

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
Факультет машинобудування, електроінженерії та хімічних технологій
Кафедра електричної інженерії

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ О. КОЛЛАРОВ
 (підпис) (ініціали, прізвище)
 «___» _____ 2022 р.

Кваліфікаційна робота бакалавра

на тему Вибір системи керування електроприводом за основними параметрами
електродвигуна та режиму роботи

Виконав: студент 4 курсу, групи ЕЛКзп-19

(шифр групи)

спеціальності підготовки

141 «Електроенергетика, електротехніка та

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

електромеханіка»

Олександр БЕЗРУК

(ім'я та прізвище)

(підпис)

Керівник доц. каф., к. т. н., доц., В. КАЛИНИЧЕНКО

(посада, науковий ступінь, вчене звання, ініціали, прізвище)

(підпис)

Рецензент _____

(посада, науковий ступінь, вчене звання, ініціали, прізвище)

(підпис)

Нормоконтроль:

О. ЛЮБИМЕНКО

(підпис)

Засвідчую, що у цій випускній
кваліфікаційній роботі немає
запозичень з праць інших авторів
без відповідних посилань.

Студент _____

(підпис)

(дата)

(дата)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»

Факультет машинобудування, електроінженерії та хімічних технологій

Кафедра електричної інженерії

Освітній ступінь: бакалавр

Спеціальність: (141) електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

_____ (О. КОЛЛАРОВ)

« » _____ 2022 р.

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ
Олександр БЕЗРУКУ

_____ (ім'я та прізвище)

1. Тема роботи: Вибір системи керування електроприводом за основними параметрами електродвигуна та режиму роботи
керівник роботи Валерій КАЛИНИЧЕНКО, канд. техн. наук, доц.
_____ (ім'я та прізвище, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від _____ №

2. Строк подання студентом роботи 02 червня 2022 року

3. Вихідні дані до роботи: Асинхронний двигун серії 4А (обрати за технічним каталогом); лінійна напруга мережі живлення 380 В; спосіб

з'єднання обмоток статора прийняти «зіркою»; статичні навантажувальні дані: час відрізків циклу: $t_1=0,8$ хв; $t_2=3,0$ хв; $t_3=2,5$ хв; $t_4=1,5$ хв; $t_5=1,2$ хв;

моменти навантаження: $M_1=28$ Нм; $M_2=30$ Нм; $M_3=40$ Нм; $M_4=65$ Нм; $M_5=50$ Нм.

Відсутні параметри обрати із врахуванням вже наданих або вибрати довільно, дотримуючись обмежень, накладених вихідними даними

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Загальні відомості основних характеристик електроприводу.

2. Теоретичні відомості для визначення основних параметрів та характеристик трифазного асинхронного двигуна.

3. Вибір потужності трифазного асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором

4. Розробка заходів з охорони праці.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, якщо передбачається)

Одинадцять слайдів презентаційного матеріалу.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Ініціали, прізвище та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділи 1 – 3	В. КАЛИНИЧЕНКО		
Розділ 4	О. КОЛЛАРОВ		

7. Дата видачі завдання 05 травня 2022 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Розділ 1	05.05.22 – 12.05.22	
2.	Розділ 2	13.05.22 – 23.05.22	
3.	Розділ 3	24.05.22 – 31.05.22	
4.	Розділ 4	01.06.22 – 06.06.22	

Студент _____
(підпис)

Олександр БЕЗРУК
(ім'я та прізвище)

Керівник роботи _____
(підпис)

Валерій КАЛИНИЧЕНКО
(ім'я та прізвище)

АНОТАЦІЯ

БЕЗРУК О.О. Вибір системи керування електроприводом за основними параметрами електродвигуна та режиму роботи / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «бакалавр» за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». – ДВНЗ ДонНТУ, Луцьк, 2022.

У дипломній роботі розглянуто механічні характеристики та параметри електроприводу. Наведено структурну схему, складові частини, тенденції розвитку електроприводу. Велику увагу приділено моментам та силам опору, моментам інерції, що приведенні до валу двигуна.

Детально проаналізовано тривалість роботи механізму, що наводиться в рух, і її характер визначаючи робочий режим електродвигуна. Обґрунтовано методику визначення та розрахунку потужності електродвигунів серії 4А.

Окремо проведено вибір запобіжника для роботи електродвигуна при пускових та нормальних режимах роботи, підбір плавкої вставки за параметрами запобіжників типу ПР-2.

Розраховано та побудовано за графіком статичної навантажувальної діаграми виробничого механізму за цикл роботи потужність трифазного асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором. Також, побудовані графіки механічних характеристик трифазного асинхронного електродвигуна.

Додатково наведені каталожні дані основних технічних даних електродвигунів основного виконання ступені захисту IP44 та IP23.

Ключові слова: електропривод, механічні характеристики, запобіжник, плавка вставка, перевантажувальна здатність, ротор, реактивна потужність.

Список публікацій:

SUMMARY

BEZRUK A.A. Choice of electric drive control system according to the main parameters of the electric motor and operating mode / Final qualification work for the degree of «bachelor» in the specialty 141 «Electric power, electrical engineering and electromechanics». – State Higher Educational Institution Donetsk National Technical University, Luts'k, 2022.

In the thesis the mechanical characteristics and parameters of the electric drive are considered. The structural scheme, components, tendencies of electric drive development are given. Much attention is paid to the moments and forces of resistance, moments of inertia, which are reduced to the motor shaft.

The duration of operation of the driven mechanism and its nature determining the operating mode of the electric motor are analyzed in detail. The method of determining and calculating the power of 4A series electric motors is substantiated.

The selection of the fuse for the operation of the electric motor at starting and normal operating modes, the selection of the fusible insert according to the parameters of fuses type PR-2.

The power of a three-phase asynchronous motor with a short-circuited rotor is calculated and constructed according to the schedule of the static load diagram of the production mechanism for the cycle of work. Also, graphs of mechanical characteristics of the three-phase asynchronous electric motor are constructed.

In addition, the catalog data of the main technical data of electric motors of the main degree of protection IP44 and IP23 are given.

Key words: electric drive, mechanical characteristics, fuse, fusible insert, overload capacity, rotor, reactive power.

List of publications:

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ОСНОВНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕКТРОПРИВОДУ	10
1.1 Структурна схема та склад електроприводу.....	10
1.2 Класифікація електроприводу	16
1.3 Загальні вимоги до електроприводу.....	18
1.4 Тенденції розвитку електроприводів	19
1.5 Приведення моментів та сил опору, а також моментів інерції до валу двигуна.....	20
1.6 Механічні характеристики електроприводів	24
1.7.Рівняння руху електроприводу.....	25
2. ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ТА ХАРАКТЕРИСТИК ТРИФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГУНА	27
1.1 Основні параметри електроприводу	27
1.2 Розрахунок та вибір потужності електродвигуна.....	28
1.3 Вибір запобіжника.....	31
1.4 Основні відомості про електродвигуни серії 4А	32
3. ВИБІР ПОТУЖНОСТІ ТРИФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГУНА З КОРОТКОЗАМКНЕНИМ РОТОРОМ	37
ВИСНОВКИ	47
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	48
ДОДАТОК А. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ЕКСПЛУАТАЦІЇ	49
ДОДАТОК Б. ПАРАМЕТРИ ЗАПОБІЖНИКІВ ТИПУ ПР-2, 500 В	57
ДОДАТОК В. ОСНОВНІ ТЕХНІЧНІ ДАНІ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ОСНОВНОГО ВИКОНАННЯ, СТУПІНЬ ЗАХИСТУ IP44	58

ДОДАТОК Г. ОСНОВНІ ТЕХНІЧНІ ДАНІ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ОСНОВНОГО ВИКОНАННЯ, СТУПІНЬ ЗАХИСТУ IP23	68
ДОДАТОК Д. ПЕРЕЛІК ЗАУВАЖЕНЬ НОРМОКОНТРАЛЕРА	74

ВСТУП

Спосіб отримання енергії, необхідної для виконання механічної роботи у виробничих процесах, на всіх етапах історії людського суспільства надавав на розвиток продуктивних сил вирішальний вплив. Створення нових, досконаліших двигунів, перехід до нових видів приводів робочих машин стали великими історичними віхами по дорозі розвитку машинного виробництва. Заміна двигунів, що реалізують енергію води, що падає, паровою машиною, послужила потужним поштовхом до розвитку виробництва в минулому столітті — столітті пари. XX ст. отримало назву століття електрики насамперед тому, що основним джерелом механічної енергії став досконаліший електричний двигун і основним видом приводу робочих машин є електричний привід.

Електричний привід (ЕП) відіграє велику роль у реалізації завдань підвищення продуктивності праці в різних галузях народного господарства, автоматизації та комплексної механізації виробничих процесів. Близько 70% вироблюваної електроенергії перетворюється на механічну енергію електродвигунами (ЕД), які приводять у рух різні верстати та механізми. Сучасний ЕП відрізняється широкою різноманітністю застосовуваних засобів управління – від звичайної комутаційної апаратури до ЕОМ, великим діапазоном потужностей двигунів, діапазоном регулювання швидкостей до 10000:1 і більше, застосуванням як тихохідних, так і надшвидкісних ЕД.

Електричний привід є єдиною електромеханічною системою, електрична частина якої складається з електрорухового, перетворювального, керуючого та інформаційного пристроїв, а механічна частина включає в себе всі пов'язані рухомі маси приводу та механізму.

Широке впровадження електричного приводу у всі галузі промисловості та все зростаючі вимоги до статичних та динамічних характеристик електроприводів висувають підвищені вимоги до професійної підготовки спеціалістів у галузі електричного приводу.

У ході виконання дипломної роботи було запропоновано вирішення наступних завдань:

- 1) проаналізувати механічні характеристики та основні компоненти електроприводу, їх класифікацію;
- 2) розглянути теоретичні відомості визначення параметрів асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором;
- 3) провести розрахунок та скласти електричну схему керування трифазним асинхронним електродвигуном із короткозамкненим ротором

Дипломна робота: 73 сторінок, 11 рисунків, 5 таблиці, 5 додатків, 11 джерел.

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ОСНОВНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

1.1 Структурна схема та склад електроприводу

Електроприводом називається електромеханічна система, що складається з електрорухового, перетворювального, передавального і управляючого пристроїв, призначених для приведення в рух виконавчого механізму та управління цим рухом.

На рис. 1.1 представлено структурну схему автоматизованого електроприводу.

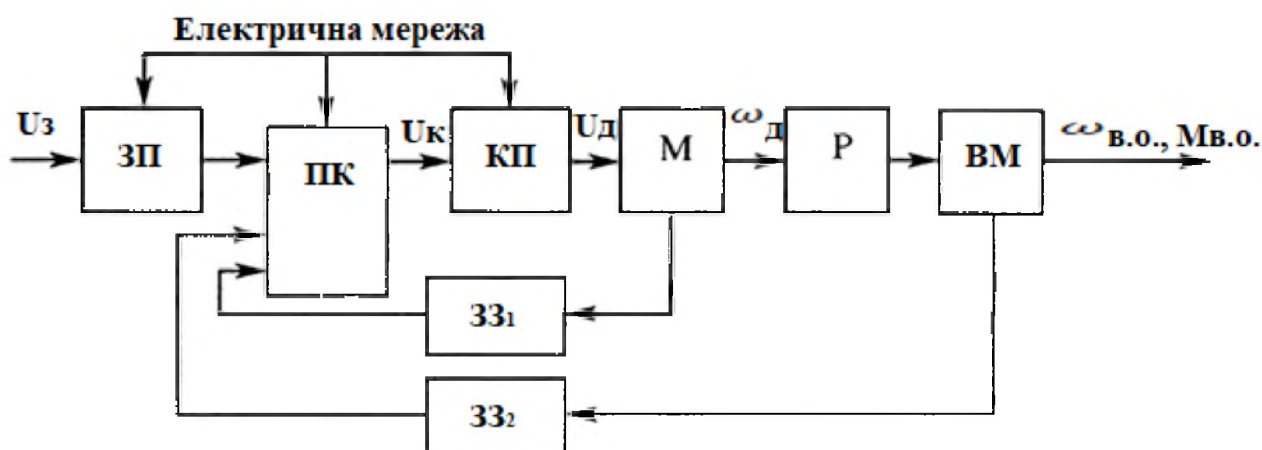


Рисунок 1.1 – Структурна схема автоматизованого електроприводу

До складу цієї схеми входять:

ЗП – задаючий пристрій;

ПК – пристрій керування;

КП – керований перетворювач електричної енергії;

М – електродвигун;

Р – редуктор;

ВМ – виконавчий механізм;

ЗЗ₁ – датчики зворотних зв'язків від електродвигунів.

$ЗЗ_2$ – датчики зворотних зв'язків від виконавчого механізму.

На схемі прийнято позначення:

U_3 – сигнал завдання, В;

U_k – сигнал управління, В;

U_d – вихідна напруга керованого перетворювача, В;

ω_d – кутова швидкість електродвигуна, 1/с;

$\omega_{в.о.}$ – кутова швидкість виконавчого органу, 1/с;

$M_{в.о.}$ – момент статичного навантаження на виконавчому органі, Нм.

Задаючий пристрій виробляє для керування командні сигнали, які можуть змінюватися в часі. Як задає пристрою можуть бути використані контролер або процесор, що здійснюють програмне управління електро-приводом.

Пристрій управління математично обробляє сигнали завдання, що надходять на нього, і сигнали зворотних зв'язків з електродвигуном і з виконавчого механізму, що дають інформацію про поточний стан електроприводу і технологічного процесу. На підставі отриманої інформації пристрій управління виробляє керуючий сигнал для керованого перетворювача, який перетворює струм, напруга, частоту або змінює інші показники якості електричної енергії, що підводиться до двигуна M для відпрацювання керуючого сигналу з необхідною точністю і швидкодією.

У сучасних електроприводах пристрій і пристрій управління можуть поєднуватися в одному електронному блоці.

Керовані перетворювачі електроенергії бувають двох типів - статичні та обертові.

До статичним керованим перетворювачам, що застосовуються в сучасних електроприводах, насамперед відносяться магнітні підсилювачі, тиристорні перетворювачі та транзисторні перетворювачі.

Основними недоліками магнітних підсилювачів є великі масогабаритні показники і висока вартість, яка не має тенденції до зниження, так як ціна на мідь і сталь не падатиме з часом.

Тиристорні перетворювачі мають постійну часу спрацювання $T_p = 0,007$ с, що ускладнює функціонування швидкодіючих електромеханічних систем. Крім того, для закриття працюючого тиристора недостатньо прибрати позитивну напругу з керуючого електрода, треба також змінити полярність напруги між анодом і катодом, що утруднює застосування тиристорів в системах постійного струму і веде до складних системних рішень.

Основним недоліком транзисторних перетворювачів донедавна була обмежена вихідна електрична потужність, що вимірюється десятками кіловат. Більш потужні електроприводи з напівпровідниковими перетворювачами будувалися на тиристорній основі.

Сучасні транзистори пропускають струм у тисячі ампер і витримують зворотну напругу в тисячі вольт. Це дозволило істотно потіснити тиристори в перетворювальній техніці.

В даний час 90% статичних перетворювачів електроенергії створено на базі транзисторів, що працюють у ключовому режимі.

До перетворювачів електроенергії, що обертаються, відносяться електромашинні підсилювачі і генератори. Особливе місце посідають електричні генератори. Вони незамінні в транспортних засобах з тяговим електроприводом, що отримує енергію від двигуна внутрішнього згорання. Тільки генератор може перетворити механічну енергію двигуна внутрішнього згорання на електричну, наприклад, на тепловозах або на гібридних електромобілях.

У сучасному тяговому електроприводі найбільш широке застосування отримали асинхронні, синхронні і вентильні машини.

У електроприводі застосовуються різні типи електродвигунів. З усіх експлуатованих у світовій промисловості електродвигунів 80% складають асинхронні трифазні короткозамкнені двигуни в силу їх простоти, надійності, компактності та помірної вартості.

Редуктори, що входять до складу електроприводу, поділяються на дві основні групи: редуктори, що підвищують кутову швидкість виконавчого валу в

порівнянні з кутовою швидкістю двигуна; редуктори, що знижують кутову швидкість виконавчого валу з відповідним збільшенням крутного моменту.

Перша група редукторів, звана також мультиплікатори, застосовується в електроприводах з високошвидкісними виконавчими механізмами, наприклад з центрифугами. Максимальна швидкість обертання електродвигуна обмежується механічною міцністю ротора при впливах відцентрових сил і якістю опорних підшипників. Максимальна лінійна швидкість руху поверхонь підшипників кочення не може перевищувати 20 м/с. Чим більший розмір підшипника, тим менша його максимальна швидкість обертання. Наприклад, максимальна швидкість обертання валу з діаметром 15 мм у підшипнику кочення становить 20 000 об/хв. Для збільшення швидкостей обертання валів замість підшипників ковзання та кочення застосовують повітряні та магнітні підвіси. Існують вентильні електродвигуни з ротором у вигляді постійного магніту без будь-яких обмоток на магнітних підвісах. Максимальна швидкість обертання такого електродвигуна становить 200 000 об/хв. Цього достатньо будь-якого виконавчого механізму. З появою високошвидкісних електродвигунів застосування редукторів, що підвищують, в електроприводі різко скоротилося. Найчастіше вал електродвигуна безпосередньо механічно з'єднується з виконавчим валом.

Редуктори, що знижують швидкість обертання виконавчого валу, широко застосовуються в електроприводі для приведення у відповідність швидкостей електродвигуна і робочої машини. Більшість виконавчих механізмів мають малу робочу швидкість обертання. Наприклад, геліоустановка, що перетворює сонячну енергію на електричну або теплову, повертається за сонцем зі швидкістю годинної стрілки. У таких установках застосовуються понижуючі редуктори з передавальним ставленням у кількасот тисяч.

Встановлена потужність електроприводу дорівнює:

$$P_{\text{вст}} = \omega_{\text{н}} \cdot M_{\text{н}} \cdot \eta_{\text{к.л.}}$$

де: ω_H – номінальна кутова швидкість двигуна, 1/с;

M_H – номінальний момент двигуна, Нм;

$\eta_{к.л.}$ – ККД кінематичного ланцюга від валу двигуна до виконавчого валу, включаючи редуктор.

При певній встановленій потужності електроприводу, що менше номінальної швидкості двигуна, то більше вписувалося його номінальний момент, пропорційний масі і габаритам двигуна.

Високошвидкісний електродвигун разом з редуктором значно легше і менше тихохідного двигуна з номінальним моментом, рівним моменту на вихідному валу редуктора. З цієї простої причини, наприклад, в авіації, де дуже значущі масогабаритні показники літакового обладнання, застосовуються електродвигуни з високою номінальною швидкістю $n_H=9000-12000$ об/хв.

До недоліків редукторів належать:

- втрати енергії в частинах, що труться;
- наявність кінематичного люфту;
- наявність пружної механічної податливості;
- наявність зубцевих збурень.

Розглянемо ці недоліки.

ККД однієї зубчастої пари шестерень дорівнює $\eta_{з.п.} = 0,98$. Відповідно до ККД редуктора, що становить n зубчастих пар, дорівнює $\eta_{р.з.} = 0,98^n$.

ККД однієї черв'ячної пари дорівнює $\eta_{ч.п.} = 0,8$. Відповідно к.п.д. редуктора, що складається з n черв'ячних пар, дорівнює $\eta_{ч.п.} = 0,8^n$.

Слід зазначити, що втрати в редукторі значно менше втрат в тихохідному електродвигуні відповідного варіанта безредукторного електроприводу.

Кінематичний люфт, обумовлений зазорами між зубами шестерень і в посадках валів, проявляється при пуску і реверсі електроприводу, а також при зміні знака моменту статичного навантаження. Це виявляється у невідповідності кутів і швидкостей обертання електродвигуна і виконавчого механізму, що є неприпустимим у високоточних електроприводах, застосовуваних, наприклад, у

стежать системах. Крім того, кінематичний люфт обумовлює виникнення ударних навантажень в механічній передачі. З цієї причини електропривід, наприклад, повороту екскаватора, при пуску та реверсі працює спочатку в режимі вибірки люфту і лише потім у робочому режимі.

Пружна механічна податливість редуктора проявляється в скручуванні вхідного валу щодо вихідного валу при передачі моменту навантаження на кут:

$$\varphi_{\text{пруж}} = \frac{M}{C_{\text{ред}}}$$

де: M – переданий момент навантаження, Нм;

$C_{\text{ред}}$ – механічна жорсткість редуктора, Нм/рад.

Скручування валів відбувається за рахунок деформації навантажених частин редуктора, як це відбувається у пружині. У цьому випадку електропривод не можна розглядати як одномасову систему. В уточнених розрахунках механічну частину електроприводу розглядають як двомасову систему – електродвигун і виконавчий механізм з пружним елементом між ними (рис. 1.2).

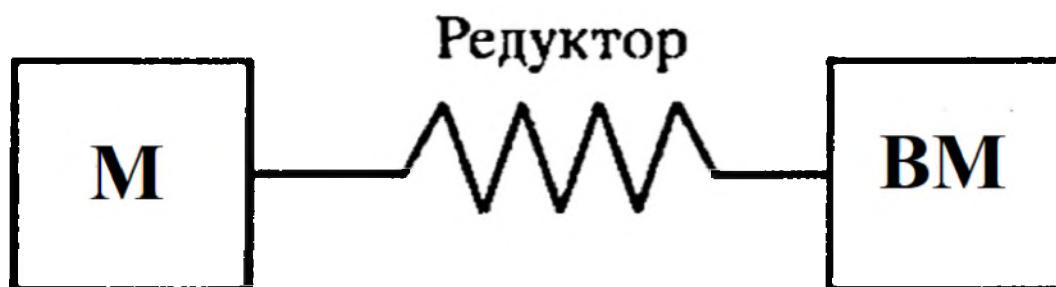


Рисунок 1.2 – Двомасова система механічної частини електроприводу

Наявність у системі пружного елемента та кінематичного люфту в деяких випадках призводить до виникнення автоколивань у замкнених електроприводах.

Неідеальність поверхонь зубів шестерень призводить до нерівномірності кутової швидкості вихідного валу редуктора при рівномірному обертанні вхідного валу (рис. 1.3). Це явище небажане у високоточних електроприводах.

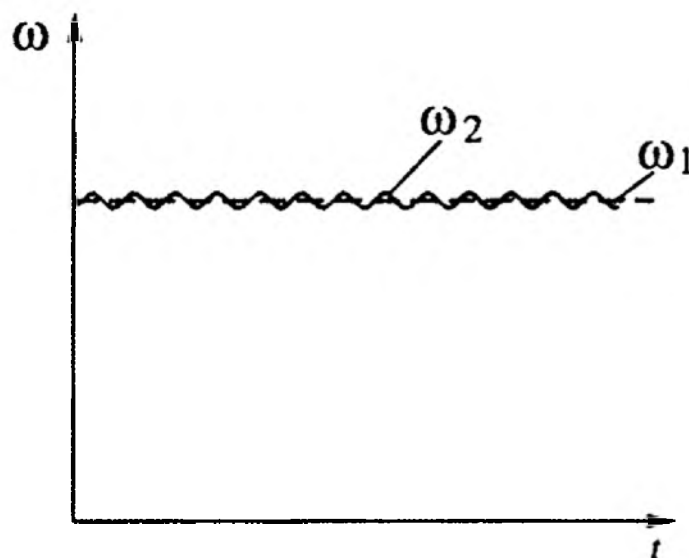


Рисунок 1.3 – Прояв зубцевих обурень у редукторі: ω_1 – кутова швидкість вхідного валу; ω_2 – кутова швидкість вихідного валу, наведена до вхідного валу

Для усунення зазначених недоліків у високоточних системах застосовують безредукторний електропривод, де вал електродвигуна є виконавчим валом, незважаючи на подорожчання та збільшення масогабаритних показників виробу в цілому.

Датчики зворотних зв'язків ДЗЗ₁ та ДЗЗ₂ застосовуються в електроприводі для отримання інформації про стан електродвигуна та виконавчого механізму з метою покращення якості технологічного процесу [1,2].

1.2 Класифікація електроприводу

Різноманітні електроприводи (ЕП) можна розділити на певні типи за такими ознаками.

1. За призначенням:

- ЕП головного руху;

- допоміжні ЕП (переміщення інструментів, заготовок, подача технологічних рідин, вентиляція та ін.).

2. У зв'язку з механічною системою (МС):

- груповий (один електродвигун (ЕД) на кілька механізмів);
- індивідуальний (один ЕД однією МС);
- багаторуховий (кілька ЕД на один вал);
- взаємопов'язаний (кілька ЕД та кілька МС, під час роботи яких підтримується задане співвідношення швидкостей, навантажень або положень робочих органів).

3. За типом МС:

- редукторний;
- безредукторні.

4. За родом струму:

- постійного струму;
- змінного струму.

5. За типом електродвигуна:

- двигун постійного струму незалежного збудження;
- двигун постійного струму послідовного збудження;
- двигун постійного струму змішаного збудження;
- трифазний асинхронний двигун із короткозамкненим ротором;
- трифазний асинхронний двигун із фазним ротором;
- однофазний асинхронний двигун;
- двофазний регульований асинхронний двигун;
- лінійний асинхронний двигун;
- трифазний синхронний двигун;
- вентильний двигун;
- кроковий двигун;
- спеціальний двигун.

6. На вигляд перетворювача електроенергії:

- із напівпровідниковим перетворювачем (тиристорний, транзисторний);

- з електромашинним перетворювачем (генератор, електромашинний підсилювач);

- із магнітним підсилювачем.

7. За рівнем автоматизації:

- неавтоматизований – ручне управління;
- автоматизований – ЕП з автоматичним регулюванням за заданими операторами параметрами;

- автоматичний – ЕП, в якому керуюча дія виробляється без участі оператора.

8. За ступенем керованості:

- нерегульований - одна робоча швидкість, параметри приводу змінюються тільки в результаті впливів, що обурюють;

- регульований – швидкість змінюється під впливом керуючого пристрою;

- програмно-керований - працює за заданою програмою;

- слідує – відпрацьовує довільно змінюється задаючий сигнал з певною точністю;

- адаптивний – автоматично змінює структуру та параметри системи управління при зміні умов роботи машини з метою вироблення оптимального режиму[3].

1.3 Загальні вимоги до електроприводу

Вимоги до електроприводу мають специфіку стосовно конкретного призначення та встановлюються стандартами. У загальному випадку основні вимоги до електроприводу можна сформулювати таким чином.

1. Висока продуктивність виконавчого механізму. Електропривод повинен забезпечувати потрібні швидкості, моменти, прискорення при розгоні та гальмуванні.

2. Широкий діапазон регулювання швидкості – до десятків тисяч.

3. Висока точність позиціонування та стеження.

4. Стабільність характеристик, що особливо має значення у питаннях повторюваності деталей, що виготовляються.
5. Надійність роботи.
6. Енергозберігання.
7. Доступна вартість [1,4].

1.4 Тенденції розвитку електроприводів

1. Наближення електродвигуна до виконавчого механізму. Обмеження додаткового відношення кінематичного ланцюга $i_{к.л.}$ в електроприводі призводить до спрощення механічної частини, збільшення її жорсткості, поліпшення динамічних якостей і підвищення точності передачі руху виконавчому механізму. Однак застосування прямої механічної передачі від двигуна до виконавчого механізму можливе тільки при широкому діапазоні регулювання швидкості, і має місце тенденція застосування лінійних електродвигунів, а також прямоходових і поворотних електромагнітів.

2. Застосування спеціальних електродвигунів. У сучасному електроприводі знаходять широке застосування малоінерційні і високомоментні двигуни з вбудованими допоміжними пристроями і з датчиками зворотних зв'язків, що забезпечує необхідні статичні та динамічні характеристики на всіх діапазонах регулювання швидкостей, які досягають десятків тисяч, а також необхідні захисту.

3. Удосконалення елементної бази. Створення сучасних силових перетворювачів та схем управління пов'язане з розвитком напівпровідникової техніки. Створюються тиристорні та транзисторні силові модулі з використанням спеціалізованих інтегральних схем, що дозволяє покращити керованість, надійність та масогабаритні показники електроприводів.

4. Поліпшення якості руху механічних частин електроприводу. Удосконалення електроприводу пов'язане зі збільшенням обсягу інформації, що переробляється. Крім задатчиків і датчиків параметрів руху – кутів повороту, швидкостей та прискорень основних валів у сучасному приводі широко

застосовуються додаткові джерела інформації про стан електроприводу, протікання технологічного процесу та умови зовнішнього середовища. Це дозволяє створити систему адаптивного управління, згладити негативний вплив кінематичних люфтів і пружностей, підвищити швидкодію та розширити функціональні можливості електроприводу.

5. Надання нових складних функцій, ускладнення законів управління з одночасним спрощенням механічної частини. Пружна податливість механічної частини під дією навантаження компенсується за рахунок системи управління та поліпшення динамічних характеристик електроприводу. У верстатах підвищується точність обробки деталей з похибкою 10^{-2} – $10^{-3}\%$.

6. Використання систем цифрового та мікропроцесорного управління. Подібні системи є невід'ємною частиною сучасного електроприводу з низки причин:

- універсальність та простота сполучення з керуючою ЕОМ;
- перепрограмування [1,3,5].

1.5 Приведення моментів та сил опору, а також моментів інерції до валу двигуна

Механічна частина електроприводу може бути складним кінематичним ланцюгом з великим числом елементів, що здійснюють обертальні або поступальні рухи (рис. 1.4).

На рис. 1.4 прийнято такі позначення:

M_d – момент двигуна, Нм;

ω_d – кутова швидкість двигуна, 1/с;

i_1 – передатне відношення першого ступеня кінематичного ланцюга;

M_1 – переданий крутний момент першого ступеня кінематичного ланцюга, Нм;

ω_1 – кутова швидкість валу першого ступеня кінематичного ланцюга, 1/с;

i_n – передатне відношення останнього ступеня кінематичного ланцюга;

$M_{в.о.}$ – момент опору виконавчого органу, Нм;

$\omega_{в.о.}$ – кутова швидкість виконавчого механізму, 1/с;

G – вага вантажу, кг;

V – швидкість поступального руху вантажу, м/с.

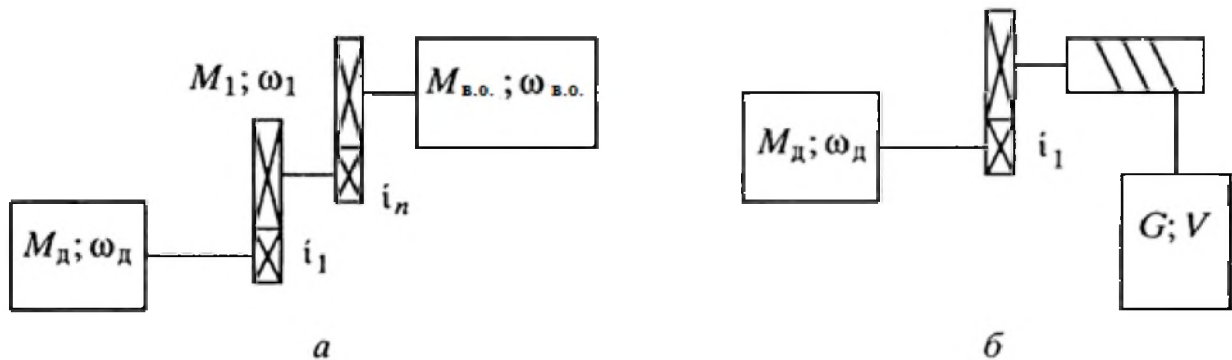


Рисунок 1.4 – Кінематичні схеми електроприводів з виконавчими механізмами, що здійснюють обертальний (а) та поступальний (б) рухи

Моменти опору виконавчих механізмів можна розділити на дві категорії – реактивні та активні моменти.

Реактивні моменти перешкоджають руху приводу та змінюють свій знак при зміні напрямку обертання. До них відносяться, наприклад, моменти від тертя, різання тощо.

Активні моменти зберігають свої знаки при зміні напрямку обертання приводу і можуть як перешкоджати, так і сприяти руху. Наприклад, момент підйомного механізму зберігає свій знак як при підйомі, так і при опусканні вантажу.

Кінематичну схему електроприводу можна звести до однієї узагальненої механічної ланки, що має еквівалентну масу з моментом інерції J , на яку впливають електромагнітний момент двигуна M і сумарний, приведений до валу двигуна статичний момент M_c , що включає всі механічні втрати в системі, у тому числі механічні втрати у двигуні.

Приведення моментів опору від однієї осі до іншої може бути вироблено на підставі енергетичного балансу системи. При цьому втрати потужності в проміжних передачах враховуються введенням у розрахунки відповідного ККД – η_n . На основі рівності потужностей отримаємо:

$$M_{\text{в.о.}} \cdot \omega_{\text{в.о.}} \cdot \frac{1}{\eta_{\text{к.л.}}} = M_{\text{с}} \cdot \omega_{\text{д}}$$

Звідки:

$$M_{\text{с}} = M_{\text{в.о.}} \cdot \frac{\omega_{\text{в.о.}}}{\omega_{\text{д}}} \cdot \frac{1}{\eta_{\text{к.л.}}} = \frac{M_{\text{в.о.}}}{i_{\text{к.л.}} \cdot \eta_{\text{к.л.}}}$$

де: $M_{\text{в.о.}}$ – момент опору виконавчого механізму, Нм;

$M_{\text{с}}$ – той самий момент статичного навантаження, наведений до валу двигуна, Нм;

$\omega_{\text{в.о.}}$ – кутова швидкість виконавчого органу, 1/с;

$\omega_{\text{д}}$ – кутова швидкість двигуна, 1/с;

$i_{\text{к.л.}} = \frac{\omega_{\text{в.о.}}}{\omega_{\text{д}}}$ – передавальне число кінематичного ланцюга;

$\eta_{\text{к.л.}}$ – ККД кінематичного ланцюга.

За наявності кількох передач між двигуном і механізмом з передавальними числами $i_1, i_2, \dots, i_n$ та відповідними ККД $\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_n$ статичний момент, наведений до валу двигуна, визначається формулою:

$$M_{\text{с}} = M_{\text{в.о.}} \cdot \frac{1}{i_1, i_2, \dots, i_n} \cdot \frac{1}{\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_n}$$

Приведення сил опору провадиться аналогічно:

$$F_{\text{в.о.}} \cdot V \cdot \frac{1}{\eta_{\text{к.л.}}} = M_{\text{с}} \cdot \omega_{\text{д}}$$

Приведення моментів інерції до однієї осі обертання засноване на тому, що сумарний запас кінетичної енергії рухомих частин приводу залишається незмінним. За наявності обертових частин з моментами інерції $J_{\text{д}}, J_1, J_2, \dots, J_{\text{в.о.}}$ та з кутовими швидкостями $\omega_{\text{д}}, \omega_1, \omega_2, \dots, \omega_{\text{в.о.}}$ можна записати:

$$J \frac{\omega_{\text{д}}^2}{2} = J_{\text{д}} \frac{\omega_{\text{д}}^2}{2} + J_1 \frac{\omega_1^2}{2} + J_2 \frac{\omega_2^2}{2} + \dots + J_{\text{в.о.}} \frac{\omega_{\text{в.о.}}^2}{2}$$

Звідки результуючий або сумарний момент інерції, наведений до валу двигуна:

$$\begin{aligned} J &= J_{\text{д}} + J_1 \left(\frac{\omega_1}{\omega_{\text{д}}} \right)^2 + J_2 \left(\frac{\omega_2}{\omega_{\text{д}}} \right)^2 + \dots + J_{\text{в.о.}} \left(\frac{\omega_{\text{в.о.}}}{\omega_{\text{д}}} \right)^2 = \\ &= J_{\text{д}} + \frac{J_1}{i_1^2} + \frac{J_2}{i_2^2} + \dots + \frac{J_{\text{в.о.}}}{i_{\text{в.о.}}^2} \end{aligned}$$

Приведення мас, що рухаються поступально, здійснюється також на підставі рівності запасу кінетичної енергії:

$$\frac{mV^2}{2} = J \frac{\omega_{\text{д}}^2}{2}$$

Звідси момент інерції, наведений до валу двигуна:

$$J = m \left(\frac{V}{\omega_{\text{д}}} \right)^2$$

Якщо механізм має обертальні та поступально рухомі жосменти, то сумарний приведений до валу двигуна момент інерції [5,6]:

$$J_d + \frac{J_1}{i_1^2} + \frac{J_2}{i_2^2} + \dots + \frac{J_n}{i_n^2} + m\left(\frac{V}{\omega_d}\right)^2$$

1.6 Механічні характеристики електроприводів

Механічною характеристикою електроприводу називається залежність його кутової швидкості від крутного моменту: $\omega=f(M)$.

Різні типи електродвигунів та виконавчих механізмів мають різні механічні характеристики (рис. 1.5).

Ступінь зміни швидкості зі зміною моменту у різних електроприводів різна і характеризується жорсткістю їх механічних характеристик.

Жорсткість механічної характеристики електроприводу – це відношення різниці крутних моментів до відповідної різниці кутових швидкостей:

$$\beta = \frac{(M_2 - M_1)}{(\omega_2 - \omega_1)} = \frac{\Delta M}{\Delta \omega} = \frac{\partial M}{\partial \omega}$$

Жорстка механічна характеристика – це характеристика, при якій швидкість зі зміною моменту змінюється незначно.

При м'якій механічній характеристиці зі зміною моменту швидкості змінюється значно.

Під статичною стійкістю розуміється такий стан встановленого режиму роботи приводу, коли при випадково виниклому відхиленні швидкості від значення привід повернеться в точку встановленого режиму. Привід статично стійкий, якщо виконується умова:

$$\beta - \beta_{в.о.} < 0$$

де: β – жорсткість механічної характеристики електродвигуна, Нмс;
 $\beta_{в.о.}$ – жорсткість механічної характеристики виконавчого органу Нмс.

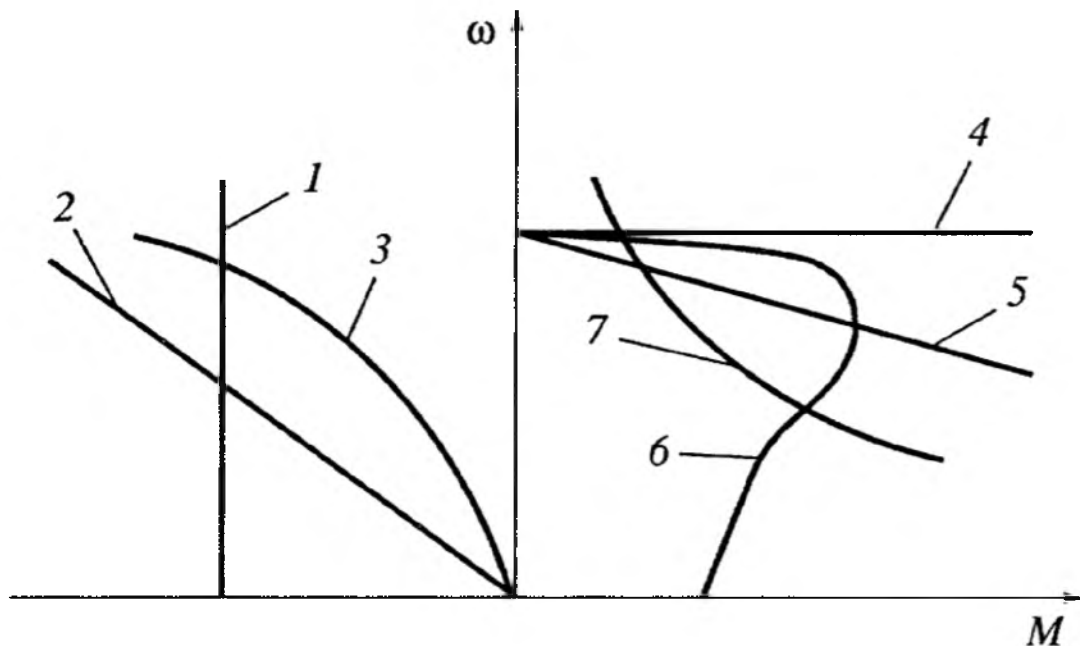


Рисунок 1.5 – Типові механічні характеристики виконавчих механізмів та електродвигунів:

1 – $M_c = \text{const}$ – сухе тертя; 2 – $M_c = k\omega$ – в'язке тертя; 3 – $M_c = k\omega^x$ – вентиляторна характеристика; 4 – синхронний двигун; 5 – двигун постійного струму незалежного збудження; 6 – асинхронний двигун; 7 – двигун постійного струму послідовного збудження

1.7. Рівняння руху електроприводу

При змінах навантаження, пуску, гальмуванні, реверсі електропривід працює в перехідних режимах зі змінами кутової швидкості обертання. Виникає інерційний або динамічний момент:

$$M_d = J \frac{d\omega}{dt}$$

де: J – сумарний момент інерції електроприводу, приведений до валу двигуна, кгм^2 ;

Рівняння рівноваги моментів у загальному випадку має такий вигляд:

$$\pm M \pm M_c \pm J \frac{d\omega}{dt} = 0$$

де: M – момент двигуна, Нм;

M_c – момент статичного навантаження, Нм.

Знаки членів рівняння змінюються залежно від виду перехідного режиму електроприводу. Наприклад, при пуску електроприводу з реактивним або гальмуючим активним моментом рівняння набуде вигляду [1,2,3]:

$$M - M_c = J \frac{d\omega}{dt}$$

2. ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ТА ХАРАКТЕРИСТИК ТРИФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГУНА

1.1 Основні параметри електроприводу

Електроприводом називають електромеханічну систему, призначену для приведення в рух виконавчих органів робочої машини та управління цим рухом.

Найпростіший електропривод складається з електродвигуна, що живиться безпосередньо від мережі постійного або змінного струму, передавального пристрою та електричних апаратів та приладів управління та захисту.

Параметрами електроприводу є частота обертання, навантаження, діапазон регулювання, жорсткість механічної характеристики та електрична постійна часу.

Тривалість роботи механізму, що наводиться в рух, і її характер визначають робочий режим електродвигуна. Відповідно до ГОСТ 183-74 встановлено вісім номінальних режимів роботи електричних двигунів, що умовно позначають S1-S8. Режими роботи S1-S3 прийнято вважати основними.

Номінальні дані електродвигунів у цих режимах включаються до паспортних даних та каталогів. Режими S4-S8 уточнюють основні.

S1. Режим тривалого навантаження. Характеризується досить довгою роботою при постійному навантаженні.

S2. Режим короткочасного навантаження. Характеризуючою величиною є тривалість короткочасної роботи. Встановлено стандартні тривалості короткочасної роботи: 10, 30, 60, 90 хв.

S3. Режим повторно-короткочасного навантаження. Складається з періодів роботи та відключеного нерухомого стану для режиму S3, що характеризує величину тривалості включення:

$$ПВ = \frac{\sum t_p}{\sum t_p + \sum t_{\pi}} \cdot 100\% = \frac{\sum t_p}{t_{\pi}} \cdot 100\%$$

де: $\sum t_p$ – час роботи електроприводу;

$\sum t_{\pi}$ – час відключеного стану (час паузи);

$t_{\text{ц}}$ – тривалість циклу роботи електроприводу.

Нормовані значення відносної тривалості включення: 15, 25, 40, 60%. Тривалість одного циклу, якщо немає інших вказівок, приймається не більше 10 хвилин.

S4. Режим повторно-короткочасного навантаження, включаючи запуск.

S5. Режим повторного короткочасного навантаження, включаючи електричне гальмування.

S6. Режим тривалої роботи електроприводу при змінному навантаженні.

S7. Режим тривалого навантаження, включаючи електричне гальмування.

S8. Режим роботи при періодичній зміні частоти обертання та навантаження [7,8].

1.2 Розрахунок та вибір потужності електродвигуна

Забезпечення надійності електроприводів залежить від правильного вибору потужності та конструкції електродвигуна, що відповідає умовам довкілля. Розрахункову потужність електродвигуна визначають за графіком статичного навантаження $P(t)$ або $M(t)$. За отриманою потужністю $P_{\text{расч}}$ для відомих роду струму, напруги мережі, частоти обертання, кліматичних умов і конструктивного виконання за каталогом вибирають електродвигун з номінальною потужністю розрахунку $P_{\text{ном}} \geq P_{\text{расч}}$.

Тривалий режим із постійним навантаженням (S1). При такому навантаженні на валу номінальна потужність електродвигуна приймається рівною розрахунком $P_{\text{ном}} \geq P_{\text{расч}}$.

Тривалий режим під час змінного навантаження (S6). Визначення розрахункової потужності електродвигуна для режиму S6 можна виконати

шляхом еквівалентних величин. За графіком навантажувальним діаграми $M(t)$ або $P(t)$ розраховується еквівалентний момент або потужність:

$$M_{\text{екв}} = \sqrt{\frac{M_1^2 t_1 + M_2^2 t_2 + \dots + M_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}}$$

$$P_{\text{расч}} = M_{\text{расч}} \cdot \Omega$$

Кутова частота обертання ротора Ω визначається у попередніх розрахунках виразом:

$$\Omega \cong \Omega_c = \frac{\pi n_c}{30}$$

$$P_{\text{екв}} = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2 + \dots + P_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}}$$

Обраний електродвигун необхідно перевірити по перевантажувальній здатності та пусковому моменту:

$$M_{\text{max}}^{\text{дв}} = m_k \cdot M_{\text{ном}} \geq M_{\text{max}}^{\text{нав}}$$

$$M_{\text{п}}^{\text{дв}} = m_{\text{п}} \cdot M_{\text{ном}} \geq M_1^{\text{нав}}$$

$$m_k = \frac{M_{\text{max}}}{M_{\text{ном}}}$$

$$m_{\text{п}} = \frac{M_{\text{п}}}{M_{\text{ном}}}$$

m_k та m_n – значення з каталогу для обраного типорозміру електродвигуна.

У трифазних асинхронних електродвигунів електромагнітний момент пропорційний квадрату напруги U_1 у фазі обмотки статора, тому при перевірці на перевантажувальну здатність і по пусковому моменту необхідно врахувати можливе допустиме зниження напруги. Стандартами на трифазні асинхронні електродвигуни допускаються відхилення напруги від номінального значення – 5% ÷ +10%. Тому для цих типів електродвигунів має виконуватись така умова:

$$(0,95)^2 \cdot M_{max}^{дв} \geq M_{max}^{нав}$$

$$(0,95)^2 \cdot M_n^{дв} \geq M_1^{нав}$$

Якщо максимальний момент або M_1 навантаження виявляться більшими, чим може розвинути вибраний електродвигун, то обирають електродвигун більшої потужності.

Повторно-короткочасний режим (S3). Повторно короткочасний режим характеризується тривалістю включення ПВ%. По діаграмі навантаження визначають дійсне значення ПВ%. Час циклу не повинен перевищувати десять хвилин, інакше електродвигун повинен вибиратися як для тривалого режиму. Вибір номінальної потужності електродвигуна виконують методом еквівалентних величин. Розраховані значення еквівалентних величин $M_{екв}$ і $P_{екв}$ призводять до потужності за стандартної тривалості включення $PВ_{ном}\%$.

$$P_{расч} = P_{екв} \cdot \sqrt{\frac{ПВ}{ПВ_{ном}}} \text{ або}$$

$$P_{\text{расч}} = M_{\text{екв}} \cdot \Omega_c \cdot \sqrt{\frac{ПВ}{ПВ_{\text{ном}}}}$$

При цьому еквівалентна потужність $P_{\text{екв}}$ та еквівалентний момент $M_{\text{екв}}$ розраховуються тільки для часу роботи:

$$P_{\text{екв}} = \sqrt{\frac{\sum P_n^2 \cdot t_{pn}}{\sum t_p}}$$

$$M_{\text{екв}} = \sqrt{\frac{\sum M_n^2 \cdot t_{pn}}{\sum t_p}}$$

де: t_{pn} – час роботи в n-му режимі;

P_n та M_n – потужність і момент у n-му режимі.

Якщо для приводу виробничого механізму, що працює в повторно-короткочасному режимі, встановлюється електродвигун, призначений для тривалої роботи, то при розрахунку еквівалентного моменту $M_{\text{екв}}$ та еквівалентної потужності $P_{\text{екв}}$ треба враховувати і час пауз [7,8]:

$$M_{\text{екв}} = \sqrt{\frac{\sum M_n^2 \cdot t_n}{\sum t_p + \sum t_{\text{п}}}}$$

$$P_{\text{екв}} = \sqrt{\frac{\sum P_n^2 \cdot t_n}{\sum t_p + \sum t_{\text{п}}}}$$

1.3 Вибір запобіжника

Запобіжники призначені для захисту електричних ланцюгів від великих струмів при перевантаженнях та при коротких замиканнях. Найбільшого поширення набули запобіжники з плавкою вставкою. За конструктивним виконанням розрізняють пробкові, патронні, трубчасті та пластинчасті запобіжники. Сила струму, на яку розрахована плавка вставка, що вказується на її корпусі. Обмовляється, також, максимально допустима напруга, при якій може використовуватися запобіжник:

При виборі плавкої вставки для захисту електродвигуна необхідно враховувати пусковий струм:

$$I_{\text{ном}} \geq \frac{I_{\text{п}}}{\alpha}$$

де: $I_{\text{ном}}$ – номінальний струм плавкою вставки, при якому вставка довго працює, не нагріваючись вище допустимої температури;

$I_{\text{п}}$ – пусковий лінійний струм електродвигуна;

α – 2,5 якщо тривалість пуску вбирається у 10 с.;

α – якщо час запуску більше 10 с.

При виборі типу запобіжника захисту асинхронного електродвигуна прийняти $\alpha = 2,5$.

При захисті асинхронного електродвигуна встановлюються запобіжники тільки в лінійних проводах, установка запобіжника нейтральному дроті забороняється. Параметри деяких типів запобіжників наведено у Додатку Б [7,8].

1.4 Основні відомості про електродвигуни серії 4А

Трифазні асинхронні електродвигуни серії 4А були розроблені 1969-1972 р.р.

Серія трифазних асинхронних електродвигунів на напругу до 1000В залежно від робочих властивостей та умов роботи електродвигунів включає в себе основне виконання та модифікації: електродвигуни з підвищеним пусковим

моментом; електродвигуни з підвищеним ковзанням; багатошвидкісні електродвигуни; електродвигуни із фазним ротором; електродвигуни з вбудованим електромагнітним гальмом; малопотужні електродвигуни, а також спеціалізовані виконання за умовами навколишнього середовища та вузькоспеціалізовані електродвигуни для приводу певних пристроїв.

Трифазні асинхронні електродвигуни призначені для роботи з мережі змінної напруги частоти 50 Гц. Вони виготовляються на такі номінальні напруги (основне виконання), (див. таблицю 2.1).

Таблиця 2.1. – Номінальна напруга трифазних асинхронних електродвигунів

Номінальна напруга, В	220, 380	220,380, 660	220/380 380/660	380/660
Потужність, кВт	0,06÷0,37	0,55÷11,0	15,0÷110	132÷400

Трифазні асинхронні електродвигуни можуть нормально експлуатуватися при відхиленнях напруги мережі живлення від номінального значення в межах $-5\% \div +10\%$ та відхиленнях частоти на $\pm 2\%$ від номінального значення.

Серія має 17 висот осі обертання від 50 до 355 мм. У серії електродвигунів 4А передбачено три виконання за ступенем захисту (ГОСТ 17494-72):

- IP44 для електродвигунів з висотами осі обертання 50÷355 мм (закрите виконання);
- IP23 для електродвигунів з висотами осі обертання 160÷355 мм (захищене виконання);
- IP54 для електродвигунів спеціалізованих виконань (пилозахищене виконання).

Сердечники статора та ротора зібрані зі штампованих листів електротехнічної сталі завтовшки 0,5 мм. Обмотки статорів виконуються ізолюваним дротом, на роторі електродвигуни мають литу короткозамкнену обмотку з алюмінію марки А7 або А5 (ГОСТ 11069-74).

Додаткові відомості про геометрію активної частини, обмотувальні дані, підшипники, габаритні та настановні розміри можна отримати з довідників.

Для трифазних асинхронних електродвигунів встановлена наступна структура позначення типорозміру за рис. 2.1.

4A	H	-	355	M	-	12	Y	3
↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Рисунок 2.1 – Структура позначення типорозміру трифазних асинхронних електродвигунів

Де: 1 – назва серії трифазних асинхронних електродвигунів загальнопромислового застосування;

2 – виконання електродвигуна за способом захисту («H» – виконання IP23, відсутність літери означає ступінь захисту IP44);

3 – виконання електродвигуна за матеріалом станини та щитів («A» – станина та щити алюмінієві, «X» – станина алюмінієва, щити чавунні або навпаки, відсутність літери означає, що станина і щити чавунні чи сталеві);

4 – висота осі обертання (2 або 3 цифри);

5 – умовна довжина станини: літери «S» – коротка (short), «M» – середня (middle), «L» – довга (long);

6 – довжина сердечника статора («A» – менша, «B» – більша, відсутність даного знака означає одну довжину у встановленому типорозмірі);

7 – число полюсів: 2, 4, 6, 8, 10, 12;

8 – кліматичне виконання згідно з ГОСТ 15150-69 («Y» – для помірного клімату);

9 – категорія розміщення за ГОСТ 15150-69 (3 – відповідає роботі електродвигуна у закритих приміщеннях з природною вентиляцією без штучно регульованих кліматичних умов експлуатації).

З характеристиками кліматичного виконання електричних машин, категоріями розміщення обладнання, нормами кліматичних факторів зовнішнього середовища можна ознайомитись за довідниками окремо.

Основні технічні показники трифазних асинхронних електродвигунів із короткозамкненим ротором наведено у Додатку В для основного виконання зі ступенем захисту IP44 та у Додатку Г зі ступенем захисту IP23.

Електродвигуни з підвищеним ковзанням призначені для приводу механізмів з пульсуючим навантаженням (наприклад, компресорів, пресів), а також механізмів, що працюють в повторно (S3) і переміжному (S6) режимах. Можливе використання цих електродвигунів у режимах (S2) та (S4). Електродвигуни виготовляються зі ступенем захисту IP44, у позначенні типорозміру мають додатково літеру «С» після позначення серії, наприклад 4AC200L6Y3.

У таблиці включені значення: номінальної потужності $P_{2\text{ном}}$; коефіцієнт корисної дії та коефіцієнт потужності $\cos\phi$ при навантаженні від 25 до 125% номінальної для двигунів основного виконання, для електродвигунів з підвищеним ковзанням коефіцієнт корисної дії та $\cos\phi$ відповідні потужностям $P_{2\text{ном}}$ при ПВ = 40% або P_2 при ПВ не дорівнює 40%.

Показники механічної характеристики представлені коефіцієнтами:

$$m_{\text{п}} = \frac{M_{\text{п}}}{M_{\text{ном}}}$$

$$m_k = \frac{M_{\text{max}}}{M_{\text{ном}}}$$

$$m_m = \frac{M_{\text{min}}}{M_{\text{ном}}}$$

де: $M_{\text{ном}} = \frac{30 \cdot P_{2\text{ном}}}{\pi \cdot (1 - s_{\text{ном}}) \cdot n_c}$ – номінальний електромагнітний крутний момент

при ковзанні $s = s_{\text{ном}}$;

$M_{\text{п}}$ – початковий пусковий електромагнітний крутний момент при ковзанні $s = 1$;

M_{min} – мінімальний електромагнітний крутний момент при ковзанні $s = 0,7$;

M_{max} – максимальний електромагнітний крутний момент при ковзанні $s = s_{\text{к}}$;

Відношення початкового пускового струму до номінального оцінено коефіцієнтом:

$$i_{\text{п}} = \frac{I_{\text{п}}}{I_{\text{ном}}}$$

Технічні дані електродвигунів, модифікацій та інших спеціалізованих виконань, можна отримати у технічних довідниках [7,8].

3. ВИБІР ПОТУЖНОСТІ ТРИФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГУНА З КОРОТКОЗАМКНЕНИМ РОТОРОМ

1. Побудувати графік статичної навантажувальної діаграми виробничого механізму за цикл роботи за даними таблиці 3.1. Визначити режим роботи електроприводу.

2. Розрахувати еквівалентну потужність або момент наведеного рух механізму за цикл роботи.

3. З урахуванням частоти обертання приводного механізму вибрати типорозмір трифазного асинхронного електродвигуна із короткозамкненим ротором серії 4А або серії АІР. Ступінь захисту електродвигуна встановити самостійно.

4. Розрахувати електромагнітні моменти: номінальний, пусковий та максимальний (критичний). Перевірити вибраний електродвигун на перевантажувальну здатність та пусковий момент з урахуванням можливого зниження напруги мережі на 5%.

5. Побудувати механічні характеристики трифазного асинхронного електродвигуна $M(n)$ та $M(s)$.

6. Розрахувати лінійний струм мережі живлення при номінальному навантаженні і при пуску електродвигуна в хід.

7. Обрати запобіжник для захисту електродвигуна від струмів, що виникають при великих перевантаженнях та при коротких замиканнях. Дані щодо деяких типів запобіжників наведено у Додатку Б.

8. Визначити реактивну потужність електродвигуна за номінального навантаження.

9. Розрахувати енергію, що споживається електродвигуном з мережі за цикл роботи:

$$W = \sum \frac{P_{2i}}{\eta_i \cdot \cos \varphi_i}$$

де: $i=1,2,3 \dots$ – номер режиму у циклі роботи.

10. Скласти електричну схему керування трифазним асинхронним електродвигуном із короткозамкненим ротором.

Визначити потужність та вибрати типорозмір трифазного асинхронного електродвигуна з короткозамкненим ротором та синхронною частотою обертання магнітного поля n_c для приводу виробничого механізму, статична діаграма навантаження якого представлена значеннями $M(t)$ в таблиці 3.1.

Перевірити вибраний електродвигун на перевантажувальну здатність; визначити лінійний струм, що споживається електродвигуном з мережі, що споживається реактивну потужність та активну енергію за цикл роботи. Лінійне напруга мережі, до якої підключається трифазний асинхронний електродвигун – $U_l = 380$ В (Спосіб з'єднання обмоток статора прийняти «зіркою») [9].

Таблиця 3.1. – Статичні навантажувальні дані виробничого механізму

n_c	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	M_1	M_2	M_3	M_4	M_5
об/хв	хв	хв	хв	хв	хв	Нм	Нм	Нм	Нм	Нм
1500	0,8	3,0	2,5	1,5	1,2	28	30	40	65	50

При визначенні потужності електродвигуна для тривалої роботи зі змінним навантаженням (режим S6) можна скористатися методом еквівалентного моменту:

$$M_{\text{екв}} = \sqrt{\frac{M_1^2 t_1 + M_2^2 t_2 + M_3^2 t_3 + M_4^2 t_4 + M_5^2 t_5}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5}} =$$

$$= \sqrt{\frac{28^2 \cdot 0,8 + 30^2 \cdot 3 + 40^2 \cdot 2,5 + 65^2 \cdot 1,5 + 50^2 \cdot 1,2}{0,8 + 3 + 2,5 + 1,5 + 1,2}} = 43,03 \text{ Нм}$$



Рисунок 3.1 – Статична навантажувальна діаграма двигуна

Тоді розрахункова потужність електродвигуна:

$$P_{\text{екв}} = \frac{M_{\text{екв}} \cdot \pi \cdot n_c}{30 \cdot 10^3} = \frac{43,03 \cdot 3,14 \cdot 1500}{30 \cdot 10^3} = 6,76 \text{ кВт}$$

З Додатку В обираємо трифазний асинхронний електродвигун із короткозамкненим ротором серії 4A132S4Y3 потужністю на валу $P_{\text{ном}}=7,5$ кВт, що задовольняє умові $P_{\text{ном}} \geq P_{\text{екв}}$, з такими параметрами:

- номінальна механічна потужність на валу $P_{2\text{ном}}=7,5$ кВт;
- кратність пускового електромагнітного моменту $m_{\text{п}}=2,2$;
- кратність максимального електромагнітного моменту $m_{\text{к}}=3$;
- номінальне ковзання $s_{\text{ном}} = 2,9$;
- критичне ковзання $s_{\text{к}} = 19,5$;
- кратність пускового струму $i_{\text{п}} = 7,5$;
- номінальний коефіцієнт потужності $\cos\varphi_{\text{ном}}=0,8$;
- номінальний коефіцієнт корисної дії $\eta_{\text{ном}}=87,5\%$.

Використовуючи каталожні дані на вибраний електродвигун, розрахуємо електромагнітні моменти двигуна: номінальний, максимальний та пусковий:

– номінальний електромагнітний момент:

$$M_{\text{ном}} = \frac{P_{2\text{ном}}}{\Omega} = \frac{P_{2\text{ном}} \cdot 30}{\pi \cdot n} = \frac{7,5 \cdot 10^3 \cdot 30}{3,14 \cdot 1456,5} = 49,17 \text{ Нм}$$

де: n – частота обертання ротора асинхронного електродвигуна може бути визначена таким чином:

$$n = (1 - s_{\text{ном}}) \cdot n_c = (1 - s_{\text{ном}}) \cdot \frac{60 \cdot f_1}{p} = (1 - 0,029) \cdot \frac{60 \cdot 50}{2} = 1456,5 \text{ об/хв}$$

p – кількість пар полюсів.

– максимальний електромагнітний момент:

$$M_{\text{max}} = m_k \cdot M_{\text{ном}} = 3 \cdot 49,17 = 147,5 \text{ Нм}$$

– пусковий електромагнітний момент:

$$M_{\text{п}} = m_{\text{п}} \cdot M_{\text{ном}} = 2,2 \cdot 49,17 = 108,24 \text{ Нм}$$

Підставляючи у формулу Клосса ряд поточних значень ковзання, отримаємо дані для побудови природної механічної характеристики в осях $n(M)$ або $M(s)$ трифазного асинхронного електродвигуна:

$$M = \frac{2 \cdot M_{\text{max}}}{\frac{s}{s_k} + \frac{s_k}{s}} = \frac{2 \cdot m_k \cdot M_{\text{max}}}{\frac{s}{s_k} + \frac{s_k}{s}}$$

Результати розрахунку природної механічної характеристики трифазного асинхронного двигуна наведено у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2. – Природна механічна характеристика електродвигуна

s	-	0	0,003	0,012	0,029	0,09	0,195	1,0
n	об/хв	1500	1496,5	1482	1456,5	1365	1207,5	0
M	Нм	0	5,23	20,84	49,17	122,4	147,5	108,24

Графіки механічних характеристик представлені рисунку 3.2 та рисунку 3.3.

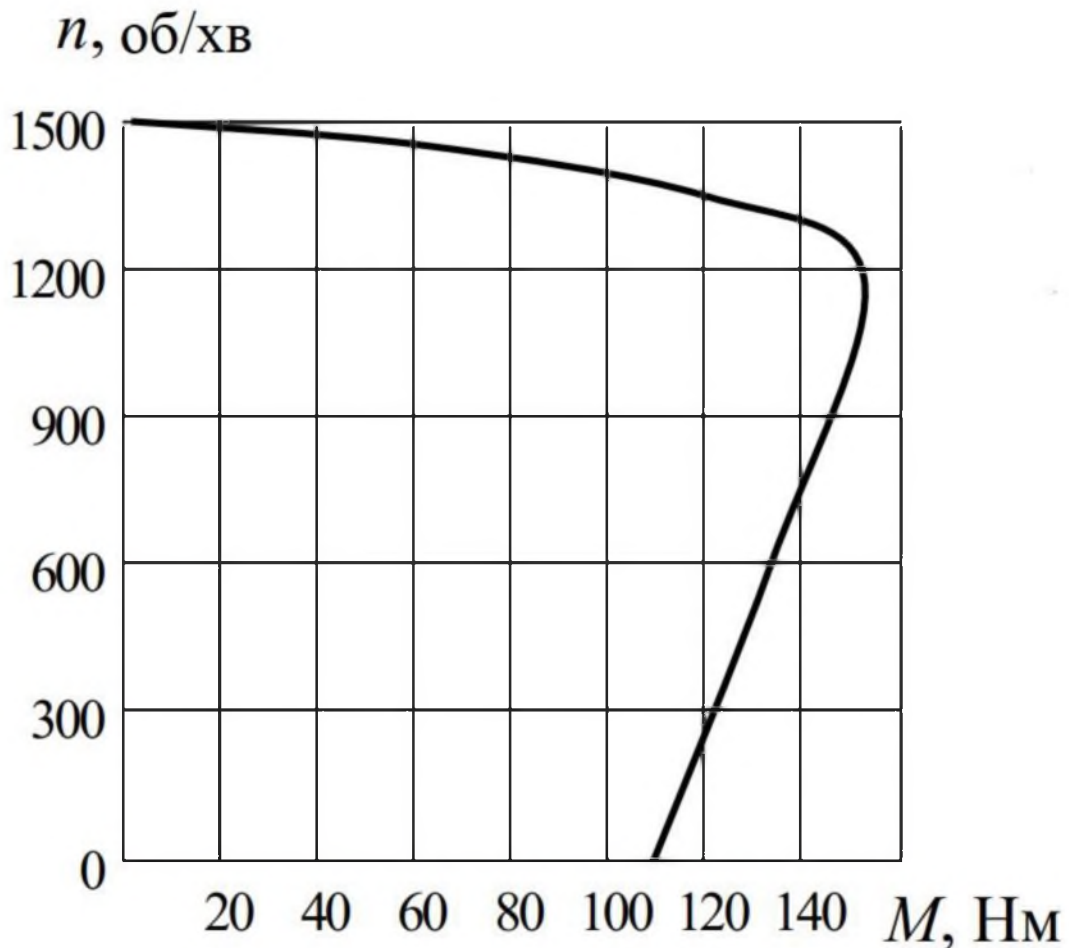


Рисунок 3.2 – Природна механічна характеристика трифазного асинхронного електродвигуна (залежність моменту від частоти обертання)

Вибраний електродвигун перевіряється за перевантажувальною здатністю та пусковим моментом. При цьому має виконуватись така умова:

$$(0,95)^2 \cdot M_{max}^{дв} \geq M_{max}^{нав} \text{ та } (0,95)^2 \cdot M_{п}^{дв} \geq M_1^{нав}$$

$$(0,95)^2 \cdot 147,5 \geq 65 \text{ та } (0,95)^2 \cdot 108,17 \geq 28$$

$$133 \geq 65 \text{ та } 97,6 \geq 28$$

M, H_M

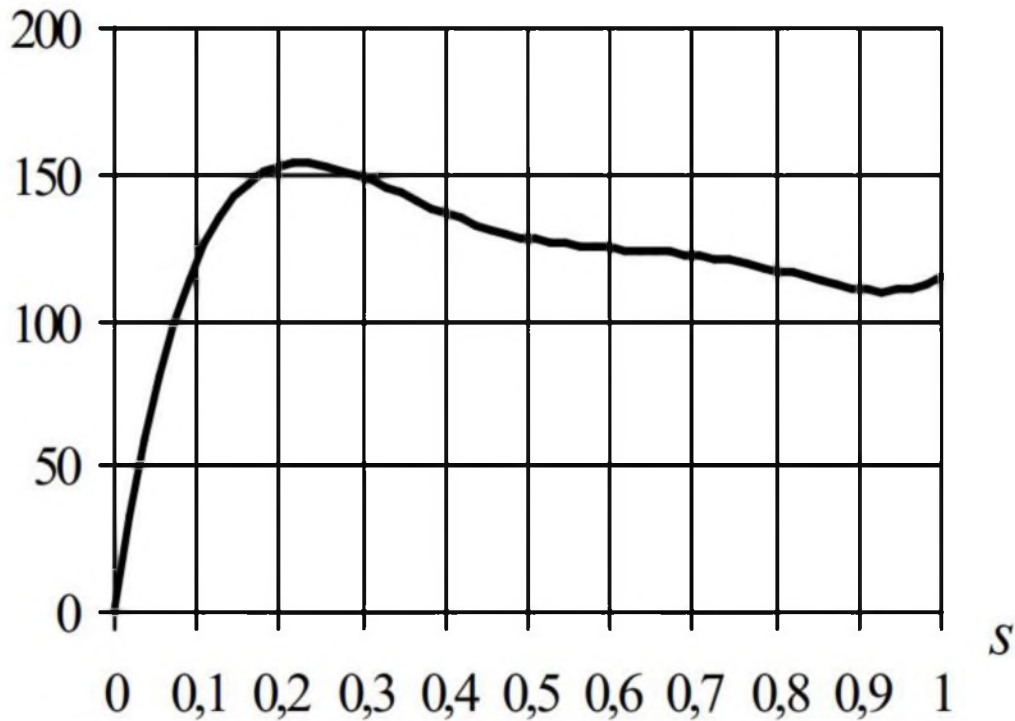


Рисунок 3.3 – Природна механічна характеристики трифазного асинхронного електродвигуна (залежність моменту від ковзання)

Виходячи з того, що обмотки статора двигуна з'єднані зіркою (Y) та лінійна напруга мережі $U_L=380$ В із формули споживаної потужності:

$$P_{1\text{ном}} = \sqrt{3} \cdot U_{\text{номл}} \cdot I_L \cdot \cos \varphi_{\text{ном}} \cdot \eta_{\text{ном}}$$

визначається лінійний струм:

$$I_{\text{л}} = \frac{P_{2\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{номл}} \cdot \cos \varphi_{\text{ном}} \cdot \eta_{\text{ном}}} = \frac{7,5 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,86 \cdot 0,875} = 15,14 \text{ A}$$

Реактивна потужність, що споживається з мережі електродвигуном визначається за формулою:

$$Q_{1\text{ном}} = P_{1\text{ном}} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{\text{ном}} = 8,571 \cdot 0,593 = 5,086 \text{ кВАр}$$

$$\text{де: } \varphi_{\text{ном}} = \arccos \varphi_{\text{ном}} = 30^\circ.$$

Активна енергія, що споживається електродвигуном із мережі змінного струму за цикл роботи, дорівнює:

$$W = \sum_{k=1}^{k=5} P_{1k} t_k$$

де: P_{1k} – потужність споживана електродвигуном з мережі при якому навантаженні $P_{1k} = \frac{P_{2k}}{\eta_k}$;

P_{2k} – механічна потужність, що знімається з валу електродвигуна:

$$P_{2k} = \frac{M_k \cdot n_k \cdot \pi}{30}$$

де: n_k – частота обертання валу електродвигуна, яку слід визначити за механічною характеристикою $M(n)$ (рис. 3.2) для кожного заданого статичною навантажувальною діаграмою моменту M_k .

Коефіцієнт корисної дії – η_k , відповідний роботі електродвигуна при k -тому навантаженні, візьмемо з графіка $\eta (P_2)$ (рис. 3.3), який побудуємо за каталожними даними, наведеними в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3. – Залежність коефіцієнта корисної дії трифазного асинхронного електродвигуна від навантаження

	ККД, % при $\frac{P_2}{P_{2\text{ном}}}$, %				
$\frac{P_2}{P_{2\text{ном}}}$, %	25	50	75	100	125
ККЛ, %	77,5	86,0	87,5	87,5	86,0
P_2 , кВт	1,9	3,8	5,6	7,5	9,4

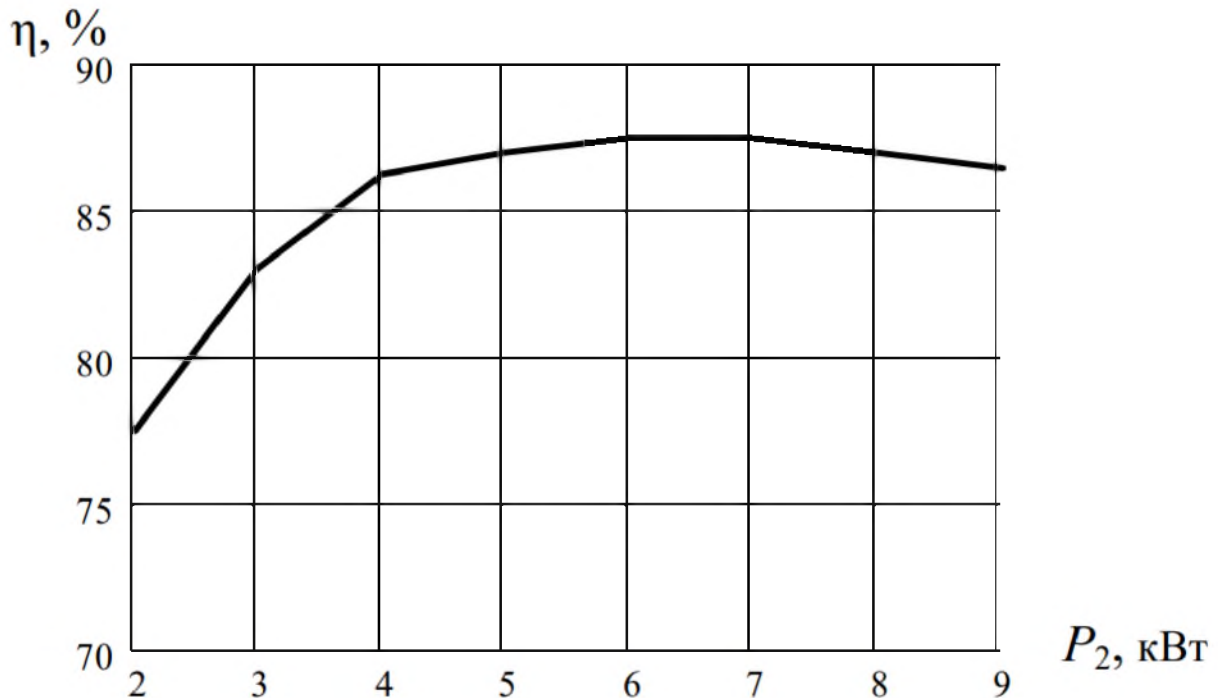


Рисунок 3.4 – Залежність коефіцієнта корисної дії трифазного асинхронного двигуна від навантаження

Результати виконаних розрахунків наведено у таблиці 3.4.

Активна енергія, що споживається електродвигуном із мережі змінного струму за цикл роботи:

$$W = \sum_{k=1}^{k=5} P_{1k} t_k =$$

$$= 5000 \cdot 48 + 5320 \cdot 180 + 7000 \cdot 150 + 11270 \cdot 90 + 8730 \cdot 72 = 39101 \text{ Дж}$$

Таблиця 3.4. – Залежність коефіцієнта корисної дії двигуна при різних навантаженнях

Номер режиму	M_k , Нм	n_k , об/хв	P_{2k} , кВт	η_k , %	P_{1k} , кВт
1	2	3	4	5	6
01	28	1475	4,323	86,5	5,000
02	30	1470	4,616	86,8	5,320
03	40	1460	6,113	87,2	7,000
04	65	1430	9,730	86,3	11,270
05	50	1450	7,600	87,5	8,700

Також, обираємо запобіжник для захисту трифазного асинхронного електродвигуна від струмів короткого замикання та перевантажень для розрахункового електродвигуна: номінальна лінійна напруга $U_{\text{ном}}=380$ В; номінальний лінійний струм електродвигуна $I_{\text{ном}} = 15,14$ А; кратність пускового струму асинхронного електродвигуна $\frac{I_{\text{п}}}{I_{\text{ном}}} = 7,5$

Плавка вставка не повинна перегорати під час пуску електродвигуна. Оскільки не обумовлено умови пуску (легкі, важкі), то приймаємо нормальні умови пуску, для яких:

$$I_{\text{вст}} \geq \frac{I_{\text{п}}}{\alpha} = \frac{15,14 \cdot 7,5}{2,5} = 45,42$$

де: α – коефіцієнт, що характеризує умови пуску електродвигуна.

За каталогом обираємо запобіжник типу ПР-2-60 з номінальними даними $U_{\text{ном}}=380$ В, $I_{\text{ном}}=60$ А та номінальним струмом плавкою вставки $I=45$ А.

Типова схема пуску та реверсу трифазного асинхронного електродвигуна з короткозамкненим ротором наведено на рис. 3.4.

На схемі позначено: «В» та «Н» – контактори, умовно названі «Вперед» та «Назад» з відповідними блок-контактами в ланцюзі управління; кнопкова

ВИСНОВКИ

При виконанні дипломного проекту було виконано наступні завдання:

1. Побудували графік статичної навантажувальної діаграми виробничого механізму за цикл роботи за даними таблиці 3.1. Визначили режим роботи електроприводу.

2. Розрахували еквівалентну потужність та момент наведеного руху механізму за цикл роботи.

3. Розрахували електромагнітні моменти: номінальний, пусковий та максимальний (критичний). Перевірили обраний електродвигун на перевантажувальну здатність та пусковий момент з урахуванням можливого зниження напруги мережі на 5%.

5. Побудували механічні характеристики трифазного асинхронного електродвигуна $M(n)$ та $M(s)$.

6. Розрахували лінійний струм мережі живлення при номінальному навантаженні і при пуску електродвигуна в хід.

7. Підібрали запобіжники для захисту електродвигуна від струмів, що виникають при великих перевантаженнях та при коротких замиканнях.

8. Визначили реактивну потужність електродвигуна за номінального навантаження.

9. Розрахували енергію, що споживається електродвигуном з мережі за цикл роботи.

10. Навели електричну схему керування трифазним асинхронним електродвигуном із короткозамкненим ротором.

Таким чином, проведено загальний розрахунок електроприводу з його основними параметрами та характеристиками, що можливо використовувати в інженерно-технічних вирішеннях.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Електропривод: Підручник / Ю.М. Лавріненко, О.С. Марченко, П.І. Савченко, О.Ю. Синявський, Д.Г. Войтюк, В.П. Лисенко; За ред. Ю.М. Лавріненка. Видавництво «Ліра-К». – К., 2009. – 504 с.
2. А. А. Видмиш, Л. В. Ярошенко. Основы электропривода. Теория та практика. Частина 1. / Навчальний посібник. – Вінниця: ВНАУ, 2020. – 387 с.
3. Попович М.Г., Лозинський О.Ю., Клепиков В.Б. та інш. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи. Навч. посіб. за напрямом «Електромеханіка» / М.Г. Попович, О.Ю. Лозинський, В.Б. Клепиков та інш. – К.: Либідь, 2005. – 680 с. Ч1.
4. Ключев В.И. Теория электропривода: Учеб. для вузов. – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 2001 – 704 с.
5. Яцун, М.А. Электричні машини : підручник / М.А. Яцун . – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2011 . – 464 с. — ISBN 978-617-607-048-1.
6. Титаренко, М.В. Електротехніка : навч. посіб. / М.В. Титаренко . — К. : Кондор, 2021 . — 240 с. — ISBN 966-7982-32-7.7.
7. Фираго, Б.И. Регулируемые электроприводы переменного тока / Б.И. Фираго. Л.Б. Павлячик. – Мн.: Техноперспектива. 2006. – 363 с.
8. Макаров А.М. Системы управления автоматизированным электроприводом переменного тока: учеб. пособие / А.М. Макаров, А.С. Сергеев, Е.Г. Крылов, Ю.П. Сердобинцев; ВолГТУ. – Волгоград, 2016. – 192 с.
9. Мартынов А.А. Проектирование электроприводов: Учеб. пособие / СПбГУАП. СПб., 2004. – 97 с.
10. Булгар В.В. Теорія електроприводу: збірник задач. / ОНПУ Одеса: Поліграф, 2006 – 408 с.
11. Акимов Е.Г. Выбор асинхронных двигателей общего назначения: Методич. рекомендации. – 29 с.

ДОДАТОК А.

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ЕКСПЛУАТАЦІЇ

1. Загальні положення

1.1. Інструкція з охорони праці для електрика при виконанні робіт з ремонту та обслуговування електроустаткування розроблена відповідно до Закону України «Про охорону праці» (Постанова ВР України від 14.10.1992 № 2694-XII) в редакції від 20.01.2018 р, на основі «Положення про розробку інструкцій з охорони праці», затвердженого Наказом Комітету з нагляду за охороною праці Міністерства праці та соціальної політики України від 29 січня 1998 року № 9 в редакції від 01 вересня 2017 року, з урахуванням «Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів», затвердженими наказом Міністерства па та енергетики 25.07.2006 р. № 258 (у редакції наказу Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 13.02.2012 р. №91, «Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів»), затверджених наказом Держнаглядохоронпраці України від 09.01.1998 р. № 4.

1.2. Усі положення даної інструкції з охорони праці поширюються на електриків освітньої установи, які виконують роботи з ремонту та обслуговування електроустаткування.

1.3. До самостійного виконання робіт з ремонту та обслуговування електричного обладнання допускаються особи не молодші 18 років, які пройшли навчання за фахом, а також:

- 1) медичний огляд і не мають протипоказань за станом здоров'я до виконання даної роботи;
- 2) вступний та первинний на робочому місці інструктажі з охорони праці;
- 3) навчання безпечним методам та прийомам праці;
- 4) перевірку знань правил улаштування електроустановок, правил безпеки при експлуатації електроустановок, вимог охорони праці;

5) при ремонті та обслуговуванні електрообладнання напругою до 1000В мають групу з електробезпеки не нижче III, а понад 1000В - не нижче IV.

1.4. Електрику необхідно знати та виконувати вимоги інструкції з охорони праці під час виконання робіт з ремонту та обслуговування електроустаткування, інструкцій з роботи з ручним інструментом, електричним інструментом та стрем'янками.

1.5. Електрику при виконанні робіт з ремонту та обслуговування електроустаткування слід дотримуватися вимог Правил безпечної експлуатації електричних установок споживачів та Правил технічної експлуатації електричних установок споживачів, і мати відповідну групу з електробезпеки згідно з вимогами цих Правил.

1.6. Виконуючи роботи з ремонту та обслуговування електричного обладнання, може спостерігатися вплив нижчеперелічених шкідливих та небезпечних виробничих факторів:

- 1) падіння з висоти;
- 2) ураження електричним струмом;
- 3) підвищена напруженість електричного поля;
- 4) підвищена запиленість повітря робочої зони;
- 5) підвищений рівень вібрації;
- 6) недостатня освітленість робочої зони;
- 7) фізичні перевантаження;
- 8) нервно-психічні перевантаження.

1.7. Електрику при виконанні ремонту та обслуговування електроустаткування необхідно використовувати наведені нижче ЗІЗ:

- 1) напівкомбінезон бавовняний – на 12 місяців;
- 2) рукавички на – 3 місяці;
- 3) черевики шкіряні на - 24 місяці;
- 4) калоші діелектричні - чергові;
- 5) рукавиці діелектричні - чергові;
- 6) коврики діелектричні - чергові.

1.8. Електрик при ремонті та обслуговуванні електрообладнання зобов'язань:

- 1) тримати в чистоті та порядку своє робоче місце;
- 2) дотримуватися Правил внутрішнього трудового розпорядку;
- 3) вміти застосовувати засоби індивідуального, колективного захисту, засоби пожежогасіння;
- 4) вміти надавати першу допомогу потерпілим від нещасних випадків;
- 5) знати та виконувати всі вимоги нормативних актів з охорони праці, правил протипожежної захисту та виробничої санітарії.
- 6) негайно повідомляти свого безпосереднього керівника про будь-який нещасний випадок, що трапився на виробництві, про ознаки професійного захворювання, а також про ситуацію, яка створює загрозу життю та здоров'ю людей;
- 7) знати терміни випробування захисних засобів та пристосувань, правила експлуатації, догляду та користування ними. Не дозволяється використовувати захисні засоби та пристосування з простроченим терміном перевірки;
- 8) виконувати лише доручену роботу;
- 9) дотримуватися вимог інструкцій з експлуатації обладнання;
- 10) знати, де знаходяться засоби надання допомоги, первинні засоби пожежогасіння, головні та запасні виходи, шляхи евакуації у разі аварії або пожежі;
- 11) знати номери телефонів медичної установи (103) та пожежної охорони (101).

1.9. Електрик може відмовитися від виконання дорученої йому роботи, якщо виникла виробнича ситуація, яка становить загрозу для його життя і здоров'я оточуючих, або для довкілля, і доповісти про це своєму прямому керівнику.

1.10. На робочому місці заборонено курити, вживати алкогольні напитки та інші речовини, що надають наркотичну дію на організм людини.

1.11. З метою запобігання отримання травм і виникнення травмонебезпечних ситуацій слід дотримуватися нижчеперелічених вимог:

- 1) не можна залучати до роботи сторонніх осіб;
- 2) не починати роботу у разі відсутності умов для її безпечного виконання;
- 3) виконувати роботу тільки на справному обладнанні, зі справними пристроями та інструментом;
- 4) виявивши несправність терміново доповісти безпосередньому керівнику або усунути їх власними силами, якщо це не відноситься до посадових обов'язків;
- 5) не торкатися неізольованих чи пошкоджених проводів;
- 6) не виконувати роботу, яка не входить до професійних обов'язків.

1.12. Вміти надавати першу допомогу при кровотечах, переломах, опіках, ураженнях електричним струмом, раптовому захворюванні чи відруєнні.

1.13. Дотримуватися правил особистої гігієни:

- 1) верхній одяг, головний убір та інші особисті речі слід залишати у гардеробі;
- 2) працювати в чистій спецодязі;
- 3) приймати їжу у призначеному для цього місці.

1.14. Вміти правильно користуватися ЗІЗ та засобами колективної захисту, первичними засобами пожежогасіння, протипожежним інвентарем, знати, де вони знаходяться.

1.15. Особи, які порушили цю інструкцію з охорони праці для електрика при виконанні робіт з ремонту та обслуговування електроустаткування, несуть дисциплінарну, адміністративну, матеріальну та кримінальну відповідальність відповідно до чинного законодавства України.

2. Вимоги безпеки перед початком роботи

2.1. Одягнути спецодяг, провести огляд та підготовку робочого місця, прибрати лишні предмети.

2.2. Видалити із зони проведення робіт сторонніх осіб та звільнити робоче місце від сторонніх матеріалів та інших предметів, обгородити робочу зону та встановити знаки безпеки.

2.3. Переконатися у достатньому освітленні робочого місця, відсутність електричної напруги на відремонтованому обладнанні.

2.4. Оглянути на справність вимикачі, розетки електричної мережі, електровілок, електричних проводів, з'єднувальних кабелів, переконатися в наявності та справності ЗІЗ (засобів індивідуальної захисту) та попереджувальних пристроїв (рукавичок діелектричних, окулярів захисних, калош, ковриків тощо).

2.5. Виконуючи роботи з інструментом необхідно упевнитися в його справності, у відсутності механічних пошкоджень ізоляційного покриття та у своєчасності проходження випробувань інструменту.

2.6. Провести перевірку робочого місця на відповідність вимогам пожежної безпеки, на достатність освітлення робочого місця.

2.7. Виявивши недоліки та порушення з питань електричної та пожежної безпеки, негайно доповісти своєму безпосередньому керівнику.

3. Вимоги безпеки під час виконання робіт

3.1. Виконуючи посадові обов'язки, електрик зобов'язаний мати при собі посвідчення перевірки знань з питань охорони праці. За відсутності посвідчення або наявності посвідчення зі строком перевірки, працівник не отримує допуску до роботи.

3.2. Роботи в електричних установках щодо заходів безпеки поділяються на 3 категорії:

- 1) зі зняттям напруги;
- 2) без зняття напруги на струмопровідних частинах або біля них;
- 3) без зняття напруги віддалік від струмопровідних частин, що перебувають під напругою.

3.3. Працівники, які виконують спеціальні види робіт, до яких висуваються додаткові вимоги безпеки, повинні бути навчені безпечному проведенню таких робіт і мати на це відповідний запис у посвідченні про перевірку знань.

3.4. Працівникові, який обслуговує закріплені за ним електричні установки напругою до 1000 В одноособово, необхідно мати III групу з електробезпеки.

3.5. Виконуючи роботи в електричних установках потрібно проводити організаційні заходи, що забезпечують безпеку робіт:

- 1) оформляти роботи нарядом-допуском, розпорядженням відповідно до переліку робіт, що виконуються у порядку поточної експлуатації;
- 2) проводити підготовку робочих місць;
- 3) допуск на роботу;
- 4) здійснювати контроль за виконанням робіт;
- 5) переводити на інше робоче місце;
- 6) установлювати перерви у роботі та її закінчення.

3.6. Для підготовки робочого місця до роботи, що вимагає зняття напруги, необхідно застосувати, у певному порядку, наведені нижче технічні заходи:

- 1) виконати необхідні відключення та вжити всіх заходів, що виключають хибне або самовільне включення комутаційної апаратури;
- 2) розвісити заборонні плакати на приводах ручного та на ключах дистанційного керування комутаційною апаратурою;
- 3) провести перевірку на відсутність напруги на струмопровідних частинах, які повинні бути заземлені для захисту людей від ураження електричним струмом;
- 4) встановити заземлення (включити заземлюючі ножі, застосувати переносні заземлення);
- 5) встановити огорожі, якщо необхідно, близько робочих місць або струмоведучих частин, що залишилися під напругою, а також вивісити на цих огорожах плакати безпеки;
- 6) в залежності від місцевих умов, струмовідні частини обгородити до чи після їх заземлення.

3.7. Працювати без зняття напруги на струмопровідних частинах або поблизу них слід як мінімум двом працівникам, одному з них, керівнику робіт, необхідно мати групу IV; іншим групу III з обов'язковим оформленням роботи нарядом-допуском або розпорядженням.

3.8. При знятті та встановленні запобіжників під напругою в електроустановках напругою до 1000 В слід заздалегідь відключити всі навантаження, які підключені до зазначених запобіжників; використовувати при цьому ізолюючі кліщі або діелектричні перчатки, а якщо є відкриті плавкі вставки, то і захисні окуляри.

3.9. Роботу з використанням стремінок потрібно проводити вдвох, один із працівників повинен перебувати знизу. Стояти на ящиках чи інших предметах забороняється. При установці приставних стремінок на балках, елементах металевих конструкцій і т. п. слід надійно закріпити верхню та нижню частину стреміанки на конструкціях.

3.10. Під час обслуговування та ремонту електричних установок користуватися металевими стреміанками забороняється.

4. Вимоги безпеки після закінчення робіт з ремонту та обслуговування електроустаткування

4.1. Відключити (від'єднати) необхідне електрообладнання, електроінструмент від мережі.

4.2. Навести порядок на робочому місці, прибрати у спеціальні місця деталі, матеріал, сміття та відходи.

4.3. Прибрати у відведене місце весь інструмент та пристосування.

4.4. Зняти і прибрати спецодяг, ЗІЗ, тщательно помити руки.

4.5. Провести огляд робочого місця на відповідність його всім вимогам протипожежної захисту.

4.6. Повідомити свого безпосереднього керівника про недоліки і несправності, які були під час виконання роботи. Зафіксувати це у оперативному журналі.

5. Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

5.1. У разі пожежі:

1) виключити електричне обладнання, припливно-витяжну вентиляцію, якщо вона є;

2) повідомити в пожежну частину за телефоном 101 і доповісти про це своєму керівнику, а за його відсутності іншій посадовій особі;

3) приступити до ліквідації осередку загоряння, застосовуючи передбачені для цього засоби пожежогасіння. Виконувати гасіння електричного обладнання, що знаходиться під напругою, можна тільки вуглекислотними вогнегасниками типу ОУ або піском. Гасити їх водою або пінним вогнегасником забороняється.

5.2. Електрик повинен пам'ятати, що при раптовому відключенні напруги, вона може бути подана знову без попередження.

5.3. Слід швидко відключити механізми та пристрої:

- 1) у разі раптового відключення електроенергії;
- 2) якщо подальша їх робота загрожує безпеці працівників;
- 3) у разі відчуття дії електричного струму при торканні металевих частин пускової апаратури;
- 4) у разі іскріння;
- 5) при найменших ознаках загоряння, появі диму, запаху гару;
- 6) якщо з'явився незнайомий шум.

5.4. У разі короткого замикання в мережі електроживлення необхідно знеструмити обладнання та повідомити свого прямого керівника.

5.5. Якщо сталося ураження електричним струмом, слід звільнити потерпілого від дії електричного струму, для чого відключити електричну мережу або від'єднати потерпілого від струмопровідних частин за допомогою діелектричних захисних засобів та інших ізолюючих речей та предметів (сухий одяг, суха жердина, прогумований матеріал тощо). п.), або перерізати (перерубати) провід будь-яким інструментом із ізолюючою рукояткою, обережно, без додаткового нанесення травм потерпілому. До прибуття медпрацівника необхідно надати потерпілому першу допомогу.

5.6. При нещасних випадках (травмуванні людини) негайно повідомити про це безпосереднього керівника.

ДОДАТОК Б.
ПАРАМЕТРИ ЗАПОБІЖНИКІВ ТИПУ ПР-2, 500 В

Тип запобіжника	Номинальний струм		Граничний струм відключення (кА)		
	Запобіж- ник	Плавка вставка	220, В	380, В	500, В
1	2	3	4	5	6
ПР-2-15	15	6,10,15		8,000	7,000
ПР-2-60	60	15,20,25,35,45,60		4,500	3,500
ПР-2-100	100	60,80,100			
ПР-2-200	200	100,125,160,200		11,000	10,000
ПР-2-350	350	200,225,260,300,350		13,000	11,000
ПР-2-600	600	350,430,500,600		23,000	
ПР-2-1000	1000	600,700,850,1000		20,000	20,000
ПП-21	16	1,2,5,6,10,16	1,200	0,8 ÷ 8,0	7,000
	63	25,40,63	5,500	1,8 ÷ 4,5	3,500
	100,160,250	100,160,250	14,000	6,0 ÷ 11,0	10,000

ДОДАТОК В.
ОСНОВНІ ТЕХНІЧНІ ДАНІ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ОСНОВНОГО
ВИКОНАННЯ, СТУПІНЬ ЗАХИСТУ IP44

Типороз- мір електро- двигуна	$P_{2н}$ кВт	Енергетичні показники										Пускові властивості					
		КПД, % при $\frac{P_2}{P_{2ном}}$, %					$\cos \varphi$ при $\frac{P_2}{P_{2ном}}$, %					Механічні характеристики					i_n
		25	50	75	100	125	25	50	75	100	125	m_n	m_m	m_k	$s_{ном}$ %	s_k %	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Синхронна частота обертання 3000 об/хв																	
4AA50A2Y3	0,09	42,0	55,5	60,0	60,0	57,5	0,30	0,49	0,61	0,70	0,75	2,0	1,8	2,2	8,6	50,0	3,5
4AA50B2Y3	0,12	48,5	60,0	63,5	63,0	58,0	0,31	0,50	0,62	0,70	0,75	2,0	1,8	2,2	9,7	51,0	3,5
4AA56A2Y3	0,18	51,0	63,0	66,0	66,0	63,0	0,34	0,54	0,66	0,76	0,81	2,0	1,5	2,2	8,0	46,0	4,0
4AA56B2Y3	0,25	57,0	67,5	69,0	68,0	64,0	0,35	0,57	0,70	0,77	0,81	2,0	1,5	2,2	7,5	51,0	4,0
4AA63A2Y3	0,37	63,0	71,0	72,0	70,0	65,0	0,45	0,69	0,80	0,86	0,89	2,0	1,5	2,2	8,3	50,5	4,5
4AA63B2Y3	0,55	69,0	75,0	75,0	73,0	68,0	0,47	0,69	0,80	0,86	0,88	2,0	1,5	2,2	8,5	54,5	4,5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
4A71A2Y3	0,75	71,0	78,0	78,5	77,0	73,0	0,50	0,72	0,82	0,87	0,89	2,0	1,5	2,2	5,9	38,0	5,5
4A71B2Y3	1,10	76,0	79,5	79,5	77,5	73,0	0,50	0,73	0,82	0,87	0,89	2,0	1,5	2,2	6,3	39,0	5,5
4A80A2Y3	1,50	73,0	80,5	81,5	81,0	79,0	0,48	0,70	0,80	0,85	0,87	2,1	1,4	2,6	4,2	35,5	6,5
4A80B2Y3	2,20	77,0	83,0	83,5	83,0	81,0	0,51	0,73	0,83	0,87	0,89	2,1	1,4	2,6	4,3	38,0	6,5
4A90L2Y3	3,00	80,0	85,5	85,5	84,5	82,0	0,58	0,78	0,85	0,88	0,89	2,1	1,6	2,5	4,3	32,5	6,5
4A100S2Y3	4,00	80,0	86,0	88,0	86,5	85,0	0,60	0,80	0,86	0,89	0,90	2,0	1,6	2,5	3,3	28,0	7,5
4A100L2Y3	5,50	82,5	87,5	88,0	87,5	86,0	0,65	0,83	0,88	0,91	0,91	2,0	1,6	2,5	3,4	29,0	7,5
4A112M2Y3	7,50	78,0	85,5	87,5	87,5	86,5	0,56	0,74	0,83	0,88	0,89	2,0	1,8	2,8	2,5	17,0	7,5
4A132M2Y3	11,5	80,0	87,0	88,0	88,0	87,0	0,65	0,82	0,87	0,90	0,90	1,7	1,5	2,8	2,3	19,0	7,5
4A160S2Y3	15,0	80,0	86,5	88,0	88,0	87,0	0,68	0,84	0,89	0,91	0,91	1,4	1,0	2,2	2,1	12,0	7,0
4A160M2Y3	18,5	82,0	87,5	88,5	88,5	87,0	0,72	0,86	0,90	0,92	0,92	1,4	1,0	2,2	2,1	12,5	7,0
4A180S2Y3	22,0	79,0	86,0	88,5	88,5	88,0	0,65	0,82	0,88	0,91	0,92	1,4	1,1	2,5	1,9	12,5	7,5
4A180M2Y3	30,0	82,0	88,5	90,5	90,5	89,0	0,66	0,82	0,88	0,90	0,90	1,4	1,1	2,5	1,8	12,5	7,5
4A200M2Y3	37,0	81,0	87,5	90,0	90,0	89,5	0,67	0,82	0,87	0,89	0,89	1,4	1,0	2,5	1,9	11,5	7,5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
4A200L2Y3	45,0	83,0	89,0	91,0	91,0	90,5	0,71	0,85	0,89	0,90	0,90	1,4	1,0	2,5	1,8	11,5	7,5
4A225M2Y3	55,0	82,5	89,5	91,0	91,0	90,5	0,78	0,89	0,91	0,92	0,92	1,4	1,2	2,5	1,8	11,0	7,5
4A250S2Y3	75,0	81,0	88,0	91,0	91,0	91,0	0,71	0,84	0,88	0,89	0,80	1,2	1,0	2,5	1,4	10,0	7,5
4A250M2Y3	90,0	84,0	90,0	92,0	92,0	91,5	0,71	0,84	0,89	0,90	0,90	1,2	1,0	2,5	1,4	10,0	7,5
4A280S2Y3	110	82,0	88,5	91,0	91,0	90,5	0,83	0,87	0,88	0,89	0,88	1,2	1,0	2,2	2,0	8,5	7,0
4A280M2Y3	132	84,0	89,5	91,5	91,5	91,0	0,83	0,87	0,88	0,89	0,88	1,2	1,0	2,2	2,0	8,5	7,0
4A280S2Y3	160	85,5	90,5	92,0	92,0	91,5	0,83	0,87	0,89	0,90	0,89	1,0	0,9	1,9	1,9	8,5	7,0
4A315M2Y3	200	87,0	91,5	92,5	92,5	92,0	0,83	0,88	0,89	0,90	0,89	1,0	0,9	1,9	1,9	9,0	7,0
4A355S2Y3	250	87,0	91,0	92,5	92,5	92,0	0,86	0,88	0,89	0,90	0,89	1,0	0,9	1,9	1,9	7,0	7,0
Синхронна частота обертання 1500 об/хв																	
4AA50A4Y3	0,06	25,0	40,0	50,0	50,0	49,5	0,31	0,41	0,51	0,60	0,68	2,0	1,7	2,2	8,1	58,5	2,5
4AA50B4Y3	0,09	31,0	46,0	55,0	55,0	54,5	0,31	0,40	0,51	0,60	0,68	2,0	1,7	2,2	8,6	59,0	2,5
4AA56A4Y3	0,12	40,0	55,0	63,0	63,0	61,5	0,30	0,43	0,56	0,66	0,70	2,1	1,5	2,2	8,2	49,0	3,5
4AA56B4Y3	0,18	43,5	58,0	64,0	64,0	61,5	0,26	0,40	0,53	0,64	0,71	2,1	1,5	2,2	8,9	50,5	3,5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
4AA63A4Y3	0,25	49,0	63,0	68,0	68,0	65,5	0,26	0,41	0,54	0,65	0,72	2,0	1,5	2,2	8,0	48,0	4,0
4AA63B4Y3	0,37	51,5	64,5	68,0	68,0	64,0	0,29	0,45	0,58	0,69	0,75	2,0	1,5	2,2	9,0	48,0	4,0
4A71A4Y3	0,55	55,0	67,0	70,5	70,5	67,0	0,29	0,46	0,59	0,70	0,75	2,0	1,8	2,2	7,3	39,0	4,5
4A71B4Y3	0,75	58,5	70,0	73,0	72,0	68,5	0,33	0,50	0,64	0,73	0,79	2,0	1,8	2,2	7,5	40,0	4,5
4A80A4Y3	1,1	64,0	74,0	76,0	75,0	72,0	0,38	0,59	0,73	0,81	0,85	2,0	1,6	2,2	5,4	34,0	5,0
4A90L4Y3	2,2	74,0	81,0	81,5	80,0	76,5	0,42	0,64	0,76	0,83	0,85	2,1	1,6	2,4	5,1	33,0	6,0
4A100S4Y3	3,0	75,5	82,0	83,0	82,0	79,5	0,43	0,65	0,72	0,83	0,85	2,0	1,6	2,4	4,4	31,0	6,0
4A100L4Y3	4,0	79,5	84,5	85,0	84,0	81,5	0,46	0,68	0,79	0,84	0,85	2,0	1,6	2,4	4,6	31,5	6,0
4A112M4Y3	5,5	82,0	86,5	86,5	85,5	83,0	0,51	0,72	0,80	0,85	0,85	2,0	1,6	2,2	3,6	25,0	7,0
4A132S4Y3	7,5	77,5	86,0	87,5	87,5	86,0	0,53	0,71	0,83	0,86	0,87	2,2	1,7	3,0	2,9	19,5	7,0
4A132M4Y3	11,0	80,0	86,0	88,0	87,5	87,0	0,55	0,75	0,84	0,87	0,88	2,2	1,7	3,0	2,8	19,5	7,5
4A160S4Y3	15,0	86,0	89,5	89,5	88,5	86,5	0,63	0,81	0,87	0,88	0,88	1,4	1,0	2,3	2,3	16,0	7,0
4A160M4Y3	18,5	87,5	90,5	90,5	89,5	87,5	0,66	0,82	0,86	0,88	0,88	1,4	1,0	2,3	2,3	16,0	7,0
4A180S4Y3	22,0	85,5	89,5	90,0	90,0	87,0	0,65	0,82	0,87	0,90	0,89	1,4	1,0	2,3	2,0	14,0	6,5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
4A180M4Y3	30,0	87,0	90,5	91,0	91,0	89,0	0,66	0,83	0,88	0,89	0,89	1,4	1,0	2,3	1,9	14,0	6,5
4A200M4Y3	37,0	87,0	90,5	91,0	91,0	90,5	0,67	0,84	0,89	0,90	0,90	1,4	1,0	2,5	1,7	10,0	7,0
4A200L4Y3	45,0	88,5	92,0	92,5	92,0	91,0	0,69	0,85	0,89	0,90	0,90	1,4	1,0	2,5	1,6	10,0	7,0
4A225M4Y3	55,0	88,5	92,0	92,5	92,5	91,5	0,68	0,84	0,89	0,90	0,90	1,3	1,0	2,5	1,4	10,0	7,0
4A250S4Y3	75,0	88,5	92,0	93,0	93,0	92,5	0,69	0,84	0,88	0,90	0,90	1,2	1,0	2,3	1,2	9,5	7,0
4A250M4Y3	90,0	89,0	92,5	93,0	93,0	92,0	0,73	0,87	0,90	0,91	0,90	1,2	1,0	2,3	1,3	9,5	7,0
4A280S4Y3	110	89,5	92,5	93,0	92,5	91,0	0,82	0,90	0,91	0,90	0,87	1,2	1,0	2,0	2,3	8,5	6,0
4A280M4Y3	132	90,0	93,0	93,5	93,0	91,5	0,81	0,90	0,91	0,90	0,87	1,3	1,0	2,0	2,3	6,5	6,0
4A315S4Y3	160	91,0	93,5	94,0	93,5	92,5	0,81	0,90	0,91	0,91	0,88	1,3	0,9	2,2	1,4	6,5	6,5
4A315M4Y3	200	91,5	94,0	94,5	94,0	93,0	0,82	0,90	0,92	0,92	0,89	1,3	0,9	2,2	1,3	5,0	6,5
4A355S4Y3	250	91,5	94,0	94,5	94,5	93,5	0,82	0,90	0,92	0,92	0,89	1,2	0,9	2,0	1,0	4,0	7,0
4A355M4Y3	315	92,5	94,5	95,0	94,5	93,5	0,85	0,92	0,92	0,92	0,89	1,2	0,9	2,0	1,0	4,0	7,0
Синхронна частота обертання 1000 об/хв																	
4AA63A6Y3	0,18	34,5	49,5	56,0	56,0	52,0	0,25	0,38	0,51	0,62	0,71	2,2	1,5	2,2	11,5	55,5	3,0

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
4AA63B6Y3	0,25	39,5	54,0	59,0	59,0	55,0	0,24	0,38	0,51	0,62	0,70	2,2	1,5	2,2	10,8	62,5	3,0
4AA71A6Y3	0,37	45,5	59,5	64,5	64,5	61,0	0,30	0,45	0,58	0,69	0,76	2,0	1,8	2,2	9,2	49,0	4,0
4AA71B6Y3	0,55	52,5	65,5	68,5	67,5	62,5	0,30	0,47	0,60	0,71	0,77	2,0	1,8	2,2	10,0	49,0	4,0
4A80A6Y3	0,75	56,0	68,0	69,5	69,0	63,5	0,33	0,51	0,65	0,74	0,79	2,0	1,6	2,2	8,4	37,0	4,0
4A80B6Y3	1,1	53,0	73,5	75,0	74,0	69,0	0,33	0,52	0,65	0,74	0,78	2,0	1,6	2,2	8,0	38,0	4,0
4A90L6Y3	1,5	65,5	75,0	76,0	75,0	71,0	0,33	0,53	0,66	0,74	0,77	2,0	1,7	2,2	6,4	31,0	4,5
4A100L6Y3	2,2	74,0	81,5	82,0	81,0	78,0	0,32	0,53	0,66	0,73	0,76	2,0	1,6	2,2	5,1	25,5	5,0
4A112MA6Y3	3,0	73,0	81,0	82,0	81,0	78,5	0,33	0,56	0,69	0,76	0,79	2,0	1,8	2,5	4,7	37,0	6,0
4A112MB6Y3	4,0	77,0	82,5	83,0	82,0	79,5	0,40	0,62	0,74	0,81	0,83	2,0	1,8	2,5	5,1	38,0	6,0
4A132S6Y3	5,5	71,0	81,0	84,0	85,0	83,0	0,33	0,56	0,69	0,80	0,84	2,0	1,8	2,5	3,3	36,0	6,0
4A132M6Y3	7,5	76,0	84,0	85,0	85,5	84,0	0,40	0,62	0,74	0,81	0,84	2,0	1,8	2,5	3,2	26,0	6,0
4A160S6Y3	11,5	83,5	87,5	87,5	86,0	83,5	0,54	0,75	0,83	0,86	0,87	1,2	1,0	2,0	2,7	15,0	6,0
4A160M6Y3	15,5	85,0	88,5	88,5	87,5	85,0	0,55	0,76	0,84	0,87	0,87	1,2	1,0	2,0	2,6	14,0	6,0
4A180M6Y3	18,5	85,0	89,0	89,0	88,0	86,0	0,54	0,76	0,84	0,87	0,87	1,2	1,0	2,0	2,4	13,5	6,0

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
4A200M6Y3	22,0	87,5	91,0	91,0	90,0	88,0	0,68	0,84	0,88	0,90	0,90	1,3	1,0	2,4	2,3	13,5	6,5
4A200L6Y3	30,0	88,0	91,0	91,0	90,5	89,0	0,64	0,82	0,88	0,90	0,90	1,3	1,0	2,4	2,1	13,5	6,5
4A225M6Y3	37,0	87,5	91,0	91,5	91,0	89,5	0,63	0,81	0,87	0,89	0,89	1,2	1,0	2,3	1,8	11,5	6,5
4A250S6Y3	45,0	87,5	91,0	91,5	91,5	90,5	0,64	0,82	0,87	0,89	0,89	1,2	1,0	2,1	1,4	9,0	6,5
4A250M6Y3	55,0	88,0	91,0	91,5	91,5	90,5	0,60	0,80	0,86	0,89	0,89	1,2	1,0	2,1	1,3	9,5	6,5
4A280S6Y3	75,0	90,0	92,5	92,5	92,0	90,0	0,70	0,85	0,88	0,89	0,88	1,2	1,0	2,2	2,0	8,3	7,0
4A280M6Y3	90,0	90,0	93,0	93,0	92,5	91,0	0,67	0,83	0,87	0,89	0,88	1,2	1,0	2,2	1,8	8,3	7,0
4A315S6Y3	110	91,0	93,0	93,5	93,0	92,0	0,68	0,84	0,88	0,90	0,89	1,0	0,9	2,2	1,8	8,2	7,0
4A315M6Y3	132	91,5	93,5	94,0	93,5	92,5	0,68	0,84	0,88	0,90	0,89	1,4	0,9	2,2	1,7	8,2	7,0
4A355S6Y3	160	91,5	93,5	94,0	93,5	92,5	0,73	0,86	0,89	0,90	0,89	1,4	0,9	2,2	1,4	6,5	7,0
4A355M6Y3	200	92,0	94,0	94,0	94,0	93,0	0,72	0,86	0,89	0,90	0,89	1,4	0,9	2,2	1,3	6,4	7,0
Синхронна частота обертання 750 об/хв																	
4A71B8Y3	0,25	36,5	51,5	56,5	56,0	45,0	0,29	0,42	0,55	0,65	0,75	1,6	1,4	1,7	12,7	45,0	3,0
4A80A8Y3	0,37	42,5	57,0	61,5	61,5	56,5	0,28	0,42	0,55	0,65	0,72	1,6	1,2	1,7	8,9	33,0	3,5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
4A80B8Y3	0,56	46,0	60,0	64,5	64,0	59,0	0,28	0,42	0,55	0,65	0,71	1,6	1,2	1,7	9,0	34,0	3,5
4A90LA8Y3	0,75	49,0	63,0	68,0	68,0	65,5	0,26	0,40	0,52	0,62	0,68	1,6	1,4	1,9	6,0	27,0	3,5
4A90LB8Y3	1,1	55,0	67,5	70,5	70,0	66,0	0,30	0,46	0,59	0,68	0,73	1,6	1,4	1,9	7,0	27,0	3,5
4A100L8Y3	1,5	62,0	73,0	75,0	74,0	70,0	0,26	0,44	0,57	0,65	0,69	1,6	1,3	1,9	7,0	27,0	4,0
4A112MA8Y3	2,2	64,0	74,5	76,5	76,5	74,0	0,30	0,48	0,62	0,71	0,76	1,9	1,5	2,2	6,0	23,0	5,0
4A112MB8Y3	3,0	69,5	78,0	79,5	79,5	76,5	0,33	0,52	0,66	0,74	0,78	1,9	1,5	2,2	5,8	35,0	5,0
4A132S8Y3	4,0	71,0	80,0	83,0	83,0	81,0	0,27	0,46	0,59	0,70	0,73	1,9	1,7	2,6	6,1	36,0	5,5
4A132M8Y3	5,5	74,5	82,0	83,5	83,0	80,5	0,32	0,52	0,65	0,74	0,76	1,9	1,7	2,6	4,1	25,0	5,5
4A160S8Y3	7,5	79,5	86,0	86,5	86,0	84,0	0,35	0,57	0,69	0,75	0,77	1,4	1,0	2,2	2,5	14,5	6,0
4A160M8Y3	11,0	81,0	87,0	87,5	87,0	85,0	0,35	0,57	0,69	0,75	0,77	1,4	1,0	2,2	2,5	15,0	6,0
4A180M8Y3	15,0	82,5	87,5	88,0	87,0	84,5	0,46	0,68	0,78	0,82	0,83	1,2	1,0	2,0	2,6	13,0	5,5
4A200M8Y3	18,5	85,5	89,5	89,5	88,5	86,5	0,50	0,71	0,80	0,84	0,84	1,2	1,1	2,2	2,3	13,0	5,5
4A200L8Y3	22,0	87,5	90,0	90,0	88,5	88,5	0,54	0,75	0,82	0,84	0,84	1,2	1,1	2,0	2,7	13,0	5,5
4A225M8Y3	30,0	85,0	90,0	90,5	90,5	88,5	0,44	0,66	0,76	0,81	0,82	1,3	1,2	2,1	1,8	11,5	6,0

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
4A250S8Y3	37,0	86,5	90,5	90,0	90,0	88,5	0,50	0,72	0,80	0,83	0,83	1,2	1,0	2,0	1,6	9,0	6,0
4A250M8Y3	45,0	87,0	90,5	91,0	91,0	90,0	0,49	0,71	0,80	0,84	0,84	1,2	1,0	2,0	1,4	9,0	6,0
4A280S8Y3	55,0	90,0	92,5	92,5	92,0	90,0	0,57	0,76	0,81	0,84	0,82	1,2	1,0	2,0	2,2	8,0	5,5
4A280M8Y3	75,0	90,5	93,0	93,0	92,5	91,0	0,58	0,77	0,82	0,85	0,84	1,2	1,0	2,0	2,2	8,5	5,5
4A315S8Y3	90,0	93,0	93,5	93,5	93,0	91,5	0,57	0,76	0,82	0,85	0,84	1,2	0,9	2,3	1,5	7,0	6,5
4A315M8Y3	110	91,0	93,0	93,5	93,0	92,0	0,56	0,75	0,82	0,85	0,84	1,2	0,9	2,3	1,5	7,5	6,5
4A355S8Y3	132	91,5	94,0	94,0	93,5	86,0	0,60	0,78	0,83	0,85	0,84	1,2	0,9	2,2	1,3	5,5	6,5
4A355M8Y3	160	92,0	94,0	94,0	93,5	92,0	0,61	0,79	0,83	0,85	0,83	1,2	0,9	2,2	1,3	5,5	6,5
Синхронна частота обертання 600 об/хв																	
4A250S10Y 3	30,0	84,5	88,5	88,5	88,0	86,0	0,43	0,66	0,76	0,81	0,82	1,2	1,0	1,9	1,9	10,5	6,0
4A280S10Y 3	37,0	86,5	90,5	91,0	91,0	89,5	0,44	0,65	0,73	0,78	0,77	1,0	1,0	1,8	1,7	8,5	6,0
4A280M10Y 3	45,0	87,0	92,0	92,0	91,5	89,5	0,47	0,68	0,74	0,78	0,77	1,0	1,0	1,8	1,7	7,5	6,0
4A315S10Y 3	55,0	88,5	92,0	92,0	92,0	91,0	0,49	0,69	0,76	0,79	0,79	1,0	0,9	1,8	1,8	10,0	6,0

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
4A315M10Y₃	75,0	89,5	92,5	92,5	92,0	90,5	0,52	0,71	0,78	0,80	0,80	1,0	0,9	1,8	1,6	8,5	6,0
4A355S10Y₃	90,0	91,0	93,0	93,0	92,5	90,5	0,60	0,77	0,81	0,83	0,80	1,0	0,9	1,8	1,6	5,5	6,0
4A355M10Y₃	110	91,0	93,5	93,5	93,5	91,5	0,56	0,74	0,80	0,83	0,81	1,0	0,9	1,8	1,6	6,5	6,0
Синхронна частота обертання 500 об/хв																	
4A315S12Y₃	45,0	87,5	91,0	91,0	90,00	89,0	0,43	0,64	0,72	0,75	0,75	1,0	0,9	1,8	2,5	10,5	6,0
4A315M12Y₃	55,0	88,0	91,0	91,5	91,0	89,5	0,42	0,63	0,71	0,75	0,75	1,0	0,9	1,8	2,3	10,0	6,0
4A355S12Y₃	75,0	88,0	91,5	91,5	91,5	90,5	0,41	0,62	0,71	0,76	0,75	1,0	0,9	1,8	1,5	6,5	6,0
4A355M12Y₃	90,0	88,0	91,5	92,0	92,0	91,0	0,40	0,61	0,71	0,76	0,76	1,0	0,9	1,8	1,3	6,0	6,0

ДОДАТОК Г.
ОСНОВНІ ТЕХНІЧНІ ДАНІ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ОСНОВНОГО
ВИКОНАННЯ, СТУПІНЬ ЗАХИСТУ IP23

Типорозмір електро- двигуна	$P_{2\text{ном}}$ кВт	Енергетичні показники										Пускові властивості					
		КПД% при $P_2/P_{2\text{ном}}$, %					$\cos \varphi$ при $P_2/P_{2\text{ном}}$, %					Механічні характеристики					$i_{\text{п}}$
		25	50	75	100	125	25	50	75	100	125	$m_{\text{п}}$	m_m	$m_{\text{к}}$	$S_{\text{ном}}$,%	$S_{\text{к}}$,%	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Синхронна частота обертання 3000 об/хв																	
4АН160S2У3	22,0	87,5	90,0	89,5	88,0	85,0	0,68	0,83	0,87	0,88	0,87	1,3	1,0	2,2	2,8	12,5	7,0
4АН160М2У3	30,0	90,0	92,0	91,5	90,0	87,0	0,77	0,88	0,90	0,91	0,90	1,3	1,0	2,2	2,9	12,5	7,0
4АН180S2У3	37,0	87,0	90,5	91,0	91,0	90,0	0,59	0,78	0,87	0,91	0,91	1,2	1,0	2,2	1,8	12,5	7,0
4АН180М2У3	45,0	88,5	91,5	91,5	91,0	89,5	0,66	0,83	0,88	0,91	0,91	1,3	1,0	2,2	1,9	12,5	7,0
4АН200М2У3	55,0	87,5	91,0	91,0	91,0	90,0	0,68	0,84	0,88	0,90	0,90	1,3	1,0	2,5	2,0	11,5	7,0
4АН200L2У3	75,0	89,5	92,0	92,5	92,0	91,0	0,72	0,85	0,89	0,90	0,89	1,3	1,0	2,5	2,0	11,5	7,0
4АН225М2У3	90,0	89,5	92,0	92,5	92,0	91,0	0,67	0,83	0,87	0,88	0,88	1,2	1,0	2,2	1,9	11,0	7,0

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
4AH250S2Y3	110	90,0	92,5	93,0	93,0	92,0	0,67	0,81	0,85	0,86	0,85	1,2	1,0	2,2	1,6	10,0	7,0
4AH250M2Y3	132	91,5	93,0	93,5	93,0	92,0	0,76	0,86	0,87	0,88	0,87	1,2	1,0	2,2	1,9	10,0	7,0
4AH280S2Y3	160	93,0	94,5	94,5	94,0	92,0	0,86	0,88	0,89	0,90	0,87	1,2	1,0	2,2	1,4	6,5	6,5
4AH280M2Y3	200	94,5	95,5	95,0	94,5	92,5	0,85	0,88	0,89	0,90	0,86	1,2	1,0	2,2	1,4	6,3	6,5
4AH315M2Y3	250	94,0	95,0	95,0	94,5	93,0	0,89	0,93	0,92	0,91	0,85	1,0	0,9	1,9	1,2	5,4	6,5
4AH355S2Y3	315	93,0	94,5	94,5	94,5	93,0	0,86	0,92	0,92	0,92	0,89	1,0	0,9	1,9	1,0	5,3	6,5
4AH355M2Y3	400	94,5	95,5	95,5	95,0	93,5	0,89	0,93	0,93	0,92	0,88	1,0	0,9	1,9	1,0	5,3	6,5
Синхронна частота обертання 1500 об/хв																	
4AH160S4Y3	18,5	88,5	91,0	90,5	88,5	86,5	0,64	0,81	0,86	0,87	0,86	1,3	1,0	2,1	3,2	14,5	6,5
4AH160M4Y3	22,0	89,0	92,0	91,5	90,0	88,0	0,66	0,82	0,87	0,88	0,87	1,3	1,0	2,1	2,9	14,5	6,5
4AH180S4Y3	30,0	88,0	90,5	90,5	90,0	87,5	0,57	0,73	0,81	0,84	0,82	1,2	1,0	2,2	2,3	14,0	6,5
4AH180M4Y3	37,0	89,0	91,5	91,5	90,5	88,5	0,65	0,82	0,87	0,89	0,88	1,2	1,0	2,2	2,1	14,0	6,5
4AH200M4Y3	45,0	89,5	92,0	92,0	91,0	89,5	0,65	0,83	0,87	0,89	0,89	1,3	1,0	2,5	1,8	11,5	6,5
4AH200L4Y3	55,0	90,0	92,5	92,5	92,0	90,5	0,67	0,83	0,88	0,89	0,88	1,3	1,0	2,5	1,7	11,5	6,5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
4AH225M4Y3	75,0	91,5	93,0	93,0	92,5	91,0	0,68	0,84	0,88	0,89	0,88	1,2	1,0	2,2	1,6	10,0	6,5
4AH250S4Y3	90,0	91,0	93,5	94,0	93,5	92,5	0,67	0,83	0,87	0,89	0,89	1,2	1,0	2,2	1,4	9,5	6,5
4AH250M4Y3	110	91,5	93,5	94,0	93,5	92,5	0,67	0,83	0,87	0,89	0,88	1,2	1,0	2,2	1,5	9,5	6,5
4AH280S4Y3	132	93,0	94,0	94,0	93,0	91,0	0,79	0,88	0,89	0,89	0,85	1,2	1,0	2,0	2,0	7,2	6,0
4AH280M4Y3	160	93,0	94,5	94,0	93,5	92,0	0,79	0,89	0,90	0,90	0,87	1,2	1,0	2,0	2,0	7,0	6,0
4AH315S4Y3	200	93,5	94,5	94,5	94,0	92,5	0,79	0,89	0,91	0,91	0,88	1,2	0,9	2,0	1,8	6,0	6,5
4AH315M4Y3	250	94,0	95,0	94,5	94,0	92,0	0,84	0,91	0,92	0,91	0,86	1,2	0,9	2,0	1,8	6,0	6,5
4AH355S4Y3	315	94,0	95,5	95,5	94,5	93,0	0,82	0,91	0,91	0,91	0,87	1,2	0,9	2,0	1,2	5,3	6,5
4AH355M4Y3	400	94,5	95,5	95,0	94,5	93,0	0,83	0,91	0,91	0,91	0,87	1,2	0,9	2,0	1,2	5,2	6,5
Синхронна частота обертання 1000 об/хв																	
4AH180S6Y3	18,5	83,5	88,0	88,0	87,0	85,0	0,47	0,72	0,81	0,85	0,85	1,2	1,0	2,0	2,5	13,5	6,0
4AH180M6Y3	22,0	86,0	89,5	89,5	88,5	86,5	0,56	0,77	0,84	0,87	0,87	1,2	1,0	2,0	2,4	13,5	6,0
4AH200M6Y3	30,0	88,5	91,0	91,0	90,0	88,0	0,69	0,80	0,83	0,88	0,88	1,3	1,0	2,1	2,3	13,5	6,0
4AH200L6Y3	37,0	87,5	91,0	91,0	90,5	89,0	0,58	0,78	0,85	0,88	0,88	1,3	1,0	2,1	1,9	13,5	6,5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
4AH225M6Y3	45,0	89,5	92,0	92,0	91,0	89,0	0,62	0,80	0,85	0,87	0,86	1,2	1,0	2,0	2,0	11,5	6,5
4AH250S6Y3	55,0	88,5	92,5	93,0	92,5	91,5	0,57	0,77	0,84	0,87	0,87	1,2	1,0	2,0	1,3	9,5	6,5
4AH250M6Y3	75,0	90,0	93,0	93,0	93,0	92,0	0,57	0,78	0,84	0,87	0,87	1,2	1,0	2,0	1,2	9,5	7,0
4AH280S6Y3	90,0	92,5	94,0	93,5	92,5	90,5	0,70	0,85	0,88	0,89	0,87	1,2	1,0	2,0	2,2	8,4	6,0
4AH280M6Y3	110	93,0	94,0	93,5	92,5	90,5	0,70	0,85	0,88	0,89	0,87	1,2	1,0	2,0	2,2	8,4	6,0
4AH315S6Y3	132	93,5	94,5	94,0	93,0	91,0	0,75	0,87	0,89	0,89	0,85	1,2	0,9	1,9	1,8	6,7	6,0
4AH315M6Y3	160	94,0	95,0	94,5	93,5	91,5	0,75	0,87	0,89	0,89	0,85	1,2	0,9	1,9	1,8	6,5	6,0
4AH355S6Y3	200	94,0	95,0	95,0	94,0	92,0	0,76	0,88	0,90	0,90	0,87	1,2	0,9	1,9	1,6	6,2	6,5
4AH355M6Y3	250	94,0	95,0	94,5	94,0	92,5	0,76	0,88	0,90	0,90	0,87	1,2	0,9	2,0	1,6	6,2	6,5
Синхронна частота обертання 750 об/хв																	
4AH180S8Y3	15,0	82,0	86,5	87,0	86,0	83,5	0,44	0,66	0,76	0,80	0,81	1,2	1,0	1,9	2,6	13,0	5,5
4AH180M8Y3	18,5	84,5	88,5	88,5	87,5	85,0	0,47	0,69	0,77	0,80	0,80	1,2	1,0	1,9	2,7	13,0	5,5
4AH200M8Y3	22,0	88,0	91,0	90,5	89,0	86,0	0,54	0,75	0,82	0,84	0,83	1,3	1,0	2,0	2,6	13,0	18
4AH200L8Y3	30,0	87,0	90,5	90,5	89,5	87,5	0,49	0,71	0,79	0,82	0,82	1,3	1,0	2,0	2,3	13,0	5,5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
4AH225M8Y3	37,0	87,5	91,0	91,0	90,0	88,0	0,48	0,70	0,78	0,81	0,81	1,2	1,0	1,9	2,0	11,5	5,5
4AH250S8Y3	45,0	88,0	91,5	91,5	91,0	89,5	0,47	0,68	0,77	0,81	0,80	1,2	1,0	1,9	1,5	9,0	5,5
4AH250M8Y3	55,0	89,5	92,5	92,5	92,0	90,5	0,49	0,70	0,78	0,81	0,81	1,2	1,0	1,9	1,6	9,0	6,0
4AH280S8Y3	75,0	91,5	93,5	93,0	92,0	90,0	0,58	0,77	0,83	0,85	0,82	1,2	1,0	1,9	2,5	8,3	5,5
4AH280M8Y3	90,0	93,0	94,0	93,5	92,5	90,0	0,62	0,80	0,84	0,86	0,83	1,2	1,0	1,9	2,5	8,3	5,5
4AH315S8Y3	110	92,5	94,0	94,0	93,0	91,0	0,64	0,81	0,85	0,86	0,83	1,2	0,9	1,9	2,0	6,3	5,5
4AH315M8Y3	132	93,0	94,5	94,0	93,0	91,0	0,65	0,81	0,85	0,86	0,82	1,2	0,9	1,9	2,0	6,3	5,5
4AH355S8Y3	160	94,0	95,0	94,5	93,5	91,5	0,67	0,83	0,86	0,86	0,82	1,1	0,9	1,9	1,8	5,6	5,5
4AH355M8Y3	200	94,5	95,5	95,0	94,0	92,0	0,70	0,84	0,86	0,86	0,81	1,1	0,9	1,9	1,8	5,5	5,5
Синхронна частота обертання 600 об/хв																	
4AH280S10Y 3	45,0	88,5	91,0	90,5	90,0	88,0	0,50	0,70	0,77	0,81	0,79	1,0	1,0	1,8	2,8	10,6	5,0
4AH280M10Y 3	55,0	88,5	91,0	91,0	90,5	88,5	0,50	0,70	0,77	0,81	0,79	1,0	1,0	1,8	2,8	11,1	5,0
4AH315S10Y 3	75,0	91,0	92,5	92,0	91,0	88,5	0,59	0,76	0,81	0,82	0,78	1,0	0,9	1,8	2,2	7,8	5,5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
4AH315M10Y₃	90,0	91,0	93,0	92,5	91,5	89,5	0,59	0,76	0,80	0,82	0,79	1,0	0,9	1,8	2,2	7,7	5,5
4AH355S10Y₃	110	91,5	93,0	92,5	92,0	90,5	0,57	0,75	0,82	0,83	0,81	1,0	0,9	1,8	1,8	6,7	5,5
4AH355M10Y₃	132	92,0	93,5	93,0	92,5	91,0	0,59	0,77	0,82	0,83	0,81	1,0	0,9	1,8	1,8	6,7	5,5
Синхронна частота обертання 500 об/хв																	
4AH315S12Y₃	55,0	91,0	93,0	92,0	90,5	86,0	0,53	0,72	0,77	0,78	0,71	1,0	0,9	1,8	2,5	7,6	5,5
4AH315M12Y₃	75,0	89,5	91,5	91,5	91,0	89,0	0,46	0,67	0,74	0,78	0,76	1,0	0,9	1,8	2,5	7,6	5,5
4AH355S12Y₃	90,0	80,0	87,5	90,0	91,5	92,0	0,16	0,32	0,44	0,77	0,61	1,0	0,9	1,8	2,2	6,4	5,5
4AH355M12Y₃	110	80,0	87,5	90,5	92,0	92,0	0,15	0,30	0,43	0,77	0,59	1,0	0,9	1,8	2,2	6,5	5,5

ДОДАТОК Д.
ПЕРЕЛІК ЗАУВАЖЕНЬ НОРМОКОНТРАЛЕРА
до дипломної роботи студента групи ЕЛКзп-19
БЕЗРУКА Олександра Олександровича

Позначення документа	Документ	Умовне позначення	Зміст зауваження

Дата _____