta 2} + \lambda_{ск} = 2,805 + 0,298 + 3,368 + 0 = 6,471,$$

тоді індуктивний опір фази обмотки ротора

$$x_2 = 7,9 f_1 l'_{\delta} (\lambda_{n2} + \lambda_{л2} + \lambda_{\delta 2} + \lambda_{ск}) \cdot 10^{-6} = 7,9 \cdot 50 \cdot 0,11 \cdot 6,471 \cdot 10^{-6} = 0,00028116 \text{ Ом.}$$

4.6.5. Приводимо  $x_2$  до числа витків статора по (8.172) [1] і (8.183) [1]

$$x'_2 = x_2 \frac{4m(\omega_1 k_{об1})^2}{Z_2} = 0,00028116 \cdot 4 \cdot 3 \cdot (330 \cdot 0,95)^2 / 26 = 12,754 \text{ Ом.}$$

Відносне значення

$$x'_2 * = x'_2 \frac{I_{1H}}{U_{1H}} = 12,754 \cdot 4,216 / 380 = 0,151.$$

## 4.7. Втрати в сталі

4.7.1. Втрати в сталі основні

4.7.1.1. Для сталі 2103 питомі втрати (табл.8.26 [1]) при індукції 1 Тл і частоті перемагнічування 50 Гц  $p_{1,0/5,0} = 2,5$  Вт/кг.

4.7.1.2. Коефіцієнт  $\beta$  – показник ступеня, що враховує залежність втрат у сталі від частоти перемагнічування; для більшості сталей  $\beta = 1,3—1,5$ , приймаємо  $\beta = 1,4$  (стор. 348) [1].

					ПД 301.000.000 ПЗ	Арк..
Зм.	Арк..	№ докум.	Підпис	Дата		49

4.7.1.3. Коефіцієнти  $k_{да}$  і  $k_{дз}$  враховують вплив на втрати в сталі нерівномірності розподілу магнітного потоку по перетинах ділянок магнітопровода і технологічних факторів, для машин потужністю менш 250 кВт  $k_{да}=1,6$ ,  $k_{дз}=1,8$  (стор. 348) [1].

4.7.1.4. Питома маса стали  $\gamma_c=7800$  кг/м<sup>3</sup>.

4.7.1.5. Висота ярма статора по (8.188) [1]

$$h_a = 0,5(D_a - D) - h_{n1} = 0,5 \cdot (0,168 - 0,1142) - 0,01005 = 0,01685 \text{ м.}$$

4.7.1.6. Маса стали ярма статора по (8.188) [1]

$$m_a = \pi(D_a - h_a)h_a l_{cm} k_c \gamma_c =$$

$$= 3,14 \cdot (0,168 - 0,01685) \cdot 0,01685 \cdot 0,11 \cdot 0,97 \cdot 7800 = 6,656 \text{ кг;}$$

4.7.1.7. Маса стали зубців статора по (8.189) [1]

$$m_{z1} = h_{z1} b_{z1cp} Z_1 l_{cm1} k_c \gamma_c = 0,00709 \cdot 0,00509 \cdot 36 \cdot 0,11 \cdot 0,97 \cdot 7800 = 1,081 \text{ кг.}$$

4.7.1.7. Втрати в сталі основні по (8.187) [1]

$$P_{ст.осн} = P_{1.0/5.0} \left( \frac{f_1}{50} \right)^\beta \left( k_{да} B_a^2 m_a + k_{дз} B_{zcc}^2 m_{z1} \right) =$$

$$= 2,5 \cdot (50/50) 1,4 \cdot (1,6 \cdot 1,45^2 \cdot 6,656 + 1,8 \cdot 1,68^2 \cdot 1,081) = 69,71 \text{ Вт.}$$

4.7.2. Поверхневі втрати в сталі ротора від зубців статора (втрати в поверхневому шарі ротора від пульсацій магнітної індукції в повітряному зазорі)

4.7.2.1. Визначимо по рис. 8.53 [1] для

$$\frac{b_{ш}}{\delta} = 0,0018 / 0,0003 = 6,00$$

$$\beta_{02} = 0,3 \quad .$$

4.7.2.2. Амплітуда пульсації індукції в повітряному зазорі над коронками зубців ротора по (8.190) [1]

$$B_{02} = \beta_{02} k_\delta B_\delta = 0,3 \cdot 1,13 \cdot 0,830 = 0,281 \text{ Тл.}$$

					ПД 301.000.000 ПЗ	Арк..
Зм.	Арк..	№ докum.	Підпис	Дата		50

4.7.2.3. Коефіцієнт  $k_{02}$ , що враховує вплив обробки поверхні голівок зубців статора на питомі втрати в роторі; якщо поверхня не обробляється (двигуни потужністю до 160 кВт)  $k_{02}=1,4—1,8$ , приймаємо  $k_{02}=1,4$ .

4.7.2.4. Питомі поверхневі втрати в сталі ротора, що приходять на  $1\text{ м}^2$  поверхні голівок зубців ротора, по (8.192) [1]

$$P_{нов2} = 0,5k_{02} \left( \frac{Z_1 n_1}{10000} \right)^{1,5} \left( B_{02} t_1 \cdot 10^3 \right)^2 = 0,5 \cdot 1,4 \cdot (36 \cdot 1500 / 10000)^{1,5} \cdot (0,281 \cdot 0,0100 \cdot 1000)^2 = 69,359 \text{ Вт/м}^2.$$

4.7.2.5. Повні поверхневі втрати в сталі ротора по (8.194) [1]

$$P_{нов2} = p_{нов2} (t_2 - b_{и2}) Z_2 l_{cm2} = 69,359 \cdot (0,0137 - 1 \cdot 10^{-3}) \cdot 26 \cdot 0,11 = 2,519 \text{ Вт.}$$

4.7.3. Пульсаційні втрати в зубцях ротора (втрати від пульсацій індукції в зубцях).

4.7.3.1. Амплітуда пульсацій індукції в середньому перерізі зубців  $B_{нул2}$ :  $\gamma_1 = 3,27$  по п. 4.5.1.1 розрахунку;

$$B_{нул2} = \frac{\gamma_1 \delta}{2t_2} B_{z2cp} = 3,27 \cdot 0,000 \cdot 1,95 / (2 \cdot 0,0137) = 0,070 \text{ Тл,}$$

де  $B_{z2cp}$  - по п. 3.5.3 розрахунки.

4.7.3.2. Маса стали зубців ротора по (8.201) [1]

$$m_{z2} = Z_2 h_{z2} b_{z2cp} l_{ст2} k_c \gamma_c = 26 \cdot 0,02 \cdot 0,0060 \cdot 0,11 \cdot 0,97 \cdot 7800 = 2,597 \text{ кг.}$$

4.7.3.3. Пульсационные втрати в зубцях ротора по (8.200) [1]

$$P_{нул2} = 0,11 \left( \frac{Z_1 n}{1000} B_{нул2} \right)^2 m_{z2} = 0,11 \cdot (36 \cdot 1500 \cdot 0,070 / 1000)^2 \cdot 2,597 = 4,082 \text{ Вт.}$$

4.7.4. Сума додаткових втрат у сталі

$$P_{ст.доб} = P_{нов2} + P_{нул2} = 2,519 + 4,082 = 6,601 \text{ Вт.}$$

4.7.5. Повні втрати в сталі

$$P_{ст} = P_{ст.осн} + P_{ст.доб} = 69,71 + 6,601 = 76,3 \text{ Вт.}$$

4.7.6. Механічні втрати по (8.200) [1]:

для двигунів  $2p=4$  коефіцієнт  $K_T = 1$ , отже,

					ПД 301.000.000 ПЗ	Арк..
Зм.	Арк..	№ докum.	Підпис	Дата		51

$$P_{\text{мех}} = K_T \left( \frac{n}{10} \right)^2 D_a^4 = 1 \cdot (1500/10)^2 \cdot 0,168^4 = 17,923 \text{ Вт.}$$

4.7.7. Холостий хід двигуна.

4.7.7.1. Електричні втрати в статорі при холостому ході по (8.219) [1]

$$P_{\text{элхх}} = m I_{\mu}^2 r_1 = 3 \cdot 1,46^2 \cdot 5,2 = 33,25 \text{ Вт.}$$

4.7.7.2. Активна складового струму холостого ходу по (8.218) [1]

$$I_{\text{хха}} = \frac{P_{\text{ст}} + P_{\text{мех}} + P_{\text{элхх}}}{m \cdot U_{1н}} = (76,3 + 17,923 + 33,25) / (3 \cdot 380) = 0,112 \text{ А.}$$

4.7.7.3. Струм холостого ходу по (8.217) [1]

$$I_{\text{хх}} = \sqrt{I_{\text{хха}}^2 + I_{\mu}^2} = (0,112^2 + 1,46^2)^{1/2} = 1,46 \text{ А.}$$

## 4.8. Розрахунок робочих характеристик

4.8.1. Методи розрахунку характеристик базуються на системі рівнянь струмів і напруг асинхронної машини, якої відповідає Г-образна схема заміщення (рис. 4.6). Активні й індуктивні опори схеми заміщення є параметрами машини [3, 4].

4.8.1.1. Активний опір взаємної індукції обмоток статора і ротора по (8.184)

$$r_{12} \approx \frac{P_{\text{ст.осн}}}{m I_{\mu}^2} = 69,71 / (3 \cdot 1,46^2) = 10,9 \text{ Ом.}$$

4.8.1.2. Індуктивний опір взаємної індукції обмоток статора і ротора по (8.185)

$$x_{12} \cong \frac{U_{1н}}{I_{\mu}} - x_1 = (380 / 1,46) - 10,69 = 249,6 \text{ Ом;}$$

4.8.1.3. Коефіцієнт  $c_1$  по (8.223)

$$c_1 = 1 + \frac{x_1}{x_{12}} = 1 + 10,69 / 249,6 = 1,043.$$

					ПД 301.000.000 ПЗ	Арк..
Зм.	Арк..	№ докum.	Підпис	Дата		52



4.8.1.4. Активна складового струму синхронного холостого ходу

$$I_{0a} = \frac{P_{ст.осн} + 3I_{\mu}^2 r_1}{3U_{1н}} = (69,71 + 3 \cdot 1,46^2 \cdot 5,2) / (3 \cdot 380) = 0,090 \text{ А.}$$

4.8.1.5. Коефіцієнти:

$$a' = c_1^2 = 1,043^2 = 1,088;$$

$$b = 0;$$

$$a = c_1 r_1 = 1,043 \cdot 5,2 = 5,424;$$

$$b = c_1 (x_1 + c_1 x_2') = 1,043 \cdot (10,69 + 1,043 \cdot 12,754) = 25,024.$$

4.8.1.6. Утрати, що не міняються при зміні ковзання,

$$P_{ст} + P_{мех} = 76,3 + 17,923 = 94,223 \text{ Вт} = 0,094 \text{ кВт.}$$

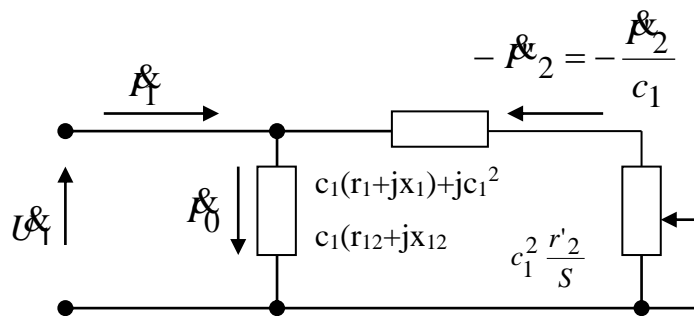


Рис. 4.6. Г-образна схема заміщення приведеної асинхронної машини

4.8.2. Застосовуємо аналітичний метод розрахунку робочих характеристик (формули для розрахунку приведені в табл. 4.2). Розрахунок характеристик проводимо, задаючи значеннями ковзання  $S = (0,2 \div 1,5) S_n$ . Номінальне ковзання попереднє приймаємо  $S_n \approx r_2^* = 0,04154$ . Для побудови характеристик досить розрахувати значення необхідних величин для п'яти-шести різних ковзання, обраних у зазначеному діапазоні приблизно через рівні інтервали. Результати розрахунку приведені в табл. 4.2. Робочі характеристики побудовані на кресленні Р1 та на рис. 4.7.

## Робочі характеристики асинхронного двигуна

№ п/п	Розрахункова формула	Ед.	Ковзання ротора					
			0,01	0,02	0,04	0,05	0,03859	0,075
1	$a'r_2' / s$	Ом	380,8000	190,4000	95,2000	76,1600	98,6784	50,7733
2	$b'r_2' / s$	Ом	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
3	$R = a + a'r_2' / s$	Ом	386,224	195,824	100,62	81,58	104,102	56,197
4	$X = b + b'r_2' / s$	Ом	25,02	25,02	25,02	25,02	25,02	25,02
5	$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$	Ом	387,03	197,42	103,68	85,33	107,07	61,52
6	$I''_2 = U_1' / Z$	А	0,982	1,925	3,665	4,453	3,549	6,177
7	$\cos \varphi_2' = R / Z$	—	0,998	0,992	0,970	0,956	0,972	0,913
8	$\sin \varphi_2' = X / Z$	—	0,065	0,127	0,241	0,293	0,234	0,407
9	$I_{1a} = I_{0a} + I''_2 \cos \varphi_2'$	А	1,070	2,000	3,645	4,347	3,540	5,730
10	$I_{1p} = I_{0p} + I''_2 \sin \varphi_2'$	А	1,5238	1,7045	2,3433	2,7647	2,2905	3,9740
11	$I_1 = \sqrt{I_{1a}^2 + I_{1p}^2}$	А	1,8620	2,6278	4,3333	5,1517	4,216	6,9732
12	$I_2' = c_1 I''_2$	А	1,0242	2,0078	3,8226	4,6445	3,7016	6,4426
13	$P_1 = 3U_1' I_{1a} \cdot 10^{-3}$	кВт	1,2198	2,2800	4,1553	4,9556	4,0356	6,5322
14	$P_{\vartheta 1} = 3I_1^2 r_1 \cdot 10^{-3}$	кВт	0,0541	0,1077	0,2929	0,4140	0,2773	0,7586
15	$P_{\vartheta 2} = 3I_2'^2 r_2' \cdot 10^{-3}$	кВт	0,011	0,0423	0,1534	0,2265	0,1439	0,4358
16	$P_{\text{добр}} = 0,005 \cdot P_1$	кВт	0,0061	0,0114	0,0208	0,0248	0,0202	0,0327
17	$\sum P = P_{cm} + P_{mex} + P_{\vartheta 1} + P_{\vartheta 2} + P_{\text{добр}}$	кВт	0,1652	0,2554	0,5611	0,7593	0,5354	1,3211
18	$P_2 = P_1 - \sum P$	кВт	1,055	2,025	3,594	4,196	3,500	5,211
19	$P_2 / P_{2H}$	О.е.	0,301	0,579	1,027	1,199	1,000	1,489
20	$I_1 / I_{1H}$		0,442	0,623	1,028	1,222	1,000	1,654
21	$\eta = 1 - \sum P / P_1$	—	0,865	0,888	0,865	0,847	0,867	0,798
22	$\cos \varphi = I_{1a} / I_1$	—	0,575	0,761	0,841	0,844	0,840	0,822
23	$10s$		0,1	0,2	0,4	0,5	0,3859	0,75

**Номинальні дані спроектованого двигуна** визначаються по побудованим робочим характеристикам:

$P_{2H}=3,5\text{кВт}$ ;  $U_{1нф}=380\text{В}$ ;  $I_{1H}=4,216\text{А}$ ;  $\cos\varphi = 0,84$ ;  $\eta = 0,867$ ;  $s_H = 0,03859$ .

Номинальна частота обертання вала

$$n_H = n_1 \cdot (1 - S_H) = 1500 \cdot (1 - 0,03859) = 1442 \text{ об/хв};$$

Номинальний момент на валу двигуна

$$M_H = 9575 \frac{P_{2H}}{n_H} = 9575 \cdot 3,5 / 1442 = 23,24 \text{ Нм.}$$

					ПД 301.000.000 ПЗ	Арк..
Зм.	Арк..	№ докum.	Підпис	Дата		55

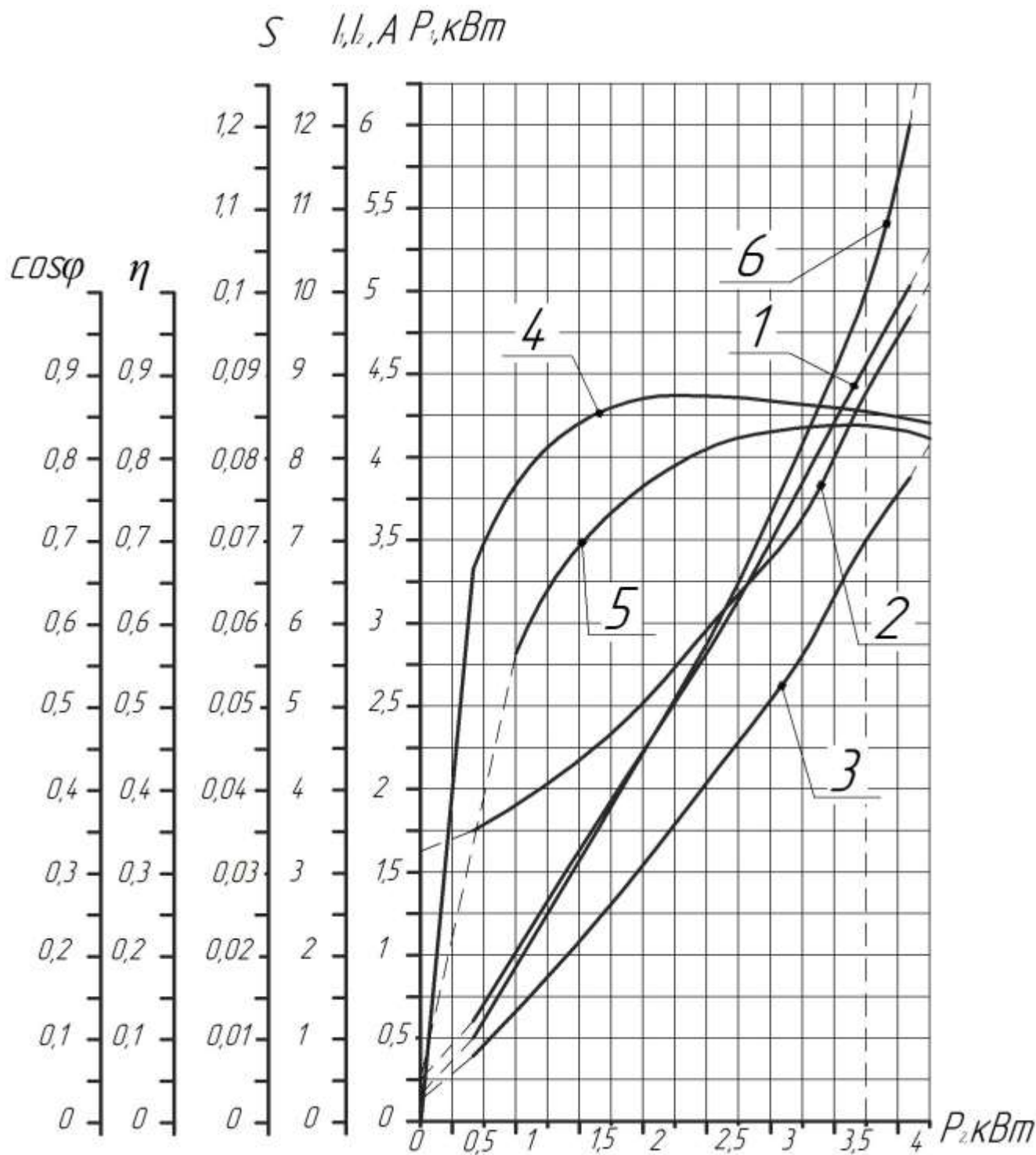


Рис. 4.7. Робочі характеристики АД:

1-графік функції  $P_1 = f(P_2)$ ; 2- графік функції  $I_1 = f(P_2)$ ;

3- графік функції  $I_2 = f(P_2)$ ; 4- графік функції  $\eta = f(P_2)$ ;

5- графік функції  $\cos\varphi = f(P_2)$ ; 6- графік функції  $S = f(P_2)$

Зм.	Арк..	№ докум.	Підпис	Дата
-----	-------	----------	--------	------

## 4.9. Розрахунок пускових характеристик

Розрахунок пускових характеристик зроблений з урахуванням зміни параметрів, викликаних ефектом витиснення струму і насиченням від полів розсіювання, тому що при великих ковзаннях ротора струми в обмотках статора і ротора можуть перевищувати своє номінальне значення в 7—7,5 рази [4-6]. Докладний розрахунок приведений для ковзання ротора  $s=1$ . Розрахунок пускових характеристик з урахуванням впливу ефекту витиснення струму приведений у табл. 4.3. Розрахунок пускових характеристик з урахуванням впливу витиснення струму в роторі і насичення від полів розсіювання приведений у табл. 4.4.

Пускові характеристики спроектованого двигуна з урахуванням впливу витиснення струму в роторі і насичення від полів розсіювання представлені на рис. 4.7.

*Розрахунок пускових характеристик з урахуванням зміни параметрів, викликаних ефектом витиснення струму ( без урахування впливу насичення від полів розсіювання )*

4.9.1. Активний опір обмотки ротора з урахуванням впливу ефекту витиснення струму ( $b_c/b_n=1$ ,  $\vartheta_{розр}=115^\circ\text{C}$ ).

4.9.1.1. Висота стрижня в пазу згідно рис. 4.3

$$h_c = h_n - (h_{ш} + h'_{ш}) = 0,0203 - (0,5 + 0,3) \cdot 10^{-3} = 0,0195 \text{ м.}$$

4.9.1.2. «Приведена висота» стрижня (8.241) [1]

$$\xi = 2\pi h_c \sqrt{\frac{b_c}{b_n} \frac{f_2}{\rho_v} \cdot 10^{-7}} = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,0195 \cdot (50 \cdot 10^{-7} / 0,00000004878)^{0,5} = 1,24,$$

де  $b_c$  і  $b_n$  - ширина стрижня і ширина паза, м; у роторах з литий обмоткою  $b_c = b_n$  ;

$f_2$  - частота струму в розрахунковому режимі , Гц;

$\rho_v$  - питомий опір матеріалу стрижня при розрахунковій температурі

$$\vartheta_{розр} = 115^\circ\text{C};$$

для литої алюмінієвої обмотки маємо

					ПД 301.000.000 ПЗ	Арк..
Зм.	Арк..	№ докцм.	Підпис	Дата		57

$$\xi=63,6 h_c \sqrt{s}=63,6 \cdot 0,0195 \cdot \sqrt{1}=1,24$$

отже,  $\xi=1,24 \sqrt{s}$ ; для  $s=1$   $\xi=1,24$ .

4.9.1.3. По рис. 8.57 [1] для  $\xi=1,24$   
 $\varphi=0,2$ ,

4.9.1.4. Глибина проникнення струму по (8.246) [1]

$$h_r = \frac{h_c}{1+\varphi} = 0,0195 / (1+0,2) = 0,0163 \text{ м.}$$

4.9.1.5. При  $\frac{b_1}{2} \leq h_r \leq h_1 + \frac{b_1}{2}$   $0,0067/2 \leq 0,0163 \leq 0,0145 + 0,0067/2$   
 $0,0034 \leq 0,0163 \leq 0,0179$ ,

(см. рис. 4.3) визначаємо по (8.253) [1]

$$b_r = b_1 - \frac{b_1 - b_2}{h_1} \left( h_r - \frac{b_1}{2} \right) = 0,0067 - (0,0067 - 0,0032) \cdot (0,0163 - 0,0067/2) /$$

$$0,0145 = 0,00357 \text{ м.}$$

4.9.1.6. Площа перерізу, обмеженого висотою  $h_r$ ,

$$q_r = \frac{\pi b_1^2}{8} + \frac{b_1 + b_r}{2} \left( h_r - \frac{b_1}{2} \right) = 3,14 \cdot 0,0067^2 / 8 + (0,0067 + 0,00357) \cdot (0,0163 -$$

$$0,0067/2) / 2 = 0,0000841 \text{ м}^2.$$

4.9.1.7. При  $h_r > h_1 + \frac{b_1}{2}$  приймають  $q_r = q_s$ .

по (8.247) [1] коефіцієнт

$$k_r = q_c / q_r = 0,00009341 / 0,0000841 = 1,11,$$

де  $q_c$  по п.4.8 розрахунку.

4.9.1.8. Коефіцієнт загального збільшення активного опору фази обмотки ротора під впливом ефекту витиснення струму

$$K_R = 1 + (r'_c / r_2) (k_r - 1) = 1 + (0,00005744 / 0,00007714) \cdot (1,11 - 1) = 1,08,$$

де  $r'_c = r_c = 0,00005744 \text{ Ом.}$

4.9.1.9. Приведений активний опір ротора з урахуванням впливу ефекту витиснення струму

					ПД 301.000.000 ПЗ	Арк..
Зм.	Арк..	№ докум.	Підпис	Дата		58

$$r'_{2\xi} = K_r r'_2 = 1,08 \cdot 3,50 = 3,780 \text{ Ом.}$$

4.9.2. Індуктивний опір обмотки ротора з урахуванням впливу ефекту витиснення струму для  $s = 1$ .

4.9.2.1. По рис. 8.58 [1] для  $\xi = 1,24$  знаходимо

$$\varphi' = k_\partial = 0,92,$$

4.9.2.2. Коефіцієнти

$$\lambda'_{n2} = \frac{h_1 + 0,4b_2}{3b_1} \left( 1 - \frac{\pi b_1^2}{8q_c} \right) + 0,66 - \frac{b_{ш}}{2b} = ((0,0145 + 0,4 \cdot 0,0032) / (3 \cdot 0,0067)) \cdot (1 - 3,14 \cdot 0,0067^2 / (8 \cdot 0,00009341))^2 + 0,66 - 1 \cdot 0,001 / (2 \cdot 0,0067) = 1,102$$

$$\Delta \lambda_{n2\xi} = \lambda'_{n2} (1 - k_\partial) = 1,102(1 - 0,92) = 0,088.$$

4.9.2.3. Коефіцієнт магнітної провідності пазового розсіювання з обліком ефекту витиснення струму

$$\lambda_{n2\xi} = \lambda_{n2} - \Delta \lambda_{n2\xi} = 2,805 - 0,088 = 2,717.$$

4.9.2.4. Коефіцієнт зменшення індуктивного опору фази обмотки ротора від дії ефекту витиснення струму

$$K_x = \frac{\lambda_{п2\xi} + \lambda_{л2} + \lambda_{д2}}{\lambda_{п2} + \lambda_{л2} + \lambda_{д2}} = (2,717 + 0,298 + 3,368) / (2,805 + 0,298 + 3,368) = 0,986.$$

4.9.2.5. Приведений індуктивний опір фази обмотки ротора з урахуванням ефекту витиснення струму

$$x'_{2\xi} = K_x x'_2 = 0,986 \cdot 12,754 = 12,575 \text{ Ом.}$$

4.9.3. Пускові параметри по (8.277) і (8.278) [1]

$$x_{12п} = k_\mu x_{12} = 1,38 \cdot 249,6 = 344,4 \text{ Ом;}$$

$$c_{1п} = 1 + x_1 / x_{12п} = 1 + 10,69 / 344,4 = 1,031.$$

4.9.4. Розрахунок струмів з урахуванням ефекту витиснення струму.

4.9.4.1. Активний і індуктивний опори по (8.280) [1] для  $s = 1$ :

$$R_n = r_1 + c_{1п} \frac{r'_{2\xi}}{s} = 5,2 + 1,031 \cdot 3,780 = 9,097 \text{ Ом.}$$

						ПД 301.000.000 ПЗ	Арк..
Зм.	Арк..	№ докум.	Підпис	Дата			59

$$X_n = x_1 + c_{1n} x'_{2\xi} = 10,69 + 1,031 \cdot 12,575 = 23,655 \text{ Ом.}$$

4.9.4.2. Приведений струм ротора по (8.281) [1]

$$I'_2 = \frac{U_1}{\sqrt{R_n^2 + X_n^2}} = 380 / (9,097^2 + 23,655^2)^{1/2} = 14,99 \text{ А}$$

4.9.4.3. Струм статора по (8.283) [1]

$$I_{1n} = I'_2 \frac{\sqrt{R_n^2 + (X_n + x_{12n})^2}}{c_{1n} x_{12n}} =$$

$$14,99(9,097^2 + (23,655 + 344,4)^2)^{1/2} / (1,031 \cdot 344,4) = 15,543 \text{ А.}$$

4.9.4.4. Кратність пускового струму

$$I_{1n}^* = \frac{I_{1n}}{I_{1H}} = 15,543 / 4,216 = 3,69 .$$

4.9.4.5. Кратність пускового моменту

$$M^* = \left( \frac{I'_2}{I'_{2'}} \right)^2 K_R \frac{s_H}{s} = (14,99 / 3,7016)^2 \cdot 1,08 \cdot 0,03859 / 1 = 0,68.$$

*Розрахунок пускових характеристик з урахуванням впливу витиснення струмові і насичення від полів розсіювання*

Оскільки  $I_{1\text{паза}} = I_{1\text{max}} \cdot u_{\text{п}} / a = 15,5 \cdot 55 / 1 = 852,50 > 400 \text{ А}$ , необхідно врахувати вплив насичення від полів розсіювання на пускові характеристики.

Розрахунок проведено для точок характеристик, що відповідають  $s=1; 0,8; 0,5; 0,2; 0,1$ , при цьому використовуємо значення струмів і опорів для тих же ковзань з урахуванням впливу струму (див. табл. 4.3).

Дані розрахунку приведені в табл. 4.4. Докладний розрахунок приведено для  $s=1$ .

4.9.5. Індуктивні опори обмоток.

Приймаємо

$$k_{\text{НАС}} = 1,15 .$$

4.9.5.1. Середня магніторушійна сила (МРС) обмотки, віднесена до одного паза обмотки статора по (8.263) [1]

					ПД 301.000.000 ПЗ	Арк..
Зм.	Арк..	№ докум.	Підпис	Дата		60



$$F_{n.c.p} = 0,7 \frac{I_{1n} k_{нас} u_{n1}}{a} (k'_{\beta} + k_{y1} k_{об1} \frac{Z_1}{Z_2}) = 0,7 \cdot 15,543 \cdot 1,15 \cdot 55 / 1 \cdot$$

$$(1 + 1 \cdot 0,95 \cdot 36 / 26) = 1593 \text{ А.}$$

4.9.5.2. По (8.265) [1] визначаємо коефіцієнт

$$C_N = 0,64 + 2,5 \sqrt{\frac{\delta}{t_{Z_1} + t_{Z_2}}} = 0,64 + 2,5 \cdot (0,3 / (10 + 13,7))^{0,5} = 0,921.$$

4.9.5.2. Фіктивна індукція потоків розсіювання в повітряному зазорі по (8.264)

$$B_{\phi\delta} = \frac{F_{ncp} \cdot 10^{-6}}{1,6 \cdot \delta \cdot C_N} = 1593 \cdot 10^{-6} / (1,6 \cdot 0,3 \cdot 10^{-3} \cdot 0,921) = 3,60 \text{ Тл.}$$

4.9.5.3. За значенням  $B_{\phi\delta}$  по рис. 8.61 для  $B_{\phi\delta} = 3,60$  Тл знаходимо відношення потоків розсіювання при насиченні до потоків розсіювання ненасиченої машини

$$\chi_{\delta} = 0,77 \text{ .}$$

4.9.5.4. Значення додаткового еквівалентного розкриття пазів статора, магнітні напруги яких еквівалентні МРС насичених вусиків зубців по (8.266) [1]

$$c_{e1} = (t_1 - b_{u1})(1 - \chi_{\delta}) = (0,0100 - 0,0018)(1 - 0,77) = 0,0019 \text{ м.}$$

4.9.5.5. Зменшення коефіцієнта магнітної провідності розсіювання напівзакритого паза, викликане насиченням від полів розсіювання по (8.269) [1]

$$\Delta\lambda_{n1нас} = \frac{h_{u1} + 0,58(b_1 - b_{u1})/2}{b_{u1}} \frac{c_{e1}}{c_{e1} + 1,5b_{u1}} = (0,0005 + 0,58 \cdot (0,00543 - 0,0018)/2) \cdot 0,0019 / (0,0018 \cdot (0,0019 + 1,5 \cdot 0,0018)) = 0,36.$$

4.9.5.6. Коефіцієнт магнітної провідності пазового розсіювання обмотки статора з урахуванням впливу насичення по (8.272) [1]

$$\lambda_{n1нас} = \lambda_{n1} - \Delta\lambda_{n1нас} = 3,970 - 0,36 = 3,61.$$

4.9.5.7. Коефіцієнт магнітної провідності диференціального розсіювання обмотки статора з урахуванням впливу насичення по (8.274) [1]

$$\lambda_{\partial 1нас} = \chi_{\delta} \lambda_{\partial 1} = 0,77 \cdot 1,981 = 1,525.$$

					ПД 301.000.000 ПЗ	Арк..
Зм.	Арк..	№ докум.	Підпис	Дата		61

4.9.5.8. Індуктивний опір фази обмотки статора з урахуванням впливу насичення по (8.275) [1]

$$X_{1нас} = x_1 \frac{\sum \lambda_{1нас}}{\sum \lambda_1} =$$

$$= 10,69 \cdot (3,61 + 0,829 + 1,525) / (3,970 + 0,829 + 1,981) = 9,403 \text{ Ом.}$$

4.9.5.9. Значення додаткового еквівалентного розкриття пазів ротора, магнітні напруги яких еквівалентні МРС насичених вусиків зубців по (8.270) [1]

$$c_{e2} = (t_2 - b_{u2})(1 - \chi_\delta) = (0,0137 - 1 \cdot 10^{-3})(1 - 0,77) = 0,0029 \text{ м.}$$

4.9.5.10. Зменшення коефіцієнта магнітної провідності розсіювання закритого паза ротора, викликане насиченням від полів розсіювання по (8.271) [1]

$$\Delta \lambda_{n2нас} = \frac{(h'_{u1} + h_{u1}) \cdot c_{\text{Э}2}}{b_{u2}(c_{e2} + b_{u2})} = (0,3 + 0,5) \cdot 0,0029 \cdot 1000 / (1 \cdot (0,0029 \cdot 1000 + 1)) = 0,5959.$$

4.9.5.11. Коефіцієнт магнітної провідності диференціального розсіювання обмотки ротора з урахуванням впливу насичення по (8.273) [1]

$$\lambda_{n2нас} = \lambda_{n2} - \Delta \lambda_{n2нас} = 2,717 - 0,595 = 2,122.$$

4.9.5.12. Коефіцієнт магнітної провідності диференціального розсіювання обмотки статора з урахуванням впливу насичення по (8.274) [1]

$$\lambda_{\partial 2нас} = \chi_\delta \lambda_{\partial 2} = 0,77 \cdot 3,368 = 2,593.$$

4.9.5.13. Індуктивний опір фази обмотки ротора з урахуванням впливу насичення по (8.276) [1]

$$X_{2\zeta нас} = x_2 \frac{\sum \lambda_{2\zeta нас}}{\sum \lambda_2} = 12,754 \cdot (2,122 + 2,593 + 0,298) / (2,805 + 3,368 + 0,298) =$$

9,880 Ом.

4.9.5.14. Коефіцієнт по (8.278) [1]

$$c_{1нас} = 1 + \frac{x_{1нас}}{x_{12n}} = 1 + 9,403 / 344,4 = 1,027$$

4.9.6. Розрахунок струмів і моментів.

4.9.6.1. Активна й індуктивна складові комплексного опору правої галузі схеми заміщення (див. рис. 4.6) по (8.280) [1] для  $s = 1$ :

					ПД 301.000.000 ПЗ	Арк..
Зм.	Арк..	№ докum.	Підпис	Дата		62

$$R_n = r_1 + c_{1n} \frac{r'_2 \xi}{S} = 5,2 + 1,027 \cdot 3,780 = 9,082 \text{ Ом},$$

$$X_n = x_1 + c_{1n} x'_2 \xi = 9,403 + 1,027 \cdot 9,880 = 19,55 \text{ Ом}.$$

4.9.6.2. Приведень струм в обмотці ротора по (8.281) [1]

$$I'_2 = \frac{U_1}{\sqrt{R_n^2 + X_n^2}} = 380 / (9,082^2 + 19,55^2)^{1/2} = 17,6 \text{ А}.$$

4.9.6.3. Струм обмотки статора по (8.283)

$$I_{1n} = I'_2 \frac{\sqrt{R_n^2 + (X_n + x_{12n})^2}}{c_{1n} x_{12n}} = 17,6 \cdot (9,082^2 + (19,55 + 344,4)^2)^{1/2} /$$

$$/ (1,027 \cdot 344,4) = 18,1 \text{ А}.$$

4.9.6.4. Кратність пускового струмові

$$I_{1n}^* = \frac{I_{1n}}{I_{1H}} = 18,1 / 4,216 = 4,29.$$

4.9.6.5. Кратність пускового моменту

$$M^* = \left( \frac{I'_2}{I'_2'} \right)^2 K_R \frac{s_H}{s} = (17,6 / 3,7016)^2 \cdot 1,08 \cdot 0,03859 / 1 = 0,94.$$

4.9.6.6. Отриманий у розрахунку коефіцієнт насичення

$$k'_{нас} = \frac{I_{1нас}}{I_{1n}} = 18,1 / 15,543 = 1,1645,$$

відрізняється від прийнятого менш чим на 3%, що припустимо.

4.9.7. З розглянутих порівнянь випливає висновок, що вплив насичення від полів розсіювання на параметри ротора збільшує пусковий струм для  $s = 1$  в  $4,29 / 3,69 = 1,16$  рази, пусковий момент у  $0,94 / 0,68 = 1,38$  рази.

4.9.8. Для розрахунку інших точок характеристики задаємося  $k_{нас}$ , зменшеним у залежності від струмові  $I_1$  (див. табл. 4.4).

Дані розрахунку зведені в табл. 4.4, а пускові характеристики представлені на кресленні Р2 та на рис. 4.8.

Таблиця 4.3

					ПД 301.000.000 ПЗ	Арк..
Зм.	Арк..	№ докum.	Підпис	Дата		63

**Розрахунок пускових характеристик з урахуванням впливу ефекту витиснення струму**

№ п/п	Розрахункова формула	Од.	Ковзання, s						
			1	0,8	0,5	0,2	0,1	0,05	0,18
1	$\xi=1,24\sqrt{s}$		1,24	1,11	0,88	0,55	0,39	0,28	0,53
2	$\varphi(\xi)$		0,33	0,2	0,1	0,05	0,04	0,03	0,048
3	$h_r = \frac{h_c}{1 + \varphi}$	мм	14,7	16,3	17,7	18,6	18,8	18,9	18,6
4	$b_r = b_1 - \frac{b_1 - b_2}{h_1} \left( h_r - \frac{b_1}{2} \right)$	мм	3,96	3,57	3,24	3,02	2,97	2,95	3,02
5	$q_r = \frac{\pi b_1^2}{8} + \frac{b_1 + b_r}{2} \left( h_r - \frac{b_1}{2} \right)$	мм <sup>2</sup>	78,11	84,12	88,94	91,73	92,32	92,65	91,73
6	$k_r = q_c / q_r$		1,20	1,11	1,05	1,02	1,01	1,01	1,02
7	$K_R = 1 + \frac{r_c}{r_2} (k_r - 1)$		1,15	1,08	1,04	1,01	1,01	1,01	1,01
8	$r'_{2\xi} = K_R r'_2$		4,025	3,780	3,640	3,535	3,535	3,535	3,535
9	$k_\partial = \varphi'(\xi)$		0,9	0,92	0,96	0,97	0,98	0,99	0,975
10	$\Delta\lambda_{n2\xi} = \lambda'_{n2} (1 - k_\partial)$		0,11	0,09	0,04	0,03	0,02	0,01	0,03
11	$\lambda_{n2\xi} = \lambda_{n2} - \Delta\lambda_{n2\xi}$		2,70	2,72	2,77	2,78	2,79	2,80	2,78
12	$K_x = \frac{\sum \lambda_{2\xi}}{\sum \lambda_2}$		0,98	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00
13	$x'_{2\xi} = K_x x'_2$		12,49 9	12,62 6	12,62 6	12,754	12,754	12,754	12,754
14	$R_n = r_1 + c_{1n} \frac{r'_{2\xi}}{S}$		9,350	10,07 1	12,70 6	23,423	41,646	78,092	25,448
15	$X_n = x_1 + c_{1n} x'_{2\xi}$		23,57 6	23,70 7	23,70 7	23,839	23,839	23,839	23,839
16	$I'_2 = \frac{U_{1ном}}{\sqrt{R_n^2 + X_n^2}}$		15,0	14,8	14,1	11,4	7,9	4,7	10,9
17	$I_1 = I'_2 \frac{\sqrt{R_n^2 + (X_n + x_{12n})^2}}{c_{1n} x_{12n}}$		15,5	15,3	14,6	11,8	8,2	5,0	11,3
18	$I_{1*} = \frac{I_1}{I_1'}$		3,68	3,63	3,46	2,80	1,94	1,19	2,68
17	$M_* = \left( \frac{I'_2}{I'_2'} \right)^2 K_R \frac{s_{ном}}{s}$		0,73	0,83	1,16	1,85	1,78	1,26	1,88

Таблиця 4.4

**Розрахунок пускових характеристик АМВ з урахуванням впливу витиснення струмові в роторі і насичення від полів розсіювання**

№	Розрахункова формула	Од.	Ковзання
---	----------------------	-----	----------

Зм.	Арк..	№ докum.	Підпис	Дата	ПД 301.000.000 ПЗ	Арк..
						64

П/П			1	0,8	0,5	0,2	0,1	0,05	0,18
1	$k_{нас}$		1,04	1,02	1,01	1,01	1,01	1,00	1,01
2	$F_{п.ср} = 0,7 \frac{I_{1наз} k_{нас} u_n}{a} \times (k' \beta + k_{y1} k_{об1} \frac{Z_1}{Z_2})$		1437	1391	1314	1062	738	446	1017
3	$B_{ф\delta} = F_{п.ср} \cdot 10^{-6} / (1,6\delta C_N)$		3,251	3,146	2,972	2,402	1,669	1,009	2,300
4	$\chi_{\delta} = f(B_{ф\delta})$		0,5	0,53	0,58	0,72	0,86	0,97	0,75
5	$c_{\partial 1} = (t_{z1} - b_{ш1})(1 - \chi_{\delta})$		4,10	3,85	3,44	2,30	1,15	0,25	2,05
6	$\Delta \lambda_{п1нас} = \frac{h_{ш1} + 0,58(b_1 - b_{ш1})/2}{b_{ш1}} \times \frac{c_{\partial 1}}{c_{\partial 1} + 1,5b_{ш1}}$		0,520	0,507	0,483	0,397	0,258	0,073	0,372
7	$\lambda_{п1нас} = \lambda_{п1} - \Delta \lambda_{п1.нас}$		3,450	3,463	3,487	3,573	3,712	3,897	3,598
8	$\lambda_{д1нас} = \chi_{\delta} \lambda_{д1}$		0,991	1,050	1,149	1,426	1,704	1,922	1,486
9	$X_{1нас} = x_1 \frac{\sum \lambda_{1нас}}{\sum \lambda_1}$		8,309	8,423	8,617	9,189	9,846	10,482	9,323
10	$\lambda_{п2\xi} = \lambda_{п2\xi} - \Delta \lambda_{п2\xi нас}$		2,01	2,03	2,10	2,16	2,28	2,58	2,17
11	$\lambda_{\partial 2нас} = \chi_{\delta} \lambda_{\partial 2}$		1,68	1,79	1,95	2,42	2,90	3,27	2,53
12	$X'_{2\xi нас} = x'_{2\xi} \frac{\sum \lambda_{2\xi нас}}{\sum \lambda_2}$		7,860	8,116	8,570	9,614	10,797	12,117	9,851
13	$c_{1пнас} = 1 + x_{1нас} / x_{12п}$		1,024	1,024	1,025	1,027	1,029	1,030	1,027
14	$R_{п.нас} = r_1 + c_{1п.нас} \frac{r'_{2\xi}}{S}$		9,322	10,038	12,662	23,352	41,575	78,021	25,369
15	$X_{п.нас} = x_1 + c_{1п.нас} X'_{2\xi.нас}$		16,358	16,734	17,401	19,063	20,956	22,963	19,440
16	$I'_{2.нас} = \frac{U_{ном}}{\sqrt{R_{п.нас}^2 + X_{п.нас}^2}}$		20,2	19,5	17,7	12,6	8,2	4,7	11,9
17	$I_{1нас} = I'_{2.нас} \frac{\sqrt{R_{п.нас}^2 + (X_{п.нас} + x_{12п})^2}}{c_{1п.нас} x_{12п}}$		20,7	20,0	18,2	13,0	8,5	5,0	12,3
18	$k'_{нас} = I_{1нас} / I_{1пуск}$		1,34	1,31	1,25	1,10	1,04	1,00	1,09
19	$I_1^* = I_{1нас} / I_1'$		4,91	4,74	4,32	3,08	2,02	1,19	2,92
20	$M^* = \left( \frac{I'_{2нас}}{I'_{2н}} \right)^2 K_R \frac{s_H}{s}$		1,32	1,45	1,84	2,26	1,91	1,26	2,24

Пускові характеристики для програми „Excel”

1	Ковзання, s	в.о.	1	0,8	0,5	0,2	0,1	0,05	0
2	Струм двигуна, $I_1^*$	в.о.	4,91	4,74	4,32	3,08	2,02	1,19	0,32

3	Момент, М*	в.о.	1,32	1,45	1,84	2,26	1,91	1,26	0
---	------------	------	------	------	------	------	------	------	---

Кратність максимального моменту

$$k_m = \frac{M_{2\max}}{M_H} = 2,26 \text{ ,}$$

при критичному ковзанні

$$s_m = 0,2 \text{ .}$$

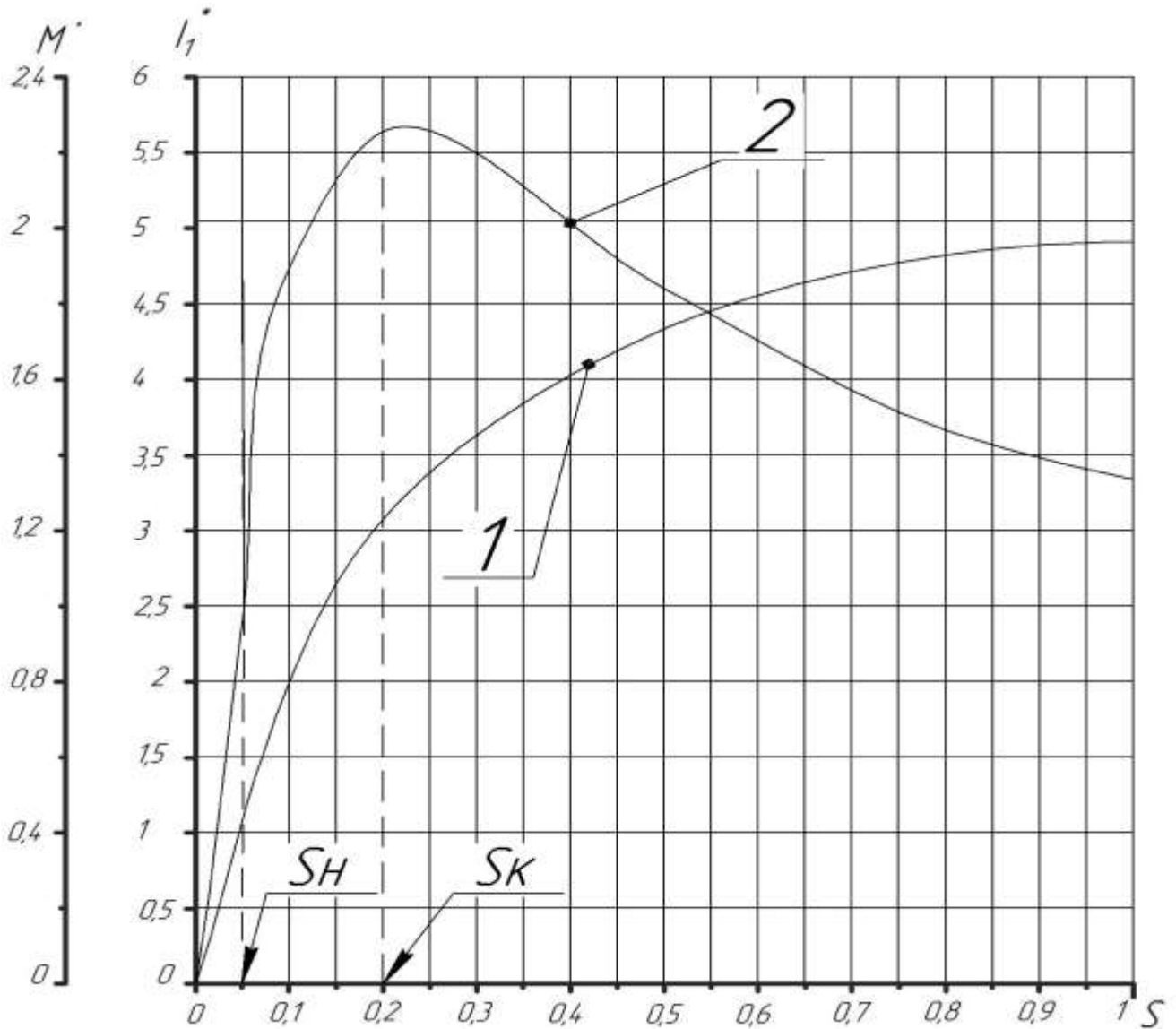


Рис. 4.8. Пускові характеристики АД:

1- графік функції  $I_1^* = f(S)$ ;

2- графік функції  $M^* = f(S)$

Зм.	Арк..	№ докум.	Підпис	Дата
-----	-------	----------	--------	------

4.9.9. Критичне ковзання визначаємо після розрахунку всіх точок пускових характеристик за середнім значенням опорів  $X_{1нас}$  і  $X'_{2\xiнас}$ , що відповідають ковзанням  $s=0,2$  і  $s=0,1$ :

$$x_{1KP} = \frac{x_{1нас}(s=0,1) + x_{1нас}(s=0,2)}{2} = (9,189 + 9,846) / 2 = 9,518;$$

$$x_{2KP} = \frac{x_{2нас}(s=0,1) + x_{2нас}(s=0,2)}{2} = (9,614 + 10,797) / 2 = 10,206;$$

$$s_{кр} = \frac{r'_2}{\frac{x_{1кр}}{c_{1n}} + x_{2кр}} = 3,50 / (9,518 / 1,031 + 10,206) = 0,18.$$

#### 4.10. Тепловий розрахунок двигуна

4.10.1. Перевищення температури внутрішньої поверхні сердечника статора над температурою повітря усередині двигуна  $\Delta V_{нов1}$ .

4.10.1.1. Електричні втрати потужності в пазовій частині обмотки статора визначаються при припустимій температурі  $155^{\circ}C$  для ізоляції класу F:

а) коефіцієнт збільшення втрат при збільшенні температури обмотки до гранично припустимої ( $155^{\circ}C$  для ізоляції класу F) що до розрахункової ( $115^{\circ}C$  для ізоляції класу F)  $k_{\rho} = 1,07$ ;

б) по (8.328) [1]

$$P'_{эн1} = k_{\rho} P_{эл} \frac{2l_1}{l_{cp1}} = 1,07 \cdot 0,2773 \cdot 10^3 \cdot 2 \cdot 0,11 / 0,514 = 127,00 \text{ Вт.}$$

4.10.1.2. Приймаємо по табл. 4.5 значення коефіцієнта

$$K = 0,22 ,$$

який враховує, що частина втрат потужності в сердечнику статора й у пазовій частині обмотки передається безпосередньо в навколишнє середовище.

					ПД 301.000.000 ПЗ	Арк..
Зм.	Арк..	№ докum.	Підпис	Дата		67

Середні значення коефіцієнта  $K$ 

Виконання двигуна по способу захисту	Число полюсів двигуна $2p$	
	2	4
IP54	0,22	0,2
Ip23	0,84	0,80

4.10.1.3. Приймаємо по рис. 8.70,б [1] для  $D_a=0,168\text{м}$  і  $2p=2\cdot 2=4$

$$\alpha_1 = 125 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}),$$

коефіцієнт тепловіддачі з поверхні.

4.10.1.4. По (8.315) [1]

$$\Delta v_{\text{нові}} = K \frac{P'_{\text{эн1}} + P_{\text{стосн}}}{\pi D l_1 \alpha_1} =$$

$$= 0,22 \cdot (127,00 + 69,71) / (3,14 \cdot 0,1142 \cdot 0,11 \cdot 125) = 8,8 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

4.10.2. Перепад температури в ізоляції пазової частини обмотки статора.

4.10.2.1. Розрахунковий периметр поперечного переріза паза статора, для напівзакритих трапецеидальных пазів по (8.332) [1]

$$\Pi_{\text{П1}} = 2h_{\text{п}} + b_1 + b_2 = 2 \cdot 0,01005 + 0,00543 + 0,00662 = 0,032\text{м}.$$

4.10.2.2. Середня еквівалентная теплопровідність пазової ізоляції для ізоляції класу нагревостойкости F  $\lambda_{\text{екв}} = 0,16 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$  [1].

4.10.2.3. Середнє значення коефіцієнта теплопровідности внутрішньої ізоляції котушки всипної обмотки по рис. 8.72 [1] для  $d/d_{\text{із}} = 0,71/0,77 = 0,92$

$$\lambda'_{\text{екв}} = 0,93 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C}).$$

4.10.2.4. Однобічна товщина ізоляції в пазу для всипної обмотки по табл. 4.1  $b_{\text{із}} = 0,15\text{мм}$ .

4.10.2.5. По (8.331) [1]

$$\Delta v_{\text{изн1}} = \frac{P'_{\text{эн1}}}{Z_1 \Pi_{\text{н1}} l_1} \left( \frac{b_{\text{изн1}}}{\lambda_{\text{екв}}} + \frac{b_1 + b_2}{16 \lambda'_{\text{екв}}} \right) =$$

$$= 127,00 \cdot (0,15 / 0,16 + (5,43 + 6,62) / (16 \cdot 0,93)) \cdot 10^{-3} / (36 \cdot 0,032 \cdot 0,11) = 1,75 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

					ПД 301.000.000 ПЗ	Арк..
Зм.	Арк..	№ докум.	Підпис	Дата		68



4.10.3. Перепад температури по товщині ізоляції лобових частин.

4.10.3.1. Периметр умовної поверхні охолодження лобової частини однієї котушки

$$\Pi_{л1} = \Pi_{п1} = 0,032 \text{ м.}$$

4.10.3.2. Електричні втрати потужності в лобових частинах обмотки статора визначаються для гранично припустимої температури

$$P'_{эл1} = k_{\rho} P_{эл} \frac{2l_{л1}}{l_{сп1}} = 1,15 \cdot 0,2773 \cdot 10^3 \cdot 2 \cdot 0,147 / 0,514 = 182 \text{ Вт.}$$

4.10.3.3. Однобічна товщина ізоляції в лобових частинах для всьпной обмотки по табл. 4.1  $b_{изл1} = 0$ .

4.10.3.4. По (8.335) [1]

$$\Delta v_{изл1} = \frac{P'_{эл1}}{z_1 \Pi_{л1} l_{л1}} \left( \frac{b_{изл1}}{\lambda_{екв}} + \frac{h_{н1}}{12 \lambda'_{екв}} \right) =$$

$$= 182 \cdot (0 / 0,16 + 10,05 / (12 \cdot 0,93)) \cdot 10^{-3} / (36 \cdot 0,032 \cdot 0,11) = 1,29 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

4.10.3.5. Перевищення температури зовнішньої поверхні лобових частин над температурою повітря усередині машини:

$$\Delta v_{нов.л1} = \frac{KP'_{эл1}}{2\pi D l_{ввл} \alpha_1} = 0,22 \cdot 182 / (2 \cdot 3,14 \cdot 0,1142 \cdot 0,04902 \cdot 125) = 9,1 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

4.10.4. Середнє перевищення температури обмотки статора над температурою повітря усередині машини

$$\Delta v'_1 = \frac{(\Delta v_{нов1} + \Delta v_{из.н1}) 2l_1 + (\Delta v_{из.л1} + \Delta v_{нов.л1}) 2l_{л1}}{l_{сп1}} =$$

$$= ((8,8 + 1,75) \cdot 2 \cdot 0,11 + (1,29 + 9,1) \cdot 2 \cdot 0,147) / 0,514 = 10,46 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

4.10.5. Перевищення температури повітря усередині машини над температурою навколишнього середовища.

4.10.5.1. Коэффициент підігріву повітря, що враховує тепловіддаючу здатність поверхні корпусу й інтенсивність перемішування повітря усередині двигуна, визначається по рис. 8.70 [1] для  $D = 0,1142 \text{ м}$

					ПД 301.000.000 ПЗ	Арк..
Зм.	Арк..	№ докум.	Підпис	Дата		69

$$\alpha_{\theta} = 16 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C}),$$

4.10.5.2. Еквівалентна поверхня охолодження корпусу по (8.343) [1].

Умовний периметр поперечного переріза ребер корпусу двигуна  $\Pi_p$  визначається по рис. 8.73 [1] у залежності від висоти осі обертання  $h$ , що визначається згідно табл.8.6 [1] або табл. 4.2 для  $D_a=0,168\text{м}$ .

Таблиця 3.6

$D_a, \text{ м}$	0,08—0,096	0,1—0,108	0,116—0,122
$h, \text{ м}$	0,056	0,063	0,071

$$\Pi_p = 0,1 \text{ м}^2,$$

$$S_{кор} = (\pi D_a + 8 \Pi_p)(l_1 + 2l_{ввл1}) = (3,14 \cdot 0,168 + 8 \cdot 0,1) \cdot (0,11 + 2 \cdot 0,04902) = 0,2762 \text{ м}^2.$$

4.10.5.3. Сума втрат, що виділяється в повітря усередині двигуна  $\sum P'_e$  по (8.340) [1]

$$\sum P' = \sum P + (K_p - 1)(P_{\theta 1} + P_{\theta 2}) = 0,5354 \cdot 10^3 + (1,45 - 1)(0,2773 + 0,1439) \cdot 10^3 = 564,88 \text{ Вт};$$

по (8.339) [1]

$$\sum P'_e = \sum P' - (1 - K)(P'_{\theta n1} + P_{c1} + P_{c2}) = 564,88 - (1 - 0,22) \cdot (127,00 + 76,3) = 264,3 \text{ Вт}.$$

4.10.5.4. По (8.338)

$$\Delta v_{\theta} = \frac{\sum P'_e}{S_{кор} \alpha_{\theta}} = 264,3 / (0,2762 \cdot 16) = 60 \text{ °C}.$$

4.10.6. Середнє перевищення температури обмотки статора над температурою навколишнього середовища

$$\Delta v_1 = \Delta v'_1 + \Delta v_{\theta} = 10,46 + 60 = 70 \text{ °C}.$$

4.10.7. Середня температура нагрівання обмотки статора

$$\Theta_1 = \Delta v_1 + t_{окр} = 70 + 40 = 110 \text{ °C}.$$

					ПД 301.000.000 ПЗ	Арк..
Зм.	Арк..	№ докум.	Підпис	Дата		70

Через наближений характер розрахунку  $\Theta_1$  повинне бути, принаймні, на 20% менше, ніж температура, що допускається, для прийнятого класу ізоляції F ( $155^\circ\text{C}$ )  $\Theta_1 = 0,8 \cdot 155 = 124^\circ\text{C}$ .

4.10.8. Перевірка умов охолодження двигуна.

4.10.8.1. Необхідна кількість охолодного повітря:

4.10.8.1.1. Коефіцієнт, що враховує зміна умов охолодження по довжині поверхні корпусу, що обдувається зовнішнім вентилятором

$$k_m = m' \sqrt{\frac{n_n}{100} D_a} = 2,6 \cdot (1442 \cdot 0,168 / 100)^{1/2} = 4,05.$$

Коефіцієнт  $m' = 2,6$  для двигунів з  $2p = 2$ , і  $m' = 1,8$  для двигунів з  $2p = 4$ .

4.10.8.1.2. Необхідний для охолодження витрата повітря по (8-356) [1] для двигунів зі ступенем захисту IP44

$$Q_g = \frac{k_m \sum P'_g}{1100 \Delta v_g} = 4,05 \cdot 264,3 / (1100 \cdot 60) = 0,01622 \text{ м}^3/\text{с},$$

де  $\sum P'_g$  - сума втрат, що відводяться повітрям, що охолоджує внутрішній обсяг машини, визначена в п. 4.6.3.

4.10.8.1.3. Коефіцієнт  $K_L$  враховує зміну площі виходу вентилятора шляхом зміни ширини лопаток в діапазоні  $0,5 \leq K_L \leq 1,5$ .

$$K_L = 0,50.$$

4.10.8.2. Витрати повітря, що забезпечуються зовнішнім вентилятором по (8.358) [1]

$$Q'_g = 0,6 \cdot K_L \frac{n}{100} D_a^3 = 0,6 \cdot 0,5 \cdot 1442 \cdot 0,168^3 / 100 = 0,021 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Витрата повітря  $Q'_g$  повинна бути більше необхідного для охолодження машини  $Q_g$ . Система охолодження двигуна забезпечує необхідну витрату повітря. Дійсні витрати вентилятора повинні перевищувати необхідні не менш ніж на 10%.

					ПД 301.000.000 ПЗ	Арк..
Зм.	Арк..	№ докum.	Підпис	Дата		71

## Висновки по четвертому розділу

У результаті електромагнітного розрахунку отримані наступні номінальні характеристики двигуна:

Потужність, кВт	3,5
Напруга фазна, В	380
Споживаний струм, А	4,216
ККД	0,867
Частота обертання, об/хв	1442
Ковзання ротора, в.о.	0,03859
Момент на валу, Нм	23,24
Коефіцієнт потужності	0,84
Кратність пускового струму, в.о.	4,91
Кратність пускового моменту, в.о.	1,32

Середнє перевищення температури обмотки статора над температурою навколишнього середовища складає  $70^{\circ}\text{C}$ .

Система охолодження двигуна забезпечує витрату повітря  $0,021\text{ м}^3/\text{з}$  (необхідна витрата повітря  $0,01622\text{ м}^3/\text{с}$ ).

					ПД 301.000.000 ПЗ	Арк..
Зм.	Арк..	№ докцм.	Підпис	Дата		72

## 5. МЕХАНІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ВАЛА ЕЛЕКТРОДВИГУНА

### 5.1. Вихідні дані для розрахунку вала

5.1.1. Розрахувати вал асинхронного двигуна, що має наступні дані:  $M_H = 23,24$  Нм,  $n_H = 1442$  об/хв, зовнішній діаметр магнітопровода ротора  $D = 0,1142$  м, довжина магнітопровода якоря без радіальних каналів  $l_1 = 0,11$  м, повітряний зазор  $\delta = 0,3 \cdot 10^{-3}$  м. Зчленування двигуна з приводом – безпосередня посадка на вал. Середній діаметр втулки робочого колеса вентилятора:

$d_m =$	0,075	м.
---------	-------	----

Розміри вала згідно рис 5.1:  $D_0 = 0,039$  м,  $d_3 = D_0 = 0,039$  м,

$a_\epsilon$ .....	0,1166	м,
$d_{\epsilon 0}$ .....	0,04	м,
$d_{II}$ .....	0,037	м,
$d_2$ .....	0,04	м,
$l_\epsilon$ .....	0,082	м,
$b_\epsilon$ .....	0,12	м,
$x_{\epsilon 2}$ .....	0,05	м,
$y_{\epsilon 1}$ .....	0,04	м,
$y_{\epsilon 2}$ .....	0,055	м,
$z_{\epsilon 1}$ .....	0,08	м,
$z_{\epsilon 2}$ .....	0,14	м,

$$x_{\epsilon 1} = y_{\epsilon 1} = 0,04 \text{ м}, \quad y_{\epsilon 3} = b_\epsilon = 0,12 \text{ м}, \quad l_\epsilon = a_\epsilon + b_\epsilon = 0,1166 + 0,12 = 0,2366 \text{ м},$$

$$x_{\epsilon 3} = a_\epsilon = 0,1166 \text{ м}, \quad c_\epsilon = z_{\epsilon 2} = 0,14 \text{ м}.$$

## 5.2. Розрахунок вала на твердість

5.2.1. Маса ротора з обмоткою і валом (стор. 232) [2]

$$m_p = 6500 \cdot D^2 \cdot l_1 = 6500 \cdot 0,1142^2 \cdot 0,11 = 9,32 \text{ кг.}$$

Сила ваги ротора

$$G_p = 9,81 \cdot m_p = 9,81 \cdot 9,32 = 91,43 \text{ Н.}$$

5.2.2. Момент інерції ротора

$$J_p = \frac{\pi \cdot m_p D^2}{32} = 3,14 \cdot 9,32 \cdot 0,1142^2 / 32 = 0,011927 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

5.2.3. Двигун може зчленовуватися з виконавчим механізмом одним зі способів: через пасову передачу, зубчасту передачу або через еластичну муфту. При безпосередній посадці робочого колеса вентилятора на вихідний кінець валу коефіцієнт передачі [2, 6, 7]

$$k_{II} = 1,05.$$

5.2.4. Поперечна сила, прикладена до виступаючого кінця вала по (11.17) [2]

$$F_{II} = \frac{k_{II} \cdot M_H}{\frac{d_m}{2}} = 1,05 \cdot 23,24 / 0,075 / 2 = 650,72 \text{ Н.}$$

5.2.5. Прогин вала посередині магнітопровода під тиском сили ваги ротора по (11.15) [2]

5.2.5.1. Екваторіальні моменти інерції вала:

$$J_{B1} = \frac{\pi \cdot d_{II}^4}{64} = 3,14 \cdot 0,037^4 / 64 = 0,00000009195 \text{ м}^4;$$

$$J_{B2} = \frac{\pi \cdot D_2^4}{64} = 3,14 \cdot 0,04^4 / 64 = 0,00000012560 \text{ м}^4.$$

$$J_{B3} = \frac{\pi \cdot D_0^4}{64} = 3,14 \cdot 0,039^4 / 64 = 0,00000011350 \text{ м}^4.$$

					ПД 301.000.000 ПЗ	Арк..
Зм.	Арк..	№ докum.	Підпис	Дата		74

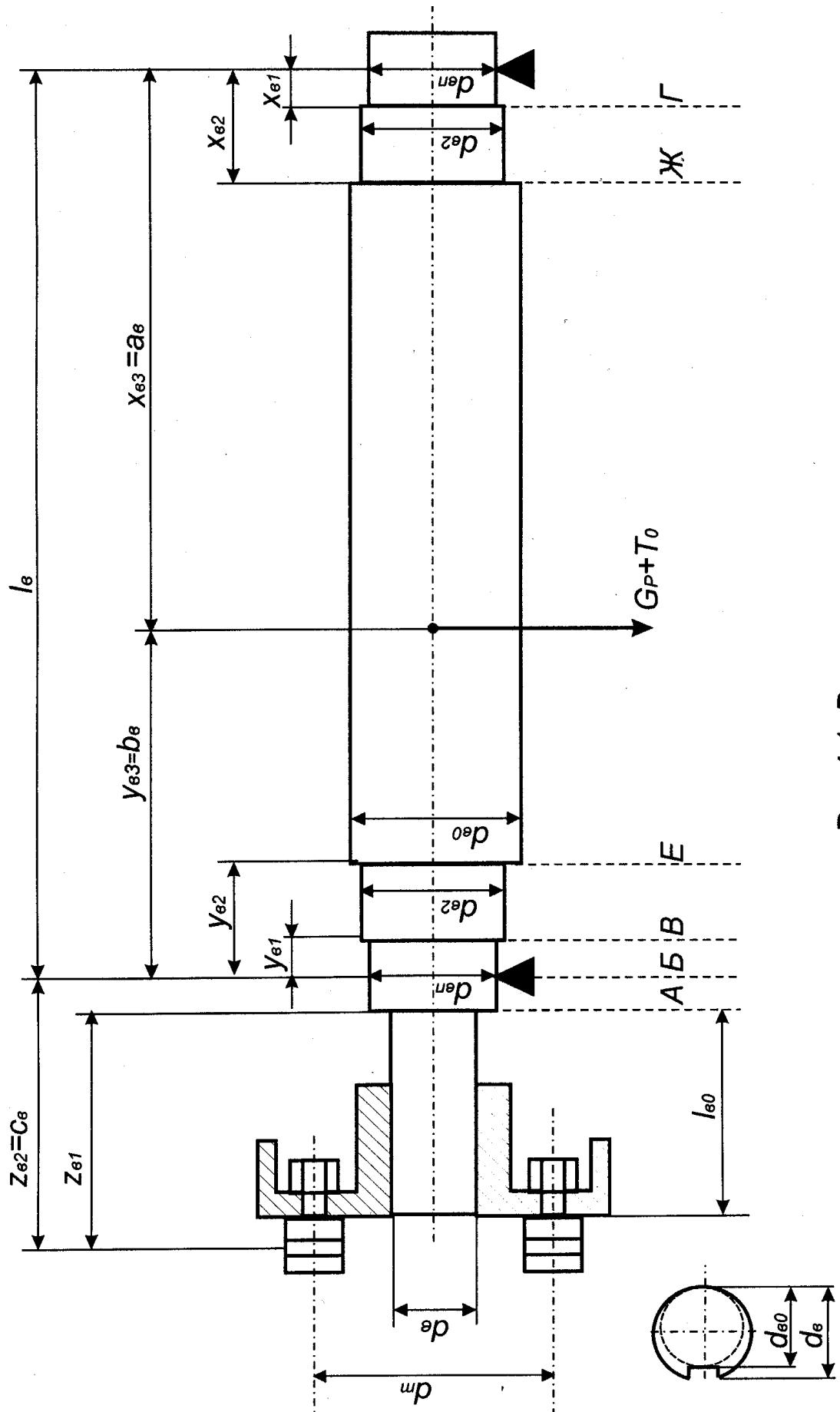


Рис.4.1. Расчетная схема вала

Зм.	Арк..	№ докум.	Підпис	Дата
-----	-------	----------	--------	------

ПД 301.000.000 ПЗ

Арк..

75

### 5.2.5.2. Значення величин

$$S_b = \frac{y_{B1}^3}{J_{B1}} + \frac{y_{B2}^3 - y_{B1}^3}{J_{B2}} + \frac{y_{B3}^3 - y_{B2}^3}{J_{B3}} = 0,04^3 / 0,00000009195 + (0,055^3 - 0,04^3) / 0,00000012560 + (0,12^3 - 0,055^3) / 0,00000011350 = 15270 \text{ м}^{-1};$$

$$S_a = \frac{x_{B1}^3}{J_{B1}} + \frac{x_{B2}^3 - x_{B1}^3}{J_{B2}} + \frac{x_{B3}^3 - x_{B2}^3}{J_{B3}} = 0,04^3 / 0,00000009195 + (0,05^3 - 0,04^3) / 0,00000012560 + (0,1166^3 - 0,05^3) / 0,00000011350 = 14047 \text{ м}^{-1}.$$

### 5.2.5.3. Прогин вала

$$f_G = \frac{G_p}{3 \cdot E \cdot l_g^2} \cdot (S_b \cdot a_B^2 + S_a \cdot b_B^2) = 91,43 / (3 \cdot 2,06 \cdot 10^{11} \cdot 0,2366^2) \cdot (15270 \cdot 0,1166^2 + 14047 \cdot 0,12^2) = 0,000001083 \text{ м}.$$

5.2.6. Прогин вала посередині магнітопровода ротора від поперечної сили муфти по (11.19) [2]

#### 5.2.6.1. Значення величини

$$S_0 = \frac{y_{B1}^2}{J_{B1}} + \frac{y_{B2}^2 - y_{B1}^2}{J_{B2}} + \frac{y_{B3}^2 - y_{B2}^2}{J_{B3}} = 0,04^2 / 0,00000009195 + (0,055^2 - 0,04^2) / 0,00000012560 + (0,12^2 - 0,055^2) / 0,00000011350 = 128967 \text{ м}^{-1}$$

Прогин вала

$$f_{II} = \frac{F_{II} \cdot c_B}{3 \cdot E \cdot l_B^2} \cdot \left( \left( \frac{3}{2} \cdot l_B \cdot S_0 - S_b \right) \cdot a_B + S_a \cdot b_e \right) = 650,72 \cdot 0,14 / (3 \cdot 2,06 \cdot 10^{11} \cdot 0,2366^2) \cdot ((3/2 \cdot 0,2366 \cdot 128967 - 15270) \cdot 0,1166 + 14047 \cdot 0,12) = 0,00001380 \text{ м}.$$

### 5.2.7. Первісний зсув ротора по (11.20) [2]

$$e_0 = 0,1 \cdot \delta + f_G + f_{II} = 0,1 \cdot 0,3 \cdot 10^{-3} + 0,000001083 + 0,00001380 = 0,000044883 \text{ м}.$$

### 5.2.8. Початкова сила однобічного магнітного притягання (11.21) [2]

$$T_0 = 2,94 \cdot D_2 \cdot l_2 \cdot \frac{e_0}{\delta} \cdot 10^5 = 2,94 \cdot 0,1136 \cdot 0,11 \cdot 0,000044883 / (0,3 \cdot 10^{-3}) \cdot 10^5 = 549,64 \text{ Н}$$

					ПД 301.000.000 ПЗ	Арк..
Зм.	Арк..	№ докум.	Підпис	Дата		76



5.2.9. Прогин від сили однобічного магнітного притягання (11.22) [2]

$$f_T = \frac{f_G \cdot T_0}{G_P} = 0,000001083 \cdot 549,64 / 91,43 = 0,00000651 \text{ м.}$$

5.2.10. Сталий прогин вала від однобічного магнітного притягання по (11.23) [2]

$$f_M = \frac{f_T}{1 - \frac{f_T}{e_0}} = 0,00000651 / (1 - 0,00000651 / 0,000044883) = 0,00000761 \text{ м.}$$

5.2.11. Сумарний прогин вала посередині магнітопровода ротора (11.24) [2]

$$f = f_M + f_G + f_{II} = 0,00000761 + 0,000001083 + 0,00001380 = 0,000022493 \text{ м;}$$

$$\text{т.ч. складає } \frac{f}{\delta} \cdot 100\% = 0,000022493 / 0,3 \cdot 10^{-3} \cdot 100\% = 7,5\% < 10\%, \text{ що припустимо}$$

для асинхронних двигунів (стор. 238 [1]).

5.2.12. Критична частота обертання по (11.25) [2]

$$n_K = 30 \sqrt{\frac{(1 - \frac{f_T}{e_0})}{f_G}} = 30 \cdot ((1 - 0,00000651 / 0,000044883) / 0,000001083)^{1/2} = 26655 > 1,3 n_H.$$

### 5.3. Розрахунок вала на міцність

5.3.1. У розрахунку на міцність приймаємо коефіцієнт перевантаження  $k=2$ .

5.3.2. Напруга на вільному кінці вала в перерізі А (рис 5.1):

по (11.31) [2]

$$M_{IA} = k \cdot F_n \cdot z_{e1} = 2 \cdot 650,72 \cdot 0,08 = 104,12 \text{ Нм;}$$

по (11.30) [2]

$$W_A = 0,1 \cdot d^3_{e0} = 0,1 \cdot 0,04^3 = 0,00000640 \text{ м}^3;$$

по (11.29) [2]

					ПД 301.000.000 ПЗ	Арк..
Зм.	Арк..	№ докум.	Підпис	Дата		77

$$\sigma_{IIA} = \frac{1}{W_A} \cdot \sqrt{M_{IIA}^2 + (k \cdot \alpha \cdot M_{HOM})^2} = 1 / 0,00000640 \cdot (104,12^2 + (2 \cdot 0,8 \cdot 23,24)^2)^{1/2} =$$

$$= 17275078 \text{ Па.}$$

5.3.3. Напряга в перерізі В:

з (11.32) і (11.34) [2]

$$M_{IB} = k \cdot F_{II} \cdot c_B \left(1 - \frac{y_{B1}}{l_B}\right) + \left(G_{II} + \frac{T_0}{1 - \frac{f_T}{e_0}}\right) \cdot \frac{\alpha \cdot y_{B1}}{l_B} = 2 \cdot 650,72 \cdot 0,14 \left(1 - \right.$$

$$\left. - 0,04 / 0,2366\right) +$$

$$+ (91,43 + 549,64 / (1 - 0,00000651 / 0,000044883)) \cdot 0,8 \cdot 0,04 / 0,2366 = 250,7 \text{ Нм;}$$

по (11.30) [2]

$$W_B = 0,1 \cdot d_{II}^3 = 0,1 \cdot 0,037^3 = 0,00000507 \text{ м}^3;$$

по (11.29) [2]

$$\sigma_{IIIB} = \frac{1}{W_B} \cdot \sqrt{M_{IB}^2 + (k \cdot \alpha \cdot M_{HOM})^2} = 1 / 0,00000507 \cdot$$

$$(250,7^2 + (2 \cdot 0,8 \cdot 23,24)^2)^{1/2} = 49988674 \text{ Па.}$$

5.3.4. Напряга в перерізі Е:

з (11.32) і (11.34) [2]

$$M_{IE} = k \cdot F_{II} \cdot c_B \left(1 - \frac{y_{B2}}{l_B}\right) + \left(G_{II} + \frac{T_0}{1 - \frac{f_T}{e_0}}\right) \cdot \frac{\alpha \cdot y_{B2}}{l_B} = 2 \cdot 650,72 \cdot 0,14 \left(1 - 0,055 / 0,2366\right) +$$

$$+ (91,43 + 549,64 / (1 - 0,00000651 / 0,000044883)) \cdot 0,8 \cdot 0,055 / 0,2366 = 276,4 \text{ Нм;}$$

по (11.30) [2]

$$W_E = 0,1 \cdot d_{II}^3 = 0,1 \cdot 0,037^3 = 0,00000507 \text{ м}^3;$$

по (11.29) [2]

$$\sigma_{IIIE} = \frac{1}{W_E} \cdot \sqrt{M_{IE}^2 + (k \cdot \alpha \cdot M_{HOM})^2} = 1 / 0,00000507 \cdot$$

$$(276,4^2 + (2 \cdot 0,8 \cdot 23,24)^2)^{1/2} = 49988674 \text{ Па.}$$

5.3.5. Напряга в перерізі Г з (11.33) і (11.34) [2]

					ПД 301.000.000 ПЗ	Арк..
Зм.	Арк..	№ докум.	Підпис	Дата		78

$$M_{иг} = (k \cdot F_{II} \cdot c_B + (G_{II} + \frac{T_0}{1 - \frac{f_T}{e_0}}) b_B) \cdot \frac{x_{B1}}{l_B} = (2 \cdot 650,72 \cdot 0,14 + (91,43 + 549,64 /$$

$$/ (1 - 0,00000651 / 0,000044883) \cdot 0,12) \cdot 0,04 / 0,2366 = 45,7 \text{ Нм};$$

по (11.30) [2]

$$W_{Г} = 0,1 \cdot d^3_{II} = 0,1 \cdot 0,037^3 = 0,00000507 \text{ м}^3;$$

по (11.29) [2]

$$\sigma_{ПРГ} = \frac{1}{W_{Г}} \cdot \sqrt{M_{иг}^2 + (k \cdot \alpha \cdot M_{НОМ})^2} = 1 / 0,00000507 \cdot (45,7^2 + (2 \cdot 0,8)^2)^{1/2} =$$

$$= 11620588 \text{ Па.}$$

5.3.6. Напряга в перерізі Ж:

з (11.33) і (11.34) [2]

$$M_{ИЖ} = (k \cdot F_{II} \cdot c_B + (G_{II} + \frac{T_0}{1 - \frac{f_T}{e_0}}) b_B) \cdot \frac{x_{B2}}{l_B} = (2 /$$

$$/ (1 - 0,00000651 / 0,000044883) \cdot 0,12) \cdot 0,05 / 0,2366 = 57,1 \text{ Нм};$$

по (11.30) [2]

$$W_{Ж} = 0,1 \cdot d^3_{II} = 0,1 \cdot 0,037^3 = 0,00000507 \text{ м}^3;$$

по (11.29) [2]

$$\sigma_{ПРГ} = \frac{1}{W_{Ж}} \cdot \sqrt{M_{ИЖ}^2 + (k \cdot \alpha \cdot M_{НОМ})^2} = 1 / 0,00000507 \cdot$$

$$\cdot (57,1^2 + (2 \cdot 0,8)^2)^{1/2} = 11620588 \text{ Па.}$$

4.3.7. З зіставлення отриманих даних випливає, що найбільш навантаженим є перетин А, для якого

$$\sigma_{ПР} = 17275078 \text{ Па} < 0,7 \cdot 3600 \cdot 10^5 \text{ Па.}$$

### Висновки по п'ятому розділу

1. Сумарний прогин вала посередині магнітопровода ротора складає 7,5 % від величини повітряного зазору (припустиме значення 10 %).
2. Критична частота обертання вала 26655 про/хв  $> 1,3 n_n$ .
3. Найбільш навантаженим є перетин вала А (див. рис. 5.1), для якого апряга прогину  $\sigma_{ПР} = 17275078 \text{ Па}$  (припустиме значення 252000000 Па).

										Арк..
										79
Зм.	Арк..	№ докум.	Підпис	Дата						

ПД 301.000.000 ПЗ

## 7. РОЗРАХУНОК ВІДЦЕНТРОВОГО ВЕНТИЛЯТОРА

Вентиляція займає важливе місце у виробничому процесі теплоелектростанцій. У теплоенергетичних підприємствах використовуються до 50 типорозмірів відцентрових вентиляторів. Гідністю відцентрових вентиляторів є: відносна малопотужність і надійність експлуатації; зручність обслуговування і ремонту; сприятливі для паралельної роботи аеродинамічні характеристики.

Широке поширення відцентрових вентиляторів пояснюється значним поліпшенням за останні 10-15 років їх техніко-економічних показників: максимальний статичний ККД установки зріс з 0,72 до 0,86; середньовзвішений статичний ККД в області експлуатації збільшився з 0,52 до 0,75; у 1,5-2 рази зменшені габарити і вартість установок на 1 кВт гідравлічній потужності.

### 7.1. Розрахунок параметрів вентиляційної установки

Згідно с завданням потрібно розрахувати та спроектувати відцентровий вентилятор, що розвиває тиск  $P_{н.в.} = 2500$  Па з продуктивністю  $Q=0,8\text{м}^3/\text{с}$ , для асинхронного двигуна з номінальними даними:

$$P_n = 3,5 \text{ кВт};$$

$$n = 1500 \text{ об/хв.};$$

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} = 157 \text{ рад/сек};$$

$$U = 380/660 \text{ В.}$$

Попереднє виконують розрахунок параметрів для прямих лопаток вентилятора.

7.1. 1. Необхідна продуктивність вентилятора (згідно завдання)

$$Q_n = Q = 0,8\text{м}^3/\text{сек.}$$

7.1.2. Тиск у режимі холостого ходу вентилятора (при  $Q = 0$ )

$$P_{xx} = \frac{P_n}{0,75} = \frac{2500}{0,75} = 3333,34, \text{ Па .}$$

					ПД 301.000.000 ПЗ	Арк..
Зм.	Арк..	№ докум.	Підпис	Дата		80

7.1.3. Продуктивність у режимі короткого замикання вентилятора :

$$Q_{кз} = \frac{Q_{н}}{0,5} = \frac{0,8}{0,5} = 1,6 \text{ м}^3/\text{сек}.$$

7.1.4. За методикою Алексєєва [7, 8] будемо аеродинамічну залежність  $P = f(Q)$  (рис. 7.1) :

$$P = P_{\max} \left[ 1 - \left( \frac{Q}{Q_{\max}} \right)^2 \right] = 3333,34 \times \left[ 1 - \left( \frac{0,3}{1,6} \right)^2 \right] = 3200 \text{ Па},$$

де:  $P_{\max} = P_{хх} = 3333,34 \text{ Па}$ ;  $Q_{\max} = Q_{кз} = 1,6 \text{ м}^3/\text{сек}$ .

Розрахунки параметрів  $P$  при різних значеннях  $Q$  внесено в табл. 7.1.

Таблиця 7.1.

Розрахунок параметрів вентилятора

$Q, \text{м}^3/\text{сек}$	0	0,3	0,6	0,8	1,1	1,3	1,6
$P, \text{Па}$	3333,34	3200,00	2833,34	2500,01	1733,34	1066,67	0
$\eta$	0	0,32	0,56	0,66	0,63	0,45	0

7.1.5. Значення ККД визначаємо, використовуючи дані  $Q$  і  $P$  табл. 7.1

$$\eta = \frac{(Q \cdot P / N)}{1000} = \frac{(0,3 \cdot 3200 / 3,05)}{1000} = 0,32,$$

де  $N$  - потужність вентилятора. Якщо вентилятор установлений на одній осі із двигуном, то

$$N = \frac{P_{н}}{k} = \frac{3,5}{1,15} = 3,05 \text{ кВт},$$

де  $k = 1,15$  - коефіцієнт запасу потужності на пусковий момент (табл. 7.2).

Згідно табл.7.1 на рис.7.1. побудована аеродинамічна характеристика вентилятора та характеристика його ККД.

Значення коефіцієнту  $k$  по відношенню до потужності електродвигуна

Потужність електродвигуна	Значення $k$
1,01-2,00 кВт	1,2
2,01-5,00 кВт	1,15
понад 5,00 кВт	1,1

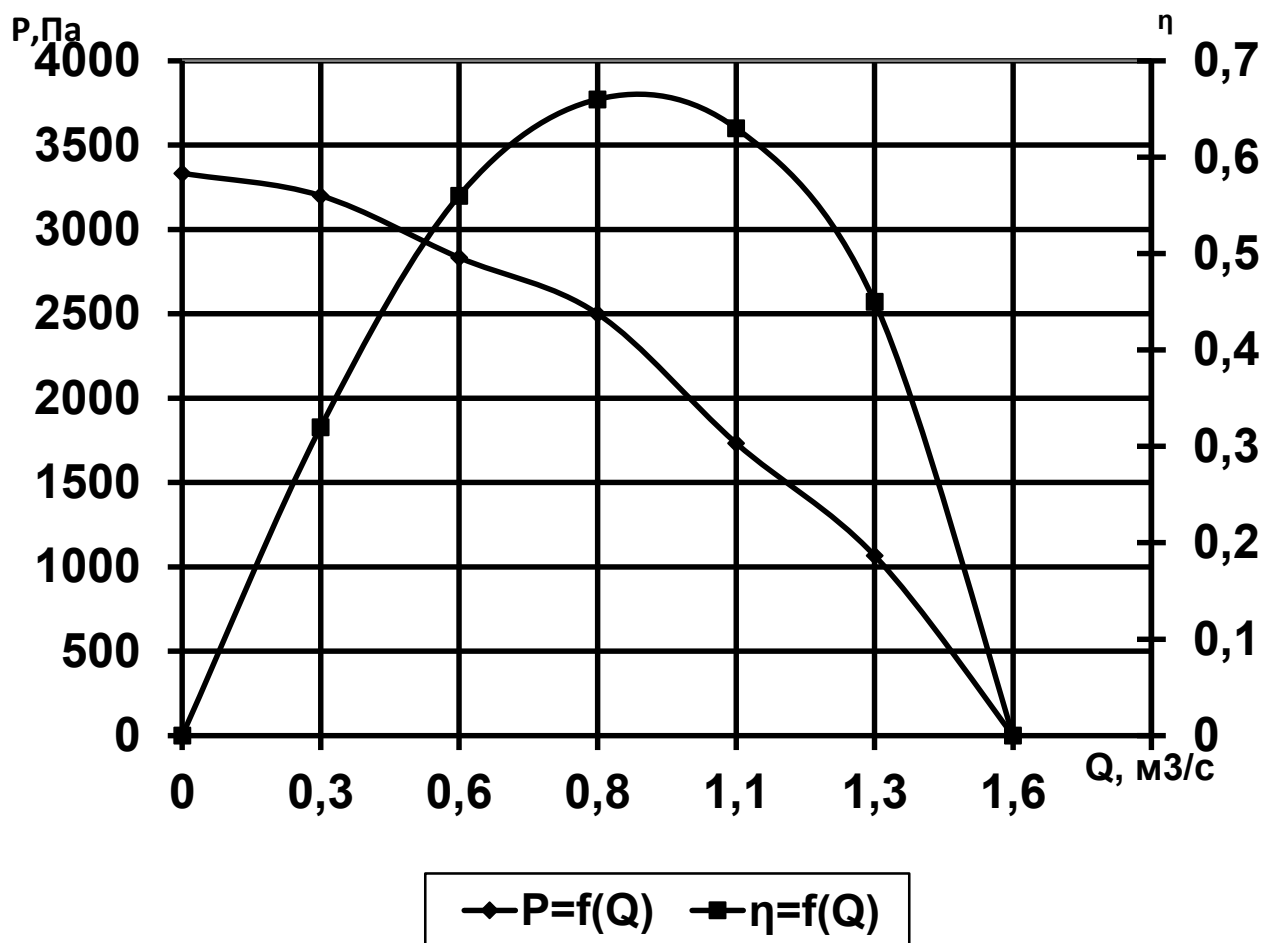


Рис. 7.1. Зовнішня аеродинамічна характеристика  $p = f(Q)$  і залежність ККД від витрати  $\eta = f(Q)$

## 7.2. Розрахунок основних геометричних розмірів та параметрів вентилятора

### 7.2.1. Питома швидкохідність вентилятора

$$n_{ц} = 53 \frac{Q_H^{1/2} \cdot \omega}{P^{3/4}} = 53 \frac{0,8^{1/2} \cdot 157}{2500^{3/4}} = 21,05 \text{ об/сек.}$$

7.2.2. Діаметр входу у вентилятор  $D_0$  визначають із умови мінімальних втрат при вході потоку на лопатки:

$$D_0 = K \sqrt[3]{\frac{Q_H}{\omega}} = 1,65 \sqrt[3]{\frac{0,8}{157}} = 0,36 \text{ м,}$$

де:  $K$  у залежності від питомої швидкості:

при  $n_{ц} < 20$ :  $K = 1,6$ ;  $n_{ц} = 20-50$ :  $K = 1,65$ ;  $n_{ц} > 55$ :  $K = 1,75$ .

Приймаємо з конструктивних міркувань  $D_0 = 0,35 \text{ м}$ .

7.2.3. Діаметр входу на лопатці колеса приймають  $D_1 = D_0 = 0,35 \text{ м}$ .

7.2.4. Зовнішній діаметр колеса вентилятора

$$D_2 = \frac{D_0 \cdot 60}{n_{ц}} = \frac{0,35 \cdot 60}{21,05} = 1,0 \text{ м.}$$

7.2.5. Ширина спірального корпусу приймається з монтажних міркувань і може бути приблизно визначена, як

$$B = 0,885 \cdot D_0 = 0,885 \cdot 0,35 = 0,31 \text{ м,}$$

7.2.6. Ширина лопатки

$$b = \frac{K \cdot D_0}{4} = \frac{2,0 \cdot 0,35}{4} = 0,18 \text{ м,}$$

де  $K = 1,1-2,5$ , при цьому  $K$  тим більше, чим більше відношення  $\frac{D_0}{D_2}$ .

Приймаємо  $b = 0,18 \text{ м}$ .

7.2.7. Розрахунок розмірів спірального корпусу вентилятора.

7.2.7. 1. Величина розкриття спірального корпусу

$$A = 0,5 \cdot D_2 = 0,5 \cdot 1,0 = 0,5 \text{ м.}$$

7.2.7.2. Вихідний патрубок корпусу приймається з монтажних міркувань і може бути приблизно визначений

$$C = 0,4 \cdot D_2 = 0,4 \cdot 1,0 = 0,4 \text{ м.}$$

					ПД 301.000.000 ПЗ	Арк..
Зм.	Арк..	№ докум.	Підпис	Дата		83

7.2.7.3. Визначаємо радіус, що утворить корпус по формулі Архімеда для чотирьох крапок (рис. 7.2).

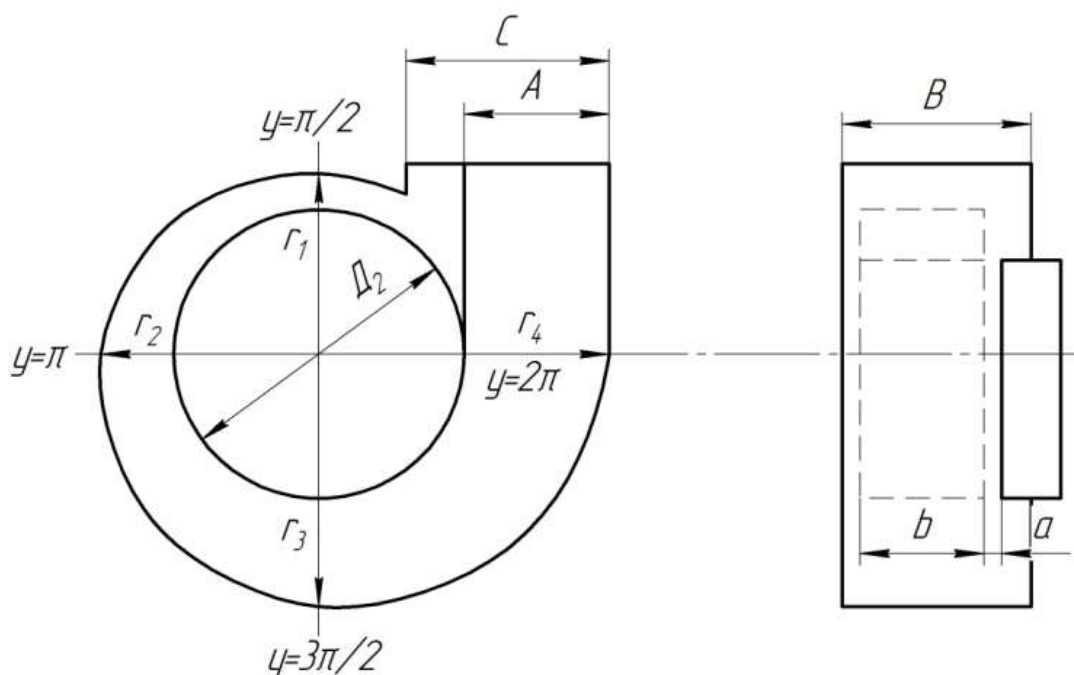


Рис. 7.2. Побудова спірального корпусу вентилятора

Таблиця 7.2.

Розрахунок спірального корпусу вентилятора

Положення у просторі	Радіус віддалення від центру координат
$y = \pi/2$	$r_1 = 5A/4 = 5 \cdot 0,5 / 4 = 0,63 \text{ м,}$
$y = \pi$	$r_2 = 3A/2 = 3 \cdot 0,5 / 2 = 0,75 \text{ м,}$
$y = 3\pi/2$	$r_3 = 7A/4 = 7 \cdot 0,5 / 4 = 0,88 \text{ м,}$
$y = -2\pi$	$r_4 = 2A = 2 \cdot 0,5 = 1,0 \text{ м.}$

7.2.8. Число лопаток вентилятора можна визначити по рекомендації М.П. Калинушкина, розробленої в ЦАГИ на основі експериментальних даних [8]:  $Z=11$ .

Отримане число необхідно округлити в найближчу сторону до найближчого більшого числа, кратного непарному.



7.2.9. Довжину лопати колеса попереднє можна визначити згідно з практичними рекомендаціями В.І.Віноградова (табл.5-1 [8]):

$$l_n = \frac{1}{2}(D_2 - D_0) = \frac{1}{2}(1,0 - 0,35) = 0,33 \text{ м};$$

Для перевірки правильності вибору і розрахунку розмірів конструкції вентилятора потрібно перш за все визначити тиск при номінальній частоті обертання двигуна розрахувати параметри тиску при незмінній потужності приводу.

7.3. Попередній розрахунок тиску для числа оборотів вентилятора з прямими лопатками при дійсній (фактичній)  $n = 1442$  об/хв.

7.3.1. Окружна швидкість:

$$U_2 = \frac{\pi \cdot D_2 \cdot n}{60} = \frac{3,14 \cdot 1,0 \cdot 1442}{60} = 75,47 \text{ м/сек}$$

7.3.2. Швидкість закручування потоку на виході з колеса

$$C_{2U} = \left( U_2 - \frac{2\pi \cdot n}{60} \cdot \cos \beta_2 \right) \cdot 0,85 = \left( 75,47 - \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 1442}{60} \cdot \cos 90 \right) \cdot 0,85 = 64,15 \text{ м/сек}$$

7.3.3. Коефіцієнт закручування потоку на виході з колеса для  $\beta_2 = 90^\circ$ :

$$\varphi_2 = \frac{C_{2U}}{U_2} = \frac{64,15}{75,47} = 0,85.$$

7.3.4. Тиск, що розвиває вентилятор у нормальних умовах ( $\rho = 1,2$  кг/м<sup>3</sup>;  $P = 760$  мм. рт. ст.)

$$P = \rho \cdot \eta \cdot \varphi_2 \cdot U_2^2 = 1,2 \cdot 0,6 \cdot 0,85 \cdot 75,47^2 = 3485,78 \text{ Па}$$

де:  $\eta \cdot \varphi_2 = \psi$  - коефіцієнт тиску вентилятора,

$\eta$  - ККД вентилятора при  $\beta_2 = 90^\circ$   $\eta = 0,60$ ; при  $\beta_2 > 90^\circ$   $\eta = 0,7$ ;

$\beta_2 < 90^\circ$   $\eta = 0,5$ .

Отриманий розрахунковий тиск спроектованої конструкції вентилятора при прямих лопатях робочого колеса  $P = 3485,78$  Па, що не відповідає завданому тиску 2500 Па. Для зниження тиску створюваного вентилятором потрібно внес-

					ПД 301.000.000 ПЗ	Арк..
Зм.	Арк..	№ докум.	Підпис	Дата		85

ти конструктивні зміни в робоче колесо. Найбільш ефективним є вигин лопатей на невеликий кут  $\beta_2$  проти напрямку обертання двигуна. Приймаємо кут вигину верхньої частини лопаті на  $4^\circ$  проти напрямку обертання, що становить  $\beta_2 = 86^\circ$  установки лопатей [8].

Проведемо розрахунок тиску для фактичного числа оборотів двигуна  $n = 1442$  об/хв з лопатями з вигином  $\beta_2 = 86^\circ$  по співвідношенням 7.3.2.-7.3.4.

Швидкість закручування потоку на виході з колеса:

$$C_{2U} = \left( U_2 - \frac{2\pi \cdot n}{60} \cdot \cos \beta_2 \right) \cdot 0,85 = \left( 75,47 - \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 1442}{60} \cdot \cos 86 \right) \cdot 0,85 = 55,19 \text{ м/сек}$$

Коефіцієнт закручування потоку на виході з колеса для  $\beta_2 = 86^\circ$ :

$$\varphi_2 = \frac{C_{2U}}{U_2} = \frac{55,19}{75,47} = 0,73.$$

Тиск, що розвиває вентилятор у нормальних умовах:

$$P = \rho \cdot \eta \cdot \varphi_2 \cdot U_2^2 = 1,2 \cdot 0,5 \cdot 0,73 \cdot 75,47^2 = 2495,7 \text{ Па}$$

де:  $\eta$  - ККД вентилятора при  $\beta_2 < 90^\circ$   $\eta = 0,5$ .

Отриманий тиск для модернізованої конструкції робочого колеса вентилятора в точності відповідає завданню.

Розрахунок регулювальної характеристики вентилятора по 7.3.1.-7.3.4. для різних частот обертання двигуна приведений в табл. 7.3. За даними табл. 7.3 будемо регулювальну характеристику спроектованного вентилятора (графік залежності  $P = f(n)$ ) рис. 7.3. При використанні конструкції з вигином лопатей проти ходу обертання немає настільки «жорсткого» контакту лопаток з повітрям, лопатка як би «гладить» повітря, що, зокрема, значно знижує шум працюючого вентилятора при незначном зменшенні ККД.

					ПД 301.000.000 ПЗ	Арк..
Зм.	Арк..	№ доцум.	Підпис	Дата		86

Розрахунок регулювальної характеристики вентилятора з  
лопатками при  $\beta_2 = 86^\circ$

$n, \text{об/хв}$	700	850	1000	1150	1300	<b>1442</b>	1600
$U_2, \text{м/сек}$	36,70	44,5	52,4	60,26	68,12	75,47	83,8
$C_{2U}, \text{м/сек}$	26,79	32,48	38,25	43,98	49,72	55,19	61,17
$\varphi_2$	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73
$p, \text{Па}$	589,94	867,35	1202,65	1590,49	2032,47	2495,7	3075,83

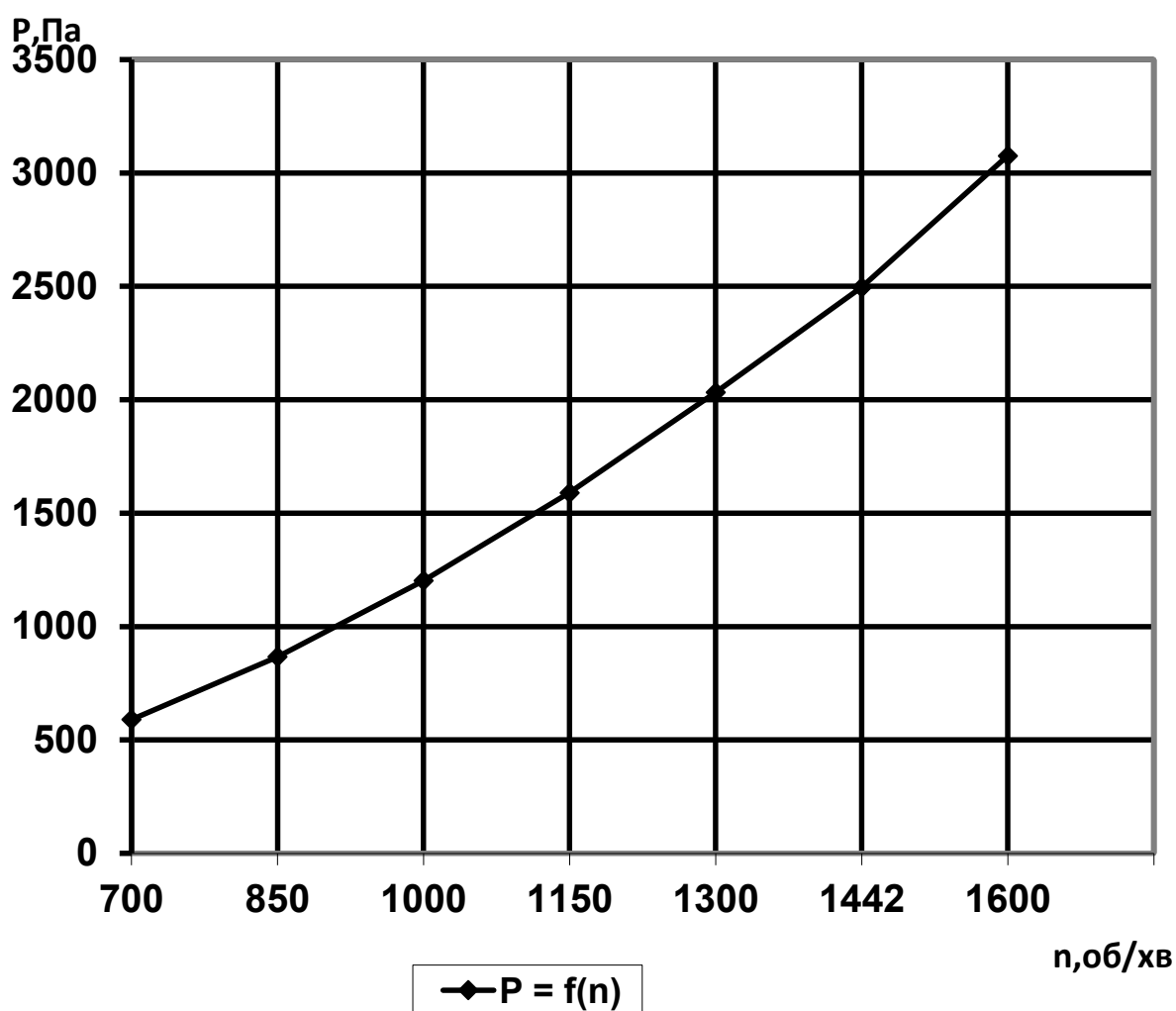


Рис. 7.3. Регулювальна характеристика вентилятора.

Як видно з табл. 7.3 та рис. 7.3 тиск забезпечуваний вентилятором з лопатками з вигином  $\beta_2 = 86$  град. при номінальній частоті обертання двигуна

( $n=1442$ об/хвил.)  $P=2495,7$  Па, що відповідає заданому ( $2500$ Па), а це означає, що конструкція вентилятора розрахована відповідно завдання.

### Висновки по сьомому розділу

В данному розділі був спроектований відцентровий вентилятор, що розвиває тиск  $P_{н.в.} = 2495,7$  Па для асинхронного двигуна з номінальними даними:  $P_{н} = 3,5$  кВт,  $n = 1500$  об/хв;  $\omega = 157$  рад/сек;  $U = 380/660$  В. З розрахунків параметрів вентилятора слідує, що кут вигину лопаток  $\beta_2$  впливає на тиск вентилятора та надає можливість оптимізованого вибору привода та конструкції робочого колеса при проектуванні вентиляційної установки з необхідним вихідним тиском. Заданий тиск на виході вентилятора, був отриман при лопатках робочого колеса з вигином проти ходу обертання тобто з  $\beta_2 = 86^\circ$ . Також був побудован графік залежності тиску на виході вентилятора від частоти обертання двигуна.

					ПД 301.000.000 ПЗ	Арк..
Зм.	Арк..	№ докум.	Підпис	Дата		88

## 8. РОЗРАХУНОК ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ

### СПРОЕКТОВАНОГО ВИРОБУ

Таблиця 8.1.

Карта аналізу технічного рівня проектного та базового двигунів

№ п.п	Показник	Од. вим.	Базовий варіант	Проектний варіант
1	Потужність номінальна	кВт	4,0	3,5
2	Напруга живлення фазна	В	380	380
3	Частота обертання	об/хв	1410	1442
4	ККД	у.о.	0,85	0,867
5	Коефіцієнт потужності,	у.о.	0,83	0,84
6	Кратність пускового моменту,	у.о.	2,4	1,32
7	Кратність пускового струму	у.о.	7,0	4,91
8	Маса двигуна	кг	34,6	32,3
9	Трудомісткість виготовлення $T_{обц}$	н/год	18	14,79
10	Термін експлуатації, $T_{pi}$	років	20	20

Таблиця 8.2.

Початкові дані до розрахунку показників технологічності

Найменування деталей або вузлів	Ед. ізм.	Базова модель	Проектована модель	Джерело
Стандартні $N_{ст}$	шт.	6	7	Складальні креслення, специфікації
Запозичені $N_з$	шт.	4	3	
Покупні $N_{пок}$	шт.	3	3	
Оригінальні $N_{ор}$	шт.	1	1	
Загальна кількість $N_{обц}$	шт.	14	14	

Розрахунок коефіцієнтів для базового та проектного електродвигунів приводиться нижче.

*Коефіцієнт застосовності вживаності покупних деталей:*

Зм.	Арк..	№ докум.	Підпис	Дата	ПД 301.000.000 ПЗ	Арк.. 89
-----	-------	----------	--------	------	-------------------	-------------

$$K_{нокі} = \frac{N_{нокі}}{N_{обці}}$$

де  $N_{нокі}$  - кількість покупних деталей у конструкції електродвигуна,  
 $N_{обці}$  - загальна кількість деталей у конструкції електродвигуна.

Базовий двигун:  $K_{нок} = N_3 / N_{обці} = 3 / 14 = 0,21$ .

Проектований двигун:  $K_{нок} = 3 / 14 = 0,21$ .

*Коефіцієнт наступності*

Базовий двигун:  $K_{пр} = N_3 / N_{обці} = 4 / 14 = 0,29$ .

Проектований двигун:  $K_{пр} = 3 / 14 = 0,21$ ,

де  $N_3$  и  $N_{обці}$  - відповідно кількість запозичених деталей і загальна їхня кількість у конструкції електродвигуна.

*Коефіцієнт стандартизації електродвигуна*

Базовий двигун:  $K_{см} = N_{см} / N_{обці} = 6 / 14 = 0,43$ .

Проектований двигун:  $K_{см} = 7 / 14 = 0,50$ .

де  $N_{см}$  - кількість стандартних деталей у конструкції електродвигуна.

*Питома матеріалоемність електродвигуна*

Базовий двигун:  $q_m = Q_{изд} / P = 34,6 / 4 = 8,65$  кг/кВт.

Проектований двигун:  $q_m = 32,3 / 3,5 = 9,23$  кг/кВт,

де  $Q_{изд}$  - маса електродвигуна, кг.

$P$  - потужність електродвигуна, кВт.

*Питома трудомісткість виготовлення електродвигуна*

$$t_{yд} = T_{обці} / P,$$

де  $T_{обці}$  - загальна трудомісткість виготовлення електродвигуна, норм/г. (по техпаспорті) .

Питома трудомісткість виготовлення базового двигуна

$$t_{yд} = 18 / 4 = 4,5.$$

Питома трудомісткість виготовлення проектового двигуна

$$t_{yд} = 14,79 / 3,5 = 4,23.$$

					ПД 301.000.000 ПЗ	Арк..
Эм.	Арк..	№ докум.	Підпис	Дата		90

Розраховані показники зведені в табл. 8.3.

Таблиця 8.3.

Показники технологічності конструкції базового і проектного електродвигунів

№ п.п.	Показник	Од. вим.	Базова модель	Проектна модель
1	Коефіцієнт наступності, $K_{np}$	у.о.	0,29	0,21
2	Коефіцієнт стандартизації, $K_{ст}$	у.о.	0,43	0,5
3	Коефіцієнт вживаності, $K_{нок}$	у.о.	0,21	0,21
4	Питома матеріаломісткість, $q_m$	кг/кВт	8,65	9,23
5	Питома трудомісткість, $t_{уд}$	норм.г/кВт	4,5	4,29

### 8.3. Визначення витрат на матеріали

Розрахунок витрат на матеріали наведений у табл. 8.4 за даними цін та найменувань середні по Україні, встановлені за допомогою інтернету.

### 8.4. Визначення витрат на оплату праці та відрахувань на соціальне страхування

Початкова інформація представлена в таблиці 8.5.

8.4.1. Трудомісткість проектової машини визначаємо по трудомісткості базової машини з урахуванням розходжень та відмінностей [13]

$$T_n = \frac{T_{\delta} K_m K_{сл} K_{нов}}{K_{ун}} = 18 \cdot 0,96 \cdot 1,00 \cdot 1,00 / 1,16 = 14,79 \text{ норм.год.},$$

де коефіцієнт обліку розходжень у масі:

$$K_m = \sqrt[3]{\left(\frac{M_n}{M_{\delta}}\right)^2} = (32,3/34,6)^{2/3} = 0,96,$$

де  $M_n$ ,  $M_{\delta}$  - відповідно маса проектової й маса базової машини.

Коефіцієнт обліку відмінностей в складності

$$K_{сл} = \frac{N_n}{N_{\delta}} = 14/14 = 1,00,$$

де  $N_n, N_b$  - відповідно загальна кількість деталей у проєктованій і базовій машині.

Коефіцієнт обліку відмінностей в новизні

$$K_{нов} = \frac{N_{он}}{N_{об}} = 1/1 = 1,00,$$

де  $N_{он}, N_{об}$  - відповідно кількість оригінальних деталей у проєктованій і базовій машині.

Коефіцієнт обліку відмінностей в рівні уніфікації

$$K_{ун} = \frac{K_{снн}}{K_{снб}} = 0,5/0,43 = 1,16.$$

8.4.2. Розмір основної заробітної плати по базовому варіанту

$$З_{об} = L_{об} T_{об} = 14,5 \cdot 18 = 261 \text{ грн.},$$

де  $L_{об}$  - діюча на підприємстві середня тарифна ставка на момент складання базової калькуляції, грн.

8.4.3. Розмір додаткової заробітної плати по базовому варіанту

$$З_{доб} = З_{об} K_{дон} = 261 \cdot 0,15 = 39,15 \text{ грн.}$$

8.4.4. Розмір основної заробітної плати по проєктованому варіанту

$$З_{он} = L_{он} T_{н} = 14,5 \cdot 14,79 = 214,46 \text{ грн.}$$

Таблиця 8.4.

#### Розрахунок витрат на матеріали

Найменування матеріалу по ДСТ	Витрата базової моделі	Витрата проєктованої моделі	Ціна за 1 кг, грн.	Вартість матеріалу базової моделі	Вартість матеріалу проєктованої моделі
<b>Основні матеріали</b>					
Сталь листова електротехнічна 2013	10,7	9,7	26,5	283,6	257,1
Алюміній ливарний	2,2	2,1	126,3	277,9	265,2
Сталь сортова вуглецева Ст 45	2,5	2,4	19,7	49,3	47,3
Сталь прокат	3,2	3,1	25,2	80,6	78,1
Лиття сталеве	2,4	2,3	24,5	58,8	56,4

Зм.	Арк..	№ докум.	Підпис	Дата	ПД 301.000.000 ПЗ	Арк..
						92



Ізоляційні матеріали	1,5	1,1	9,5	14,3	10,5
Обмотувальний дріт	6,8	6,4	70,0	476,0	448,0
Покупні вироби і напівфабрикати					
Підшипники	0,4	0,4	50	20,0	20,0
Метизи	0,3	0,3	4,0	1,2	1,2
Резино-технічні вироби	0,5	0,4	16,5	8,3	6,6
Електроди	3	3	6,3	18,9	18,9
Мастило	0,3	0,3	16	4,8	4,8
Лакофарбні матеріали	0,8	0,8	17,5	14,0	14,0
Поворотні відходи (віднімаються)					
5% від вартості матеріалів (чорні метали)				37,5	35,2
Транспортно-заготівельні витрати					
4% від вартості матеріалів, напівфабрикатів і комплектуючих виробів				52,3	49,1
Разом	34,60	32,30		1 217,9	1 143,8

8.4.5. Розмір додаткової заробітної плати по проектуваному варіанту

$$Z_{донн} = Z_{он} K_{дон} = 214,46 \cdot 0,15 = 32,17 \text{ грн.}$$

8.4.6. Відрахування на соціальне страхування для базової моделі

$$Z_{соцб} = \frac{(Z_{об} + Z_{донб}) K_{соц}}{100} = (261 + 39,15) \cdot 22,0 / 100 = 66,03 \text{ грн.}$$

8.4.7. Відрахування на соціальне страхування для проектуваної моделі

$$Z_{соцн} = \frac{(Z_{он} + Z_{донн}) K_{соц}}{100} = (214,46 + 32,17) \cdot 22,0 / 100 = 54,26 \text{ грн.}$$

Дані до розрахунку витрат на оплату праці приведені в табл. 8.5.

Таблиця 8.5.

Вихідні дані до розрахунку витрат на оплату праці

Показники	Од. вим.	Базова модель	Проектна модель	Джерело
Діюча на підприємстві середня тарифна ставка	грн./г	14,5	14,5	Планово-економічний відділ
Витрати на основну заробітну плату в калькуляції базового варіанту, $Z_0$	грн.	261	214,46	Базова калькуляція собівартості
Відсоток додаткової заробітної плати	%	15	15	Структура собівартості бази

Зм.	Арк..	№ докум.	Підпис	Дата	ПД 301.000.000 ПЗ	Арк..
						93

### 8.5. Калькуляція собівартості проектного двигуна і нижньої межі ціни

Для розрахунку собівартості двигунів та їх ціни потрібно використати дані калькуляції підприємства, які приведені в табл.8.6.

Таблиця 8.6.

Вихідні дані для складання калькуляції

Показники	Од. вим.	Базова модель	Проектована модель	Джерело
Відсоток витрат на утримання та експлуатацію устаткування, ( $p_{сэ}$ )	%	18	18	Собівартість або структура собівартості бази практики
Відсоток адміністративних витрат, ( $p_{адм}$ )	%	15	15	
Відсоток витрат на реалізацію продукції, ( $p_{реал}$ )	%	20	20	

8.5.1. Витрата на утримання і експлуатацію устаткування для базової моделі

$$P_{сэоб} = \frac{Z_{об} \cdot p_{сэ}}{100} = 261 \cdot 0,18 = 46,98 \text{ грн.}$$

8.5.2. Витрати на утримання і експлуатацію устаткування для проектової моделі

$$P_{сэоп} = \frac{Z_{оп} \cdot p_{сэ}}{100} = 214,46 \cdot 0,18 = 38,60 \text{ грн.}$$

8.5.3. Адміністративні витрати для базової та проектової моделі

$$P_{адмі} = \frac{Z_{oi} \cdot p_{адм}}{100} .$$

8.5.4. Витрати на реалізацію продукції для базової та проектової моделі

$$P_{реалі} = \frac{P_{адмі} \cdot p_{реал}}{100}$$

### 8.5.5. Необхідний рівень прибутковості виробництва

$$r = \frac{(K_{\delta} + R)}{100} = (30+10)/100 = 0,4(40\%).$$

Результати розрахунків приведені в табл. 8.7.

Таблиця 8.7.

### Калькуляція собівартості електродвигуна в порівняльному виді

№ п.п	Найменування статей	Витрати на базову модель, грн.	Витрати на проектовану модель, грн.
1	Витрати на матеріали, $P_{mat}$	1 217,9	1 143,8
2	Основна заробітна плата, $Z_o$	261	214,46
3	Додаткова заробітна плата, $Z_{дон}$	39,15	32,17
4	Відрахування на соціальне страхування, $Z_{соц}$	66,03	54,26
5	Витрати на утримання і експлуатацію устаткування, $P_{сэо}$	46,98	38,60
6	Адміністративні витрати, $P_{адм}$	39,15	32,17
8	Виробнича собівартість ( $Cб_{прі} = P_{mat} + Z_{oi} + Z_{doni} + Z_{соци} + P_{сэоi} + P_{адми}$ )	1 670,21	1 515,46
9	Витрати на реалізацію продукції, $P_{реал}$	7,83	6,43
10	Повна собівартість ( $Cб_{полні} = Cб_{прі} + P_{реали}$ )	1 678,0	1 521,9
11	Прибуток, ( $Пр_i = 0,4 \cdot Cб_{полні}$ )	671,2	608,8
12	Ціна оптова, ( $Ц_{оптi} = Cб_{полні} + Пр_i$ )	2 349,2	2 130,7
13	ПДВ, ( $H_{дci} = 0,2 \cdot Ц_{оптi}$ )	469,8	426,1
14	Нижня межа ціни, ( $Ц_i = Ц_{оптi} + H_{дci}$ )	2 819,0	2 556,8

### 8.6. Супутні капітальні вкладення у споживача

Капітальні вкладення у споживача з використанням нового двигуна незначні й ними можна зневажити.

### 8.7. Розрахунок експлуатаційних витрат у споживача за увесь термін його експлуатації

Витрати по експлуатації двигуна за увесь термін експлуатації по і -тому варіанту (базовому та проектованому) враховують:

Зм.	Арк..	№ докум.	Підпис	Дата	ПД 301.000.000 ПЗ	Арк..
						95

$$I_i = C_e + C_{po},$$

де  $C_e$  – повна вартість електроенергії, грн.;

$C_{poi}$  – витрати на ремонт і обслуговування по  $i$ -му варіанту:

$$C_{poi} = K_{po} \cdot Ц_{oi},$$

де  $K_{po}$  – відсоток витрат на ремонт і обслуговування (для промислових підприємств 0,12) .

$$C_{роб} = 0,12 \cdot 2819,0 = 338,28 \text{ грн.}$$

$$C_{рон} = 0,12 \cdot 2556,8 = 306,82 \text{ грн.}$$

Витрати по електроенергії за весь строк експлуатації розраховують по даним табл. 8.8:

Базовий двигун

$$C_{еб} = \mu_n \cdot K_з \cdot \frac{P_\mu}{\eta} \cdot T_{сл} \cdot F_d \cdot (1 + \alpha - \eta) = 1,73 \cdot 0,95 \cdot \frac{4}{0,85} \cdot 20 \cdot 2020 \cdot (1 + 0,17 - 0,85) = 99986,67,$$

грн.

Проектований двигун

$$C_{еп} = \mu_n \cdot K_з \cdot \frac{P_\mu}{\eta} \cdot T_{сл} \cdot F_d \cdot (1 + \alpha - \eta) = 1,73 \cdot 0,95 \cdot \frac{3,5}{0,867} \cdot 20 \cdot 2020 \cdot (1 + 0,16 - 0,867) = 78535,79,$$

грн.,

де  $\mu_n$  - вартість 1 кВт/год., грн.,

$K_з$  - середній коефіцієнт завантаження електродвигуна за часом у процесі експлуатації ,

$P_\mu$  - номінальна потужність електродвигуна,

$\alpha$  - відносна величина втрат електроенергії ( з урахуванням  $\cos\phi$ ),

$\eta$  - ККД;

$F_d$  - номінальний фонд часу роботи електродвигуна з паспортних даних по терміну служби при заданому режимі змінності.

Тоді розрахунок експлуатаційних витрат у споживача за весь термін експлуатації:

$$I_b = C_{еб} + C_{роб} = 99986,67 + 338,28 = 100324,95 \text{ грн.}$$

$$I_n = C_{еп} + C_{рон} = 78535,79 + 306,82 = 78842,61 \text{ грн}$$

					ПД 301.000.000 ПЗ	Арк..
Зм.	Арк..	№ докум.	Підпис	Дата		96

Таблиця 8.8.

## Розрахунок експлуатаційних витрат у споживача

Показники	Од. вим.	Базова модель	Проектована модель	Джерело
Вартість електроенергії, ( $\mu_i$ )	кВт/Г	1,73	1,73	
Коефіцієнт завантаження за часом ( $K_{zi}$ )	у.о.	0,95	0,95	
Відносна величина втрат електроенергії ( $\alpha$ )	у.о.	0,17	0,16	
ККД	у.о.	0,85	0,867	
Річний фонд часу роботи, ( $F_{di}$ )	год.	2020	2020	

**8.8. Розрахунок економічного ефекту і визначення ціни пропозиції**

Для нового виробу з покращуваними якісними характеристиками економічний ефект на одну одиницю можна визначити наступним чином:

$$E = C_{\sigma} \cdot \frac{T_{pn} \cdot K_{min}}{T_{pb} \cdot K_{mib}} + (I_{\sigma} - I_n) - C_n = 2\,819 \cdot 20 \cdot 1 / (20 \cdot 1) + (100324,95 - 78842,61) - 2\,556,8 = 21744,54 \text{ грн.},$$

*Розрахунок ціни пропозиції*

$$C_{np} = C_n + E \cdot K_{ук} \cdot K_{рк} = 2\,819 + 21744,54 \cdot 0,25 \cdot 0,5 = 5537,07 \text{ грн.}$$

Економічний ефект у виробника

$$E_{np} = E \cdot K_{ук} \cdot K_{рк} = 21744,54 \cdot 0,25 \cdot 0,5 = 2718,07 \text{ грн.}$$

					ПД 301.000.000 ПЗ	Арк..
Зм.	Арк..	№ докум.	Підпис	Дата		97

Економічний ефект у споживача

$$E_{\text{потр}} = E - E_{\text{пр}} = 21744,54 - 2718,07 = 19026,47 \text{ грн.}$$

### 8.9. Розробка порівняльної таблиці показників базового і проектного варіантів двигунів

Порівняльні техніко-економічні характеристики базового і проектного варіантів приведені в звідній таблиці 8.9.

Таблиця 8.9.

Техніко-економічні показники базового і проектного двигуна

№ п.п	Показник	Од. вим.	Базовий варіант	Проектний варіант
1	Потужність двигуна, $(P_{\delta}, P_n)$	кВт	4,0	3,5
2	Напруга фазна, $(U_{\phi\delta}, U_{\phi n})$	В	380	380
3	Частота обертання, $(n_{\delta}, n_n)$	об/хв	1410	1442
4	ККД, $(\eta_{\delta}, \eta_n)$	у.о.	0,85	0,867
5	Коефіцієнт потужності, $(\cos\varphi_{\delta}, \cos\varphi_n)$	у.о.	0,83	0,84
6	Кратність пускового моменту, $(k_{\delta}, k_n)$	у.о.	2,4	1,32
7	Кратність пускового струму, $(k_{\delta}, k_n)$	у.о.	7,0	4,91
8	Маса двигуна, $(Q_{\delta}, Q_n)$	кг	34,6	32,3
9	Трудомісткість виготовлення двигуна, $(T_{\delta}, T_n)$	н.год	18	15,0
10	Термін експлуатації, $(T_{\delta}, T_n)$	років	20	20
11	Коефіцієнт наступності, $(K_{\delta}, K_n)$	-	0,29	0,21
12	Коефіцієнт стандартизації, $(K_{\delta}, K_n)$	-	0,43	0,5
13	Коефіцієнт застосовності, $(K_{\delta}, K_n)$	-	0,21	0,21
14	Питома матеріалоемність, $(q_{\delta}, q_n)$	кг/кВт	8,65	9,23
15	Питома трудомісткість, $(t_{\delta}, t_n)$	норм.ч/кВт	4,5	4,29
16	Повна собівартість $(C_{\delta}, C_n)$	грн.	1 678	1 521,9
17	Нижня границя ціни, $(C_{\delta}, C_n)$	грн.	2 819	2 556,8
18	Економічний ефект на одиницю за термін експлуатації, $(E)$	грн.	-	21744,54
19	Відпускна ціна, $(C_{\delta}, C_n)$	грн.	-	5537,07
20	Економічний ефект у виробника, $(E_{\text{пр}})$	грн.	-	2718,07
21	Економічний ефект у споживача, $(E_{\text{потр}})$	грн.	-	19026,47

### Висновки по восьмому розділу

Економічний ефект на одиницю виробу за термін експлуатації 20 років складе 19026,47 грн., що підтверджує переваги використання розробленого електродвигуна для приводу відцентрового вентилятора.

### ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У даному дипломному проекті проведено розрахунок та проектування економічної конструкції вентиляційної установки теплоелектростанції для створення тиску 2500Па. В роботі наведено аналіз конструкцій і параметрів існуючих вентиляторів і електродвигунів на підставі якого були узяті за основу при проектуванні відцентровий вентилятор і електродвигун вибухозахищеного виконання серії АІУ, які мають найбільш високі техніко - економічні показники

					ПД 301.000.000 ПЗ	Арк..
Зм.	Арк..	№ докум.	Підпис	Дата		99

і відповідають експлуатації установки вентилятора в умовах теплоелектро-станції.

Спроектован відцентровий вентилятор, який розвиває заданий тиск  $P_{н.в.} = 2500,0$  Па з асинхронним двигуном з номінальними даними:  $P_n = 3,5$  кВт,  $n = 1500$  об/хв.

Для практичного використання результатів проекту при виконанні виробничих завдань з проектування вентиляторів для промисловості с заданим тиском, побудована регульовальна характеристика та встановлен вплив конструкції робочого колеса на створюваний вентилятором тиск. Попередньо конструкція робочого колеса розрахована з прямими лопатями, тобто для  $\beta_2 = 90^\circ$ , при цьому тиск вентилятора при номінальній частоті обертання двигуна був отриманий  $3485,78$  Па. В ході проведених розрахунків було встановлено, що заданий вихідний тиск  $2500$  Па при фактичній частоті обертання двигуна ( $n = 1442$  об/хв), отримано при зміні конструкції робочого колеса (кута вигину лопаток) вентилятора. Розрахована регульовальна характеристика вентилятора та побудован її графік залежності тиску на виході вентилятора від частоти обертання двигуна для конструкції робочого колеса з кутом вигину верхньої частини лопатки  $\beta_2 = 86^\circ$  (відповідає згибу лопатей проти ходу обертання двигуна). Використання конструкції робочого колеса з вигином лопатей проти ходу обертання зменшує ступень контакту лопаток з повітрям, що, зокрема, значно знижує шум працюючого вентилятора.

В результаті розрахунку приводу вентилятора отримані наступні номінальні характеристики електродвигуна :

Потужність, кВт	3,5
Напруга фазна, В	380
Споживаний струм, А	4,216
ККД	0,867
Частота обертання, об/хв	1442
Ковзання ротора, в.о.	0,03859

					ПД 301.000.000 ПЗ	Арк..
Зм.	Арк..	№ докум.	Підпис	Дата		100



Момент на валу, Нм	23,24
Коефіцієнт потужності	0,84
Кратність пускового струму, в.о.	4,91
Кратність пускового моменту, в.о.	1,32

Середнє перевищення температури обмотки статора над температурою навколишнього середовища складає  $70^{\circ}\text{C}$  ( $\Theta_1 = \Theta_{oc} + \Delta v_1 = 40 + 70 = 110^{\circ}\text{C}$ ), що задовольняє ізоляції класу F ( $155^{\circ}\text{C}$ ).

Сумарний прогин вала посередині магнітопровода ротора складає 7,5 % від величини повітряного зазору (припустиме значення 10%).

Критична частота обертання вала  $n = 26655$  об/хв  $> 1,3n_n$ , що відповідає перерішному співвідношенню.

Найбільш навантаженим є переріз вала А (див. рис. 5.1), для якого напруга прогину  $\sigma_{пр} = 17275078$  Па (припустиме значення 252 000 000 Па).

Система охолодження двигуна забезпечує витрату повітря  $0,021$  м<sup>3</sup>/с (необхідна витрата повітря  $0,01622$  м<sup>3</sup>/с).

У результаті економічного розрахунку отримані техніко-економічні параметри спроектованого вибухозахищеного електродвигуна оптимальної потужності, з яких виходить, що нова модель має переваги в порівнянні з базовою як по технічних так і по економічних параметрах. Економічний ефект у споживача на одиницю виробу за термін експлуатації 20 років складе 19026,47 грн., що підтверджує переваги використання розробленого електродвигуна в якості приводу відцентрового вентилятора.

Спроектована в даному дипломному проекті вентиляційна установка теплоелектростанції відповідає всім сучасним технічним вимогам та поставленому в проекті завданню.

					ПД 301.000.000 ПЗ	Арк..
Зм.	Арк..	№ докум.	Підпис	Дата		101

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

					ПД 301.000.000 ПЗ	Арк..
Зм.	Арк..	№ докум.	Підпис	Дата		102

”Електривід

3,5 кВт”

Номинальна частота мережі.....

50

Гц.

Напруга фазн ...

380

В.

Синхронна частота обертання.....

1500

об/хв.

<u>Номинальна частота мережі.....</u>	50	Гц.
<u>Напруга фазн ...</u>	380	В.
<u>Синхронна частота обертання.....</u>	1500	об/хв.