Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»

Інститут Електроенергетики
(інститут)
Електротехнічний факультет
(факультет)
Кафедра електропривода
(повназва)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
кваліфікаційної роботи ступеню Бакалавр
(бакалавра, спеціаліста, магістра)

студента Стасюк Владислав Анатолійович
(ПІБ)
академічної групи 14 Електрична інженерія
(шифр)
спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(код і назва спеціальності)
спеціалізації[1] (Електропривод, мехатроніка та робототехніка)
за освітньо-професійною програмою _____
(офіційна назва)
на тему Асинхронний регульований електропривод відцентрової насосної установки
(назва за наказом ректора)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи				
розділів:	Бородай В.А.			
	Тимошенко Л.В.			
	Столбченко О.В.			

Рецензент	Ковальов О.Р.			

Нормоконтролер	Казачковський М.М.			

Дніпро
2021

						Арк.
						1
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗАТВЕРДЖЕНО:
завідувач кафедри
Електропривода
(повна назва)

_____ М.М. Казачковський
(підпис) (прізвище, ініціали)

«_05_» _травня__2021року

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу
ступеня__бакалавр____
(бакалавра,спеціаліста, магістра)

студенту_____Стасюк В.А. _____**академічної групи** _14 Електрична інженерія
(прізвище та ініціали) (шифр)

спеціальності ___141___Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка_____

спеціалізації _____(Електропривод, мехатроніка та робототехніка)_____

за освітньо-професійною програмою _____
(офіційна назва)

на тему Асинхронний регульований електропривод відцентрової насосної установки

затверджену наказом ректора НТУ«Дніпровська політехніка» від_12.04.2021р._№_201-с_

Розділ	Зміст	Термін виконання
1.Технологічна частина 2.Автоматизований електропривод	Аналіз технологічної установки і формулювання вимог до електропривода. Визначення вхідних даних механізму та розрахунок потужності і вибір комплектного електропривода для асинхронного двигуна.	20.01.2021 24.02.2021, 25.02.2021 – 23.03.2021
3.Дослідження динаміки електропривода	Обґрунтування вибору системи керування. Вибір і розрахунок структури і регуляторів моделі. Дослідження та аналіз роботи системи електропривода.	24.04.2021-25.05.2021
4.Техніко-економічне обґрунтування проекту	Здійснення розрахунку капітальних та експлуатаційних витрат.	25.05.2021-31.05.2021
5.Охорона праці та небезпека в надзвичайних ситуаціях	Аналіз шкідливих та небезпечних факторів, що впливають на роботу персоналу. Формулювання рекомендацій, що до усунення небезпеки.	01.06.2021-05.06.2021

Завдання видано _____ Бородай В.А.
(підпис керівника) (прізвище, ініціали)

Дата видачі 15 жовтня 2020

Дата подання до екзаменаційної комісії 17.06.2021

Прийнято до виконання _____ ___Стасюк В.А.___
(підпис студента) (прізвище, ініціали)

ЗМІСТ

ЗМІСТ 3
РЕФЕРАТ 4
Пояснювальна записка: 59 с., 15 рисунків, 13 літературних джерел. 4
ВСТУП 6
1. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА 8
1.1.Загальні відомості. 8
1.2. Особливості конструкції та класифікація насосів. 10
1.3.Режими роботи 11
1.4. Вимоги до електроприводу 13
2. АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД 16
2.1 Вхідні дані для проектування 16
2.2. Розрахунок потужності двигуна насоса 16
2.3. Перевірка двигуна на перевантажувальну здатність 21
2.4 Вибір перетворювача 22
3. ДИНАМІКА ЕЛЕКТРОПРИВОДА 26
3.1. Загальні відомості 26
3.2 Математична модель електропривода 28
3.3 Розрахунок параметрів моделі 32
3.4 Математична моделювання 37
4. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ 40
4.1 Розрахунок капітальних витрат 40
4.2. Розрахунок експлуатаційних витрат 43
4.3. Розрахунок амортизаційних відрахувань 43
4.4. Визначення річних витрат на технічне обслуговування і поточний ремонт 44
4.5. Розрахунок вартості спожитої електроенергії 45
5. ОХОРОНА ПРАЦІ 47
5.1 Загальні положення 47
5.2 Ураження електричним струмом 47
5.3 Рухомі елементи з’єднувальної муфти 48
5.4 Мікроклімат 48
5.5 Шум та вібрація 49
5.6 Освітленість робочої зони 50
5.7 Пожежна небезпека 54
ВИСНОВКИ 57
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 58
ДОДАТОК А 59

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 59 с., 15 рисунків, 13 літературних джерел.

Тема кваліфікаційної роботи – «Асинхронний регульований електропривод відцентрової насосної установки».

Мета роботи – аналіз основних конструктивних схем відцентрових насосів і зменшення затрат на електроенергію.

Відповідно до поставленої мети було:

– розглянуто основні види відцентрових насосів загальнопромислового призначення й проведено їх аналіз;

– розрахована потужність двигуна;

– було обране обладнання згідно розрахунків;

– проведена перевірка двигуна на перевантажувальну здатність;

– проведений аналіз систем управління та побудова математичної моделі .

У розділі охорони праці проведено аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів при роботі на насосній установці . У економічній частині роглянута доцільність впровадження систем управління на підприємствах.

ABTRACT

Explanatory note: 62 pp., 15 drawings, 13 literary sources.

The topic of the qualification work is "Asynchronous adjustable electric drive of a centrifugal pumping unit".

The purpose of the work is to analyze the main structural schemes of centrifugal pumps and reduce electricity costs.

According to the goal was:

- the main types of centrifugal pumps of general industrial purpose are considered and their analysis is carried out;
- calculated engine power;
- the equipment was selected according to the calculations;
- the engine was checked for overload capacity;
- analysis of control systems and construction of a mathematical model.

In the section of labor protection the analysis of dangerous and harmful production factors at work on the pump installation is carried out. In the economic part the expediency of introduction of management systems at the enterprises is considered.

ВСТУП

В умовах енергетичної кризи та у зв’язку з ростом цін на електроенергію, а також обмеженими можливостями збільшення потужності енергогенеруючих установок, проблема енергозбереження здобуває особливу актуальність і має велике практичне значення.

В вітчизняній та світовій промисловості застосовується різноманітне насосне обладнання, яке призначене для перекачки рідини і її транспортування до місця призначення. Постійно вдосконалюються і збільшується номенклатура обладнання (насоси водозабору, насосні станції нагнітання і т.д.).

Особливу роль при цьому відіграють відцентрові насоси. Відцентрові насоси широко застосовують, наприклад, для закачування води в нафтоносні пласти. Особливо ефективні насоси лопатеві при переміщенні відносно великих мас рідини.

Більшість нерегульованих електроприводів працюють зі значним недовантаженням, що призводить до великих втрат енергії. Широке застосування потужних силових керованих перетворювачів напруги й частоти для регульованого електроприводу постійного та змінного струму значно загострили проблему забезпечення необхідної якості електроенергії, передовсім коефіцієнта потужності, нелінійних спотворювань напруги та струму, стабільність напруги та ін. Традиційне рішення цієї проблеми за допомогою дорогих пасивних фільтрів є недостатньо ефективним через труднощі настроювання на фіксовану частоту.

У зв'язку з великою вартістю перетворюючих пристроїв для частотного управління і з врахуванням особливостей роботи вентиляторної установки доцільною схемою регульованого ЕП може бути асинхронний привід з фазовим управлінням напругою на затискачах статора. Система тиристорний регулятор напруги – асинхронний двигун (ТРН-АД) забезпечує регулювання агрегату в певних межах, його запуск. Основними перевагами такої системи ЕП є її простота, надійність, легкість автоматизації в загальній технологічній схемі.

1 Технологічна частина

1. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

1.1.Загальні відомості.

Насоси, широко застосовуються в усіх без винятку галузях народного господарства в системах водо- і теплопостачання, водовідливу, переміщення гідросумішей твердих сипких матеріалів (в тому числі, вугілля, породи та відходів збагачення), нафти та нафтопродуктів (гасу, авіаційного палива, бензину, тощо).

По принципу дії, а також по конструктивним особливостям насоси поділяються на **динамічні й об'ємні**.

а)

б)

в)

г)

а –дозувальний насос;

б –відцентровий секційний насос;

в – відцентровий герметичний насос;

г – поршневий насос

Рис. 1.1 – Види насосів

Динамічні насоси - це насоси, в яких рідина під впливом гідродинамічних сил переміщається в камері, що постійно сполучена з вхідним і вихідним патрубками насоса. Динамічні насоси в свою чергу поділяються на лопатеві насоси, тертя та насоси інерційного типу. Найбільшого поширення набули лопатеві насоси.

Лопатевими їх називають тому, що основним елементом цих насосів є робоче колесо з закріпленими на ньому лопатями. Принцип дії лопатних насосів заснований на силовій взаємодії лопаті з обтікаючим її потоком рідини. В залежності від форми робочих коліс і характеру протікання в них рідини лопатеві насоси в свою чергу підрозділяються на відцентрові та осьові.

У **насосах тертя** рідина переміщається за рахунок сил тертя. До насосів цього типу відносяться: вихрові, дискові та гідроструминні.

Робота *інерційних насосів* базується на збудженні в рідині коливань, що сприяють її руху. Конструкція всіх вібраційних насосів є однотипною. Насос складається з електромагніту, вібратора, поміщених в корпус.

До **об'ємних** відносяться поршневі і плунжерні, роторні (шестерінчасті, гв интові і ін.), пластинчасті, мембранні, перистальтичні й крильчасті насоси.
Принцип дії об'ємних насосів заснований на вимушеному виштовхуванні визначеного об'єму рідини із замкнутої камери.

Працюючі насоси перетворюють механічну енергію, що підводиться до валу від двигуна, в потенціальну і кінетичну енергію потоку рідини. В деяких конструкціях насосу підвищення енергії рідини що переміщується здійснюється за рахунок гідравлічної енергії, рідини що передається від струмини або потоку так званої робочої рідини.

Насоси належать до найбільш поширених видів машин. Гідравлічні насоси знайшли широке застосування втехніці, наприклад, використовуються в системах водопостачання, опалення будівель і зрошення землі, для переміщення робочих рідин в двигунах внутрішнього згорання, паросилових установках, в системах гідравлічного приводу і т.д.

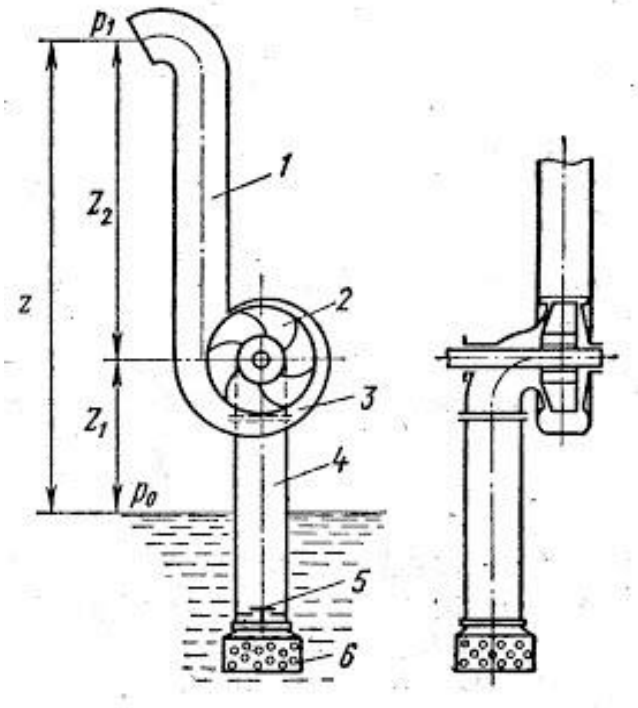
Особливо значна роль насосів на тих підприємствах, де вони є невід'ємною частиною технологічного устаткування. В таких випадках його безперебійна робота забезпечує необхідну циклічність всього технологічного процесу.

1.2. Особливості конструкції та класифікація насосів.

Відцентрові насоси використовуються для перекачування води, каналізації, нафти і нафтопродуктів.

Ознаки, по яким класифікують відцентрові насоси:

- по числу коліс: одноступінчасті і багатоступінчасті;
- по розташуванню вала робочого колеса: горизонтальні і вертикальні;
- по типу всмоктування: з одностороннім і двохстороннім всмоктуванням;
- по створюваному напору: низько напірні (20 – 25 м), середньо напірні (20 – 60 м) і високо напірні (більше 60 м);
- по швидкохідності: тихохідні і швидкохідні.



1 – нагнітальний трубопровід
2 – робоче колесо
3 – нерухома спіральна камера
4 – всмоктувальна труба
5 – прийомний клапан
6 – фільтр

Рис. 1.2 - Схема відцентрового насосу.

На рис.1.2 приведена схема відцентрового насосу, розташованого на відстані z_1, вище рівня рідини, яка знаходиться в приймальному резервуарі.

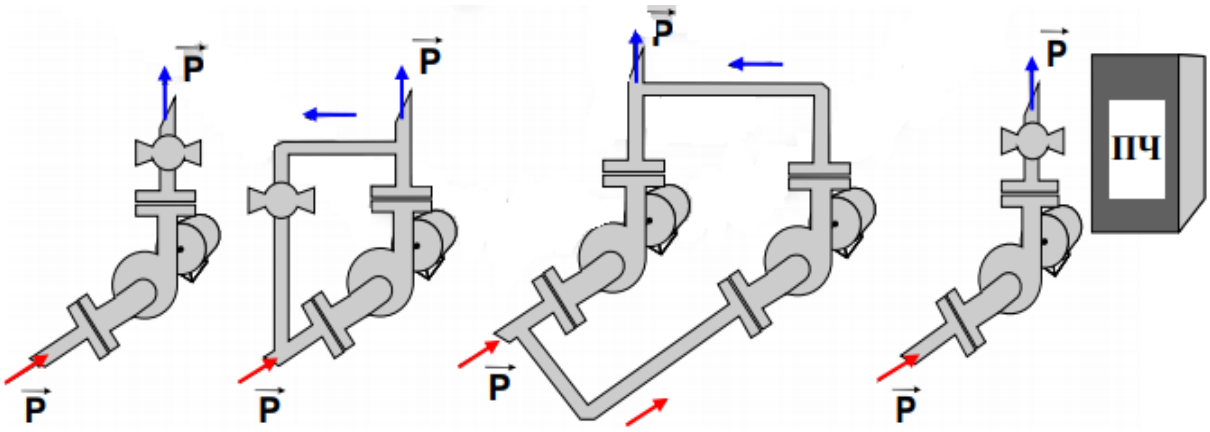
Перед пуском насос і всмоктувальна труба 4 повинні бути заповненні рідиною. Після цього вмикають двигун, який приводить в обертанні робоче колесо 2. Рідина обертається разом з колесом і під дією відцентрової сили відкидається від центру робочого колеса до її периферії, заповнює нерухому спіральну камеру 3 і по нагнітальному трубопроводі 1 піднімається на висоту z_2. При цьому утворюється розрідження у вході в робоче колесо. Під дією атмосферного тиску рідина із прийомного резервуара через фільтр 6 і прийомний клапан 5 по всмоктувальному трубопроводу 4 поступає в насос, заповнює центральну частину робочого колеса, і відкидається до периферії колеса і т. д. таким чином під дією неперервної відцентрової сили утворюється неперервний потік рідини через відцентровий насос. При течії рідини через робоче колесо механічна енергія двигуна перетворюється в енергію потоку рідини. При цьому на виході із робочого колеса збільшується її тиск.

1.3.Режими роботи

Насосні установки відцентрового типу характеризуються наступними способами регулювання подачі: - дроселюванням трубопроводу; - перепуском потоку рідини із вихідного патрубка насосу у вхідний; - періодичним відключенням насосів (ступеневе регулювання); - зміною частоти обертання робочого колеса насоса.

Дроселювання трубопроводу (рис.1.3,а) – механічне регулювання нанапірному патрубку насоса пристроєм типу шибера, дросель-клапана, засувки, діафрагми і т.і. зміни поперечного перерізу трубопроводу.

Недоліки. Знижений ККД насосної станції при глибокому регулюванні подачі, можливість однозонного регулювання в бік зменшення подачі або напору насосної установки.



а) б) в) г)

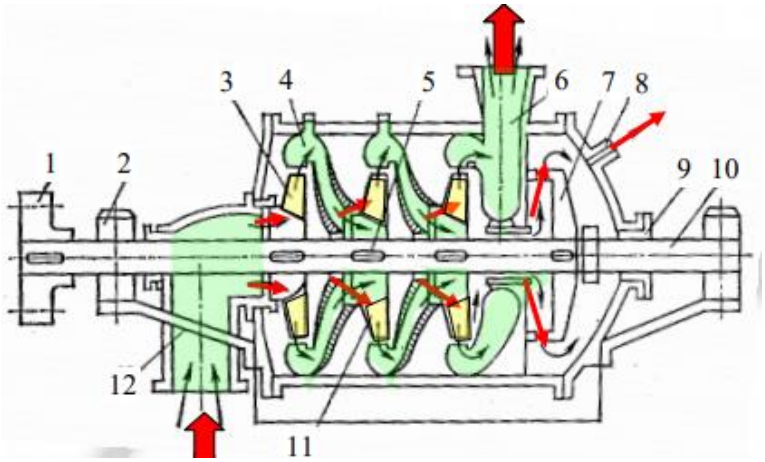
Рис. 1.3 - Схема регулювання напору насосних установок

Регулювання напору перепуском (рис. 1.3,б) – відведення через засувку частки потоку рідини із виходу насоса на його вхід. Витрати енергії циркуляції рідини знижують ККД установки, особливо при глибокому регулюванні. Як і в попередньому методі, подача регулюється тільки в бік зменшення.

Ступеневе регулювання подачі насосної станції (рис. 1.3,в) здійснюється підключенням - відключенням насосу або групи насосів. Спосіб характеризується простотою управління і не потребує додаткових регулюючих пристроїв. Він не забезпечує безперервну та якісну підтримку напору при зміні споживання рідини і викликає часті пуски двигунів, що зменшує їх довговічність.

Зміна частоти обертання (рис. 1.3,г) робочого колеса насосу дозволяє здійснювати безперервне регулювання продуктивності з меншими витратами енергії. Однак такий спосіб потребує більших капітальних витрат на обладнання перетворення, особливо для установок з потужністю вище середньої, та призводить до гіршої електромагнітної сумісності з мережею. Серійний випуск таких електроприводів знижує їх вартість, і, як наслідок, робить дану насосну систему перспективною.

Допустимий і комбінований спосіб управління, наприклад, варіант регулювання у поєднанні зміни частоти обертання і керування дроселюванням.



триступеневий відцентровий насос:
1 – з'єднувальна муфта;
2 – роликові підшипники;
3 – робоче колесо;
4 – направляючий апарат;
5 – шпонки;
6 – дифузор;
7 – розвантажувальний диск;
8 – розвантажувальна трубка;
9 – сальники;
10 – вал;
11 – робоче колесо;
12 – колекторний патрубок

Рис. 1.4 – Кінематична схема відцентрового насоса

1.4. Вимоги до електроприводу

- Відмінною особливістю механізмів такого типу є полегшені умови пуску (момент зрушення не перевищує 30-35% від номінального; форми механічних характеристик АД і робочої машини узгоджені, що дозволяє здійснювати пуск під дією практично незмінного динамічного моменту).

- Відцентрові механізми допускають використання нерегульованого привода АД з КЗ ротором, а за значної потужності доцільно їх комплектувати синхронними двигунами.

- Крупні установки вентиляторного типу мають сумарний момент інерції значно вищий за інерційні властивості двигуна. Наслідок — прямий пуск стає затягнутим і супроводжується значним нагрівом обмоток. Такі обставини дають підстави для використання асинхронних двигунів з фазним ротором і у тому випадку, коли регулювання швидкості не потрібне. Проте залучення реостатного процесу пуску АД двигунів забезпечує зменшення пускових струму та нагріву обмоток двигуна.

- Насосні установки працюють в умовах агресивного, вибухонебезпечного середовища, за високих температури та вологості. Для таких установок

використовують переважно асинхронні короткозамкнені двигуни закритого виконання, а для особливо важких умов — двигуни спеціальної конструкції.

- В установках, які вимагають плавного і автоматичного регулювання подачі, 198 електропривод виконується регульованим. В середньому для регульованих механізмів відцентрового типу необхідний діапазон регулювання швидкості зазвичай становить не більше 2:1.

Відмічені особливості даних механізмів та невисокі вимоги відносної жорсткості механічних характеристик дозволяють успішно застосовувати для них прості у реалізації регульованого асинхронного електропривода.

2. Автоматизований електропривод

2. АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД

2.1 Вхідні дані для проектування

Вхідні дані:

Q = 25	$м^3/год$	Продуктивність по рідині
$\rho = 0{,}8 \times 10^3$	$кГ/ м^3$	Щільність рідини
h1 = 0.6	м	Висота всмоктування рідини
h2 = 20	м	Висота нагнітання рідини
ωн = 302	рад/с	Номінальна швидкість
g = 9.8	$м/с^2$	Прискорення вільного падіння

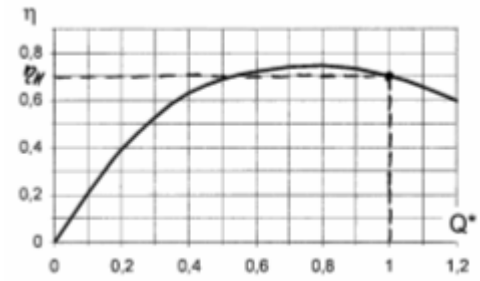


Рис.2.1 - ККД у функції продуктивності

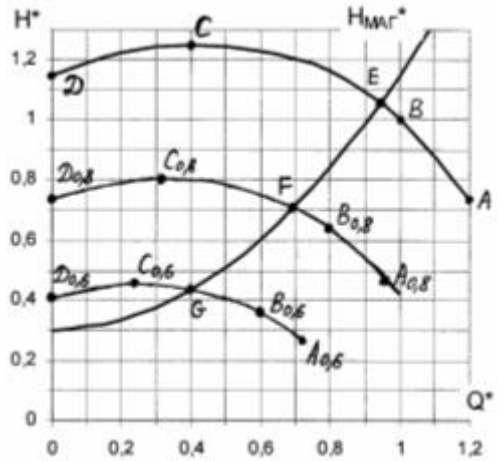


Рис.2.2 - Q – H характеристики

2.2. Розрахунок потужності двигуна насоса

1. Розрахунок потужності

Номінальна продуктивність за секунду:

$$Qн = \frac{Q}{3600} = \frac{25}{3600} = 6.944 * 10^{-3}, м^3/с \qquad (2.1)$$

Номінальний напор за секунду:

$$Нн = h2 – h1 = 20 – 0.6 = 19.4, Па \qquad (2.2)$$

Згідно залежності η = f(Q*) номінальний ККД вентилятора (за Q*=1) дорівнює η = 0.7 , а ККД передачі за умов, що показання дорівнює вище Звідки потужність визначається:

$$Pdv = \frac{Qн*Hн*\rho*g}{\eta} = \frac{6.944*10^{-3}*19.4*0,8*10^{3}*9.8}{0.7} = 1508.9, Вт \qquad (2.3)$$

2. Розрахунок довільних Q-H характеристика

Побудова ряду довільних Q – H характеристик за наявності номінальної передбачає:

- визначення довільних точок А, Б, С, Д;
- встановлення їх координат;
- визначення та побудова штучних Q – H характеристик

Qa =1.2 Ha = 0.73 Qб = 1 Hб = 1 Qc = 0.4 Hc = 1.25 Qд = 0 Hд = 1.15

Побудова номінальної Q-H характеристики

$$data = \begin{pmatrix} Qa & Ha \\ Qc & Hc \\ Qб & Hб \\ Qд & Hд \end{pmatrix};$$ data = csort (data, 0); $x = data^{<0>}$; $y = data^{<1>}$; Ss

=cspline (x,y)

H1(Q) = interp (Ss, x, y, Q); j = 0…100; $Q_j = \min(x) + \frac{j\,(\max(x)-\min(x))}{100}$

Побудова номінальної Q-H характеристики 0.8 номінальної

$$data = \begin{pmatrix} Qa08 & Ha08 \\ Qc08 & Hc08 \\ Qб08 & Hб08 \\ Qд08 & Hд08 \end{pmatrix};$$ data1 = csort (data1, 0); $x1 = data1^{<0>}$;

y1 = data1$^{<1>}$; Ss =cspline (x1,y1);H08(Q) = interp (Ss, x1, y1, Q1;

j = 0…100;

$$Q1_j = \min(x1) + \frac{j\,(\max(x1) - \min(x1))}{100}$$

Розрахунок довільної Q-H характеристики за $\omega_1 = 0.8$, в. о.

ω1 = 0.8; ω2 = 1.

Qa08 = Qa $\left(\frac{\omega1}{\omega2}\right)$ = 1.2 $(\frac{0,8}{1})$ = 0.96 Ha08 = Ha $\left(\frac{\omega1}{\omega2}\right)^2$ = 0.73 $\left(\frac{0.8}{1}\right)^2$ = 0.467

Qб08 = Qб $\left(\frac{\omega1}{\omega2}\right)$ = 1 $(\frac{0,8}{1})$ = 0.8 Hб08 = Hб $\left(\frac{\omega1}{\omega2}\right)^2$ = 1 $\left(\frac{0.8}{1}\right)^2$ = 0.64

Qc08 = Qc $\left(\frac{\omega1}{\omega2}\right)$ = 0.4 $(\frac{0,8}{1})$ = 0.32 Hc08 = Hc $\left(\frac{\omega1}{\omega2}\right)^2$ = 1.25 $\left(\frac{0.8}{1}\right)^2$ = 0.8

Qд08 = Qд $\left(\frac{\omega1}{\omega2}\right)$ = 0 $(\frac{0,8}{1})$ = 0 Hд08 = Hд $\left(\frac{\omega1}{\omega2}\right)^2$ = 1.15 $\left(\frac{0.8}{1}\right)^2$ = 0,736

(2.4)

Побудова номінальної Q-H характеристики 0.6 номінальної

data = $\begin{pmatrix} Qa03 & Ha03 \\ Qc03 & Hc03 \\ Qб03 & Hб03 \\ Qд03 & Hд03 \end{pmatrix}$; data2 = csort (data2, 0); x2 = data2$^{<0>}$;

y2 = data2$^{<1>}$; Ss =cspline (x2,y2);H08(Q) = interp (Ss, x2, y2, Q2; j = 0…100;

$$Q2_j = \min(x2) + \frac{j\,(\max(x2) - \min(x2))}{100}$$

Розрахунок довільної Q-H характеристики за $\omega_1 = 0.6$, в. о.

ω1 = 0.6; ω2 = 1.

Qa03 = Qa $\left(\frac{\omega1}{\omega2}\right)$= 1.2 $(\frac{0,6}{1})$ = 0.72 Ha08 = Ha $\left(\frac{\omega1}{\omega2}\right)^2$ = 0.73 $\left(\frac{0.6}{1}\right)^2$ = 0.263

Qб03 = Qб $\left(\frac{\omega1}{\omega2}\right)$ = 1 $(\frac{0,6}{1})$ = 0.6 Hб08 = Hб $\left(\frac{\omega1}{\omega2}\right)^2$ = 1 $\left(\frac{0.6}{1}\right)^2$ = 0.36

Qc03 = Qc $\left(\frac{\omega1}{\omega2}\right)$ = 0.4 $(\frac{0,6}{1})$ = 0.24 Hc08 = Hc $\left(\frac{\omega1}{\omega2}\right)^2$ = 1.25 $\left(\frac{0.6}{1}\right)^2$ = 0.45

Qд03 = Qд $\left(\frac{\omega1}{\omega2}\right)$ = 0 $(\frac{0,6}{1})$ = 0 Hд08 = Hд $\left(\frac{\omega1}{\omega2}\right)^2$ = 1.15 $\left(\frac{0.6}{1}\right)^2$ = 0,414

(2.5)

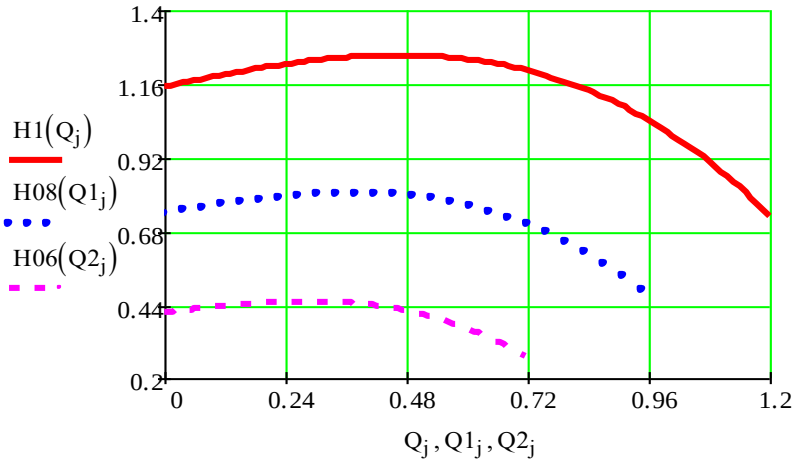


Рис.2.3 - Результуючі Q-H характеристики

3. Розрахунок механічної характеристики насосу

Враховуючи вплив напору магістралі механічна характеристика насосу розраховується для точок E, F, G, які визначені перетином Q-H характеристики і характеристики напору магістралі.

Із залежності рис. 2.1, 2.2 визначені продуктивність, напір та ККД

$Q_{E'} = 0.94$ відносна одиниця $Q_{F'} = 0.69$ $Q_{G'} = 0.4$

$H_{E'} = 1.06$ відносна одиниця $H_{F'} = 0.71$ $H_{G'} = 0.43$

ККД номінальної характеристики (у точці F)

$$Q_F = Q_{F'}\left(\frac{\omega н}{\omega 1}\right) = 0.69\left(\frac{302}{0.8\times 302}\right) = 0.862 \qquad (2.6)$$

Розрахунок системи в реальних одиницях

$$Q_E = Q_{E'} \times Q_H = 0.94\times 6.944 \times 10^{-3} = 6.528 \times 10^{-3}$$
$$Q_F = Q_{F'} \times Q_H = 0.69\times 6.944 \times 10^{-3} = 4.792 \times 10^{-3} \qquad (2.7)$$
$$Q_G = Q_{G'} \times Q_H = 0.4\times 6.944 \times 10^{-3} = 2.778 \times 10^{-3}$$

$$H_E = H_{E'} \times H_H = 1.06 \times 19.4 = 20.564$$
$$H_F = H_{F'} \times H_H = 0.71 \times 19.4 = 13.774 \quad (2.8)$$
$$H_G = H_{G'} \times H_H = 0.43 \times 19.4 = 8.342$$

Розрахунок механічної характеристики для номінальної швидкості

$$M_{cE1} = \frac{6.528 \times 10^{-3} \times 20.564 \times 0{,}8 \times 10^3 \times 9.8}{0.73 \times 302} = 4.774 \quad (2.9)$$
$$M_{cE0} = M_{cE1} \left(\frac{0 \times \omega_н}{\omega_н}\right)^2 = 4.774 \left(\frac{0 \times 302}{302}\right)^2 = 0$$

Розрахунок моменту для крапок E, F, G.

$$M_{cE0} = 0$$
$$M_{cF} = \frac{4.792 \times 10^{-3} \times 13.774 \times 0{,}8 \times 10^3 \times 9.8}{0.73 \times 302 \times 0.8} = 2.934 \quad (2.10)$$
$$M_{cG} = \frac{2.778 \times 10^{-3} \times 8.342 \times 0{,}8 \times 10^3 \times 9.8}{0.73 \times 302 \times 0.6} = 1.373$$

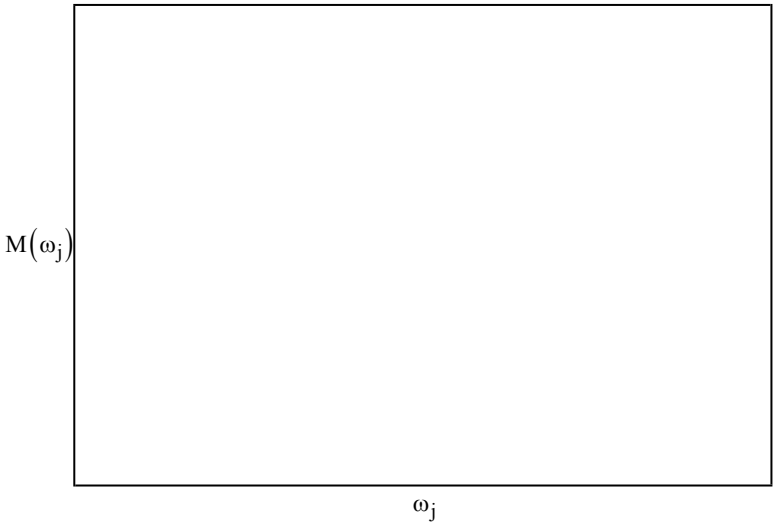


Рис.2.4 - Механічна характеристик

Згідно з розрахунків приймаємо асинхронний двигун 4А100L6У3 з наступними параметрами:

Таблиця.2.1 – Паспортні дані двигуна 4А100L6У3

Типорозмір двигуна	Потужність	Частота обертання	Напруга	Ном.струм статора	ККД	Коефіцієнт потужності	Момент інерції	Вага
4А90L6У3	P, кВт	n, об/хв	U, В	I, А	ŋ, %	cos φ	J, кг · м2	m, кг
	2,2	1000	220/380	5,6	81	0,73	0,013	26

Таблиця 2.2 – Параметри схеми заміщення двигуна 4А100L6У3:

x_{μ}^{*}	R_1^{*}	x_1^{*}	R'^{*}_2	x'^{*}_2
1.9	0.09	0.11	0.067	0.21

Таблиця 2.3 - Пускові характеристики двигуна 4А100L6У3:

$m_п = \frac{M_{пуск}}{M_н}$	$m_м = \frac{M_{мін}}{M_н}$	$m_к = \frac{M_{макс}}{M_н}$
2,0	1,6	2,2

2.3. Перевірка двигуна на перевантажувальну здатність

Виконаємо перевірку обраного двигуна на перевантаження під час частотного пуску. У перевірці на перегрів немає необхідності, так як обраний електродвигун розрахований на тривалий режим роботи.

Перевантажувальна здатність електродвигуна під час пуску:

$$M_{кр} = \lambda M_{ном} \geq M_{оп}$$

$M_{кр}$ - критичний пусковий момент двигуна, Н·м;

$M_{ном}$ - номінальний момент двигуна, Н·м;

$M_{оп}$ - момент опору руху під час пуску, Н·м.

Номінальний момент двигуна знаходиться за формулою:

$$M_{ном} = \frac{9550 \times P_{ном}}{n_{ном}}$$

$$M_{ном} = \frac{9550 \times 2,2}{1000} = 21.01\ ,\ Н \times м \qquad (2.11)$$

$$\lambda = \frac{M_{макс}}{M_{ном}} = 2.2 \qquad (2.12)$$

Критичний пусковий момент двигуна:

$$M_{кр} = \lambda * M_{ном} = 2.2 \times 21.01 = 46.22, Н \times м \qquad (2.13)$$

$$M_{ном} = \frac{9550 * P}{n} = \frac{9550 * 1.508}{1000} = 14.4,\ Н \times м \qquad (2.14)$$

2.4 Вибір перетворювача

Перетворювальне пристрій виконує функції перетворення електроенергії живильної мережі до таких значень, які необхідні для нормальної роботи приводного двигуна, а також для регулювання швидкості роботи двигуна. Як відомо з усіх способів регулювання і зміни напрямку швидкості, використання перетворювача частоти з векторним керуванням є одним з найсучасніших способів створення швидкодіючого регульованого електроприводу змінного струму. Як перетворювального пристрою прийнятий перетворювач частоти, на базі автономного інвертора напруги на IGBT-транзисторах з векторним керуванням.

При виборі перетворювача частоти необхідно керуватися вимогами:

- висока надійність при будь-яких режимах роботи;
- великий діапазон регулювання;
- простота системи управління;
- мінімально можлива вартість.

В якості перетворювача електроенергії вибираю перетворювач частоти ALTIVAR 32 французької фірми Schneider Electric.

Перетворювачі частоти ALTIVAR 32 призначені для двигунів потужністю від 0,37 до 630 кВт з чотирма типами мереженого живлення:

- однофазне, 200 - 240 В, от 0,37 до 5,5 кВт
- трифазне, 200 - 240 В, от 0,37 до 75 кВт;
- трифазне, 380 - 480 В, от 0,75 до 500 кВт;
- трифазне, 500 - 690 В, от 1,5 до 630 кВт.

Дана серія перетворювачів частоти дозволяє управляти за допомогою алгоритму векторного керування потоком (CVF) асинхронними двигунами в розімкнутої і замкнутої системи регулювання швидкості і синхронними двигунами з синусоїдальною Е.Д.С. в розімкнутої системі.

При мережному живленні а 200 - 240В і а 380 - 480В пропонується функціональна гамма частотних перетворювачів, що дозволяє управляти синхронними двигунами з синусоїдальною Е.Р.С. в замкнутій системі регулювання швидкості.

Вибір перетворювача частоти необхідно здійснювати відповідно до номінальної електричної потужності і номінального струму двигуна. Розрахункова потужність перетворювача:

$$P = \frac{P_н}{n_g} = \frac{2.2}{0.81} = 2.71, \text{ кВт} \quad (2.15)$$

Розрахунковий струм двигуна:

$$I_{ф.н} = \frac{P_н}{3*380*\eta_н*cos\varphi} = \frac{2200}{3*380*0.81*0.73} = 3.26,\ A \quad (2.16)$$

За каталогом вибираємо перетворювач частоти “ATV320U30N4C”.

Таблиця 2.4 – Номінальні дані перетворювача

Потужність перетворювача	Ном. напруга живлення	Частота живлення	Лінійний струм	Кількість фаз живлення	Макс. частота на виході
кВт	В	Гц	А	-	Гц
3	380	50…60	7,1	3	599

Даний перетворювач забезпечує наступні режими роботи та управління приводних машин і механізмів:

- плавний пуск;

- тривалу роботу в заданому діапазоні частот обертання і навантажень;

- гальмування і зупинку;

- захист електричного і механічного обладнання в аварійних і позаштатних режимах.

Ефективність застосування такого електроприводу обумовлена:

- високою якістю статичних і динамічних характеристик;

- високими енергетичними показниками;

- гнучкою налаштуванням робочих параметрів і режимів;

- розвиненим інтерфейсом і адаптивністю до різних зовнішніх систем управління і автоматизації;

- високою технагляду готовністю;

- простотою і зручністю управління і обслуговування.

3. Динаміка електропривода

3. ДИНАМІКА ЕЛЕКТРОПРИВОДА

3.1. Загальні відомості

Для того, щоб у роторі, що обертається магнітне поле статора індуктувало струм, ротор в своєму обертанні повинен трохи відставати від обертового, поля статора. Тому в асинхронному двигуні швидкість обертання ротора завжди трохи менше швидкості обертання магнітного поля (яка визначається частотою змінного струму, що живить двигун).

Відставання ротора від обертового магнітного поля статора (ковзання ротора) тим більше, чим більше навантаження двигуна. Відсутність синхронізму між обертанням ротора і магнітного поля статора - характерна риса асинхронного двигуна, від якої й походить його назва.

Обертове магнітне поле в статорі створюється за допомогою обмоток, що живляться струмами, зсунутими по фазі. Зазвичай для цієї мети застосовується трифазний змінний струм. Існують також однофазні асинхронні двигуни, в яких зрушення фаз між струмами в обмотках створюється включенням різних реактивних опорів в обмотки.

З метою регулювання кутової швидкості обертання ротора, а також крутного моменту на валу сучасних безщіткових двигунів, застосовують або векторне, або скалярне управління електроприводом.

Найбільше поширення набуло скалярне управління асинхронним двигуном, коли для управління наприклад швидкістю обертання вентилятора або насоса, досить утримувати постійною швидкість обертання ротора, для цього вистачає сигналу зворотного зв'язку від датчика тиску або від датчика швидкості.

Принцип скалярного керування: амплітуда напруги живлення є функцією частоти, причому відношення напруги до частоти виявляється приблизно постійним.

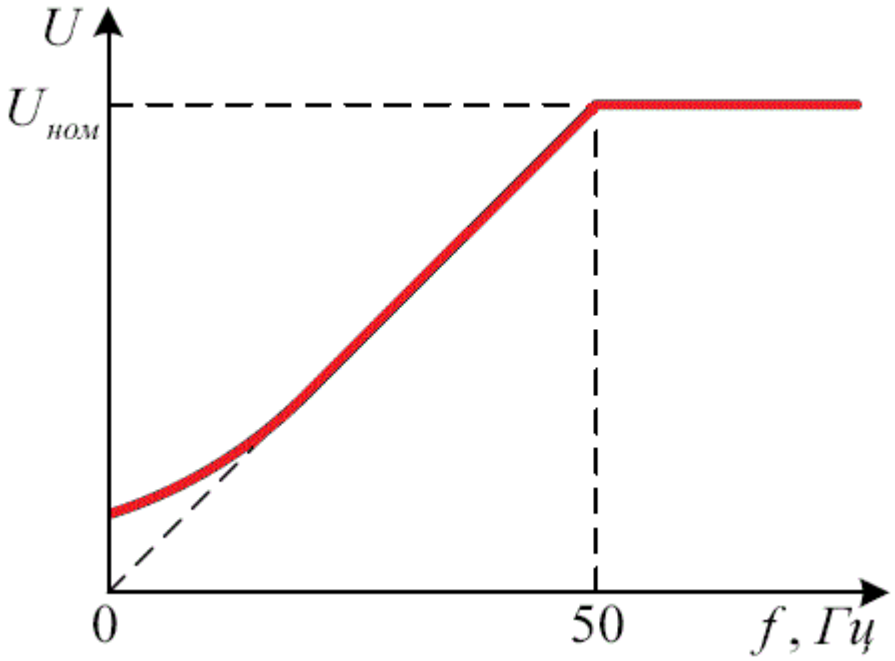


Рис. 3.1. – Скалярне управління

Конкретний вид цієї залежності пов'язаний з навантаженням на валу, однак принцип залишається таким: підвищуємо частоту, а напруга при цьому пропорційно підвищується в залежності від характеристики навантаження даного двигуна.

В результаті магнітний потік в зазорі між ротором і статором підтримується майже постійним. Якщо ж відношення напруги до частоти відхилити від номінального для даного двигуна, то двигун або перенавантажиться, або буде не до збуджений, що призведе до втрат в двигуні і до збоїв в робочому процесі.

Таким чином скалярне управління дозволяє добитися майже постійного моменту на валу в робочому діапазоні частот незалежно від частоти, однак на низьких швидкостях момент все ж знижується (щоб цього не сталося, необхідно підвищити відношення напруги до частоти), тому для кожного двигуна має місце строго певний робочий діапазон скалярного управління.

Перевагою скалярного управління э простота та відносна невисока вартість. Хоча невисока точність відпрацювання завдання на швидкість

пояснює відносну нечисленність сфер його застосування, обмежених в основному звичайними асинхронними двигунами, де залежність ковзання від навантаження не є критичною.

3.2 Математична модель електропривода

При математичному описі АД зручно оперувати не миттєвими значеннями координат (струмом, напругою, потокозчепленням), а їх результуючими векторами. Результуючим звуть такий вектор, проекції якого на осі фаз чисельно дорівнюють миттєвим значенням фазних величин.

При переході від трифазної системи координат A, B, C до еквівалентної двофазної “α-β”, та при зворотному перетворенні величини результуючих векторів залишаються незмінними.

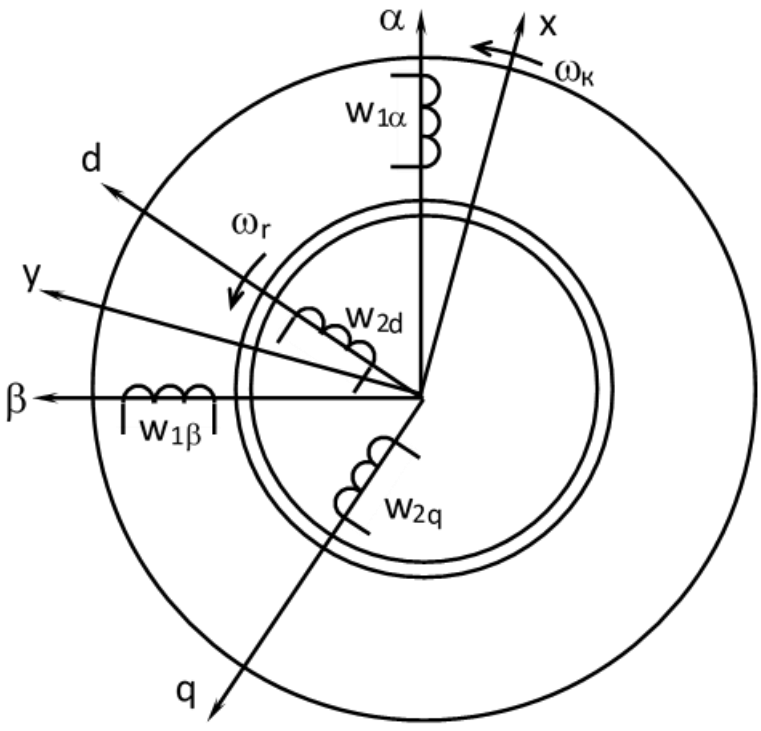


Рис. 3.2 – Узагальнена електрична машина

У найбільш розповсюдженому випадку змінні трифазної машини задовольняють умові:

$$X_A + X_B + X_C = 0. \tag{1}$$

Тоді пряме перетворення координат 3→2 виглядає так:

$$\begin{cases} X_\alpha = X_A; \\ X_\beta = \dfrac{1}{\sqrt{3}}(X_B - X_C), \end{cases} \tag{2}$$

а зворотне перетворення 2→3:

$$\begin{cases} X_A = X_\alpha; \\ X_B = -\dfrac{1}{2}X_\alpha + \dfrac{\sqrt{3}}{2}X_\beta; \\ X_C = -\dfrac{1}{2}X_\alpha - \dfrac{\sqrt{3}}{2}X_\beta. \end{cases} \tag{3}$$

Якщо умова (1) не виконується, то у рівняннях (2), (3) з'являються змінні нульової послідовності. У приведених виразах не зберігається баланс миттєвої потужності у трифазній та двофазній машинах. Незмінність потужності АД при перетвореннях координат 3→2 та 2→3 забезпечується введенням коефіцієнта 3/2 у рівняння для обчислення електромагнітного моменту двофазної машини.

На рис.3.2 індексом "1" позначені величини статора, а індексом "2" – ротора. У прямокутній системі координат х-у, що обертається з довільною швидкістю $\omega_к$, узагальнений асинхронний двигун описується рівняннями Парка – Горєва у векторній формі:

$$\begin{cases} \bar{u}_1 = R_1 \bar{i}_1 + \dfrac{d\bar{\Psi}_1}{dt} + j\omega_к \bar{\Psi}_1; \\ \bar{u}_2 = R_2 \bar{i}_2 + \dfrac{d\bar{\Psi}_2}{dt} + j\bar{\Psi}_2(\omega_к - \omega_r p_п); \end{cases}$$

де $\bar{u}_1, \bar{u}_2, \bar{i}_1, \bar{i}_2, \bar{\Psi}_1, \bar{\Psi}_2$ – результуючі вектори напруг, струмів, потокозчеплень відповідно; R_1, R_2 – активні опори обмоток статора та ротора; $p_п$ – кількість пар полюсів двигуна; ω_r – кутова швидкість ротора.

Електромагнітний момент АД визначається як векторний добуток потокозчеплення та струму:

$$M = \frac{3}{2} p_п \left(\bar{\Psi}_1 \times \bar{i}_1 \right).$$

Вектори потокозчеплень можна записати через результуючі вектори струмів статора і ротора:

$$\begin{cases} \bar{\Psi}_1 = L_1 \bar{i}_1 + L_m \bar{i}_2; \\ \bar{\Psi}_2 = L_2 \bar{i}_2 + L_m \bar{i}_1; \end{cases}$$

де $L_1 = L_{1\sigma} + L_m$; $L_2 = L_{2\sigma} + L_m$ - повні індуктивності обмоток статора та ротора; L_m - максимальна взаємна індуктивність між цими обмотками; $L_{1\sigma}, L_{2\sigma}$ - індуктивності розсіювання обмоток статора і ротора.

Беручи до уваги (6), крім рівняння (5) для визначення електромагнітного моменту можна отримати ще кілька еквівалентних виразів, до котрих входитимуть комбінації інших координат АД.

Для повного опису перехідних процесів в АД до рівнянь напруг та моменту слід додати рівняння руху приводу

$$M - M_C = J\frac{d\omega_r}{dt},$$

де M_C – момент опору на валу АД, J – момент інерції електропривода, приведений до вала АД.

На практиці користуються не векторними виразами (4)-(6), а записують їх в проекціях на дійсну та уявну осі системи координат. Крім того, завдяки певному вибору швидкості системи координат $\omega_к$ вдається дещо спростити рівняння АД.

Найбільш поширені такі варіанти вибору швидкості $\omega_к$:

1. $\omega_к = 0$. У цьому випадку усі величини АД приводяться до нерухомої системи координат “α-β”, дійсна вісь “α” якої жорстко зв’язана з віссю фази А обмотки статора, а уявна вісь “β” опереджає її на кут 90 електричних градусів. В такій системі напруги і струми обмоток АД залишаються змінними, але мають однакову частоту, яка дорівнює кутовій частоті мережі живлення $\omega_o = 2\pi f_н$.
2. $\omega_к = \omega_r p_П$. Реальні змінні АД перетворюються до системи координат “d-q”, швидкість обертання якої дорівнює електричній швидкості ротора $\omega_r p_П$. Тут також напруги та струми виявляються змінними, але мають як в роторі, так і в статорі частоту $(\omega_o - \omega_r p_П)$, тобто частоту струму ротора.
3. $\omega_к = \omega_o$. Такий вибір $\omega_к$ є найбільш доцільним при дослідженні перехідних процесів в АД, керування яким здійснюється шляхом зміни частоти та напруги обмотки статора (так зване “частотне керування”). У системі координат “x-y”, яка обертається із синхронною швидкістю поля АД ω_o, прикладені до обмоток статора реальні змінні напруги при застосуванні

формул (2) перетворюються у постійну напругу $U_x = \text{const}$, напрям якої співпадає з напрямом дійсної вісі “x”.

4. При синтезі та дослідженні систем векторного керування швидкістю електропривода з АД не встановлюють якесь фіксоване значення $\omega_к$, а пов’язують дійсну вісь “x” системи координат “x-y” з результуючим просторовим вектором струму, напруги, або потокозчеплення статора чи ротора. Усього можливо скласти 6 головних структурних схем АД, в залежності від того, який вектор буде використовуватись як опорний: $\bar{u}_1, \bar{u}_2, \bar{i}_1, \bar{i}_2, \overline{\Psi}_1, \overline{\Psi}_2$. Орієнтація системи “x-y” відносно результуючого вектора потокозчеплення ротора $\overline{\Psi}_2$ забезпечує максимальне спрощення рівняння моменту двигуна і зумовлює відносно просте регулювання швидкості АД.

3.3 Розрахунок параметрів моделі

Визначення базових величин

Базовий струм:

$$I_н = \frac{P_н}{3 \times U_н \times \eta \times cos\varphi_н} = 5.63, \text{ А} \quad (3.1)$$

Базовий опір:

$$Z = \frac{U_H}{I_H} = 39.02, \text{ Ом} \quad (3.2)$$

Базовий момент:

$$M_H = \frac{9.55 \times P_H}{n \times (1 - s_H)} = 21.908, \text{ Нм} \quad (3.3)$$

Кількість пар полюсів:

$$P_п = \frac{60 \times f_1}{n} = 3 \quad (3.4)$$

Номінальна кутова швидкість:

$$\omega_н = \frac{\pi \times n}{30}\ 104.72, c - 1 \quad (3.5)$$

Визначення реальних опорів схеми заміщення

Активний та реактивний опір фази статора:

$$R_1 = r_1 \times Z = 3.512, \text{Ом} \quad (3.6)$$

$$X_1 = x_1 \times Z = 4.293, \text{Ом}$$

Активний та реактивний опір фази ротора:

$$R_2 = r_2 \times Z = 2.615, \text{Ом} \quad (3.7)$$

$$X_2 = x_2 \times Z = 8.195, \text{Ом}$$

$$X_\mu = x_\mu \times Z = 70.246, \text{Ом}$$

Визначення параметрів обмоток статора

Індуктивність фази статора:

$$L_1 = \frac{X_1 + X_\mu}{\omega_H \times P_п} = 0.237, \text{Гн} \quad (3.8)$$

Індуктивність фази статора:

$$L_2 = \frac{X_2 + X_\mu}{\omega_H \times P_п} = 0.25, \text{Гн} \quad (3.9)$$

Взаємна активність фази статора і ротора:

$$L_m = \frac{X_\mu}{\omega_H \times P_п} = 0.223, \text{Гн} \quad (3.10)$$

Допоміжний коефіцієнт:

$$k_\sigma = \frac{1}{L_1 \times L_2 - L_m^2} = 108.167, 1/\text{Гн}^2 \quad (3.11)$$

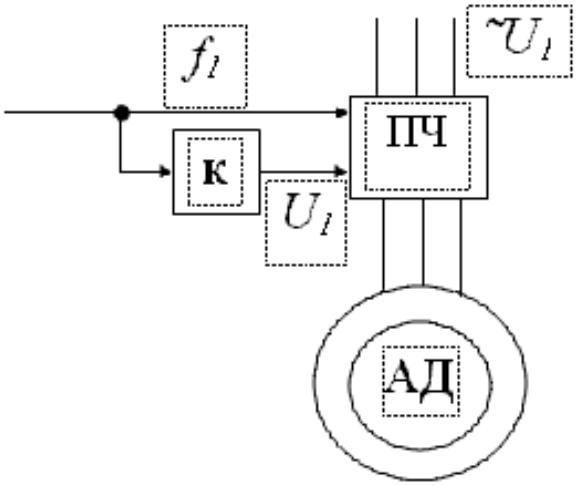


Рис. 3.3 – Функціональна схема електропривода

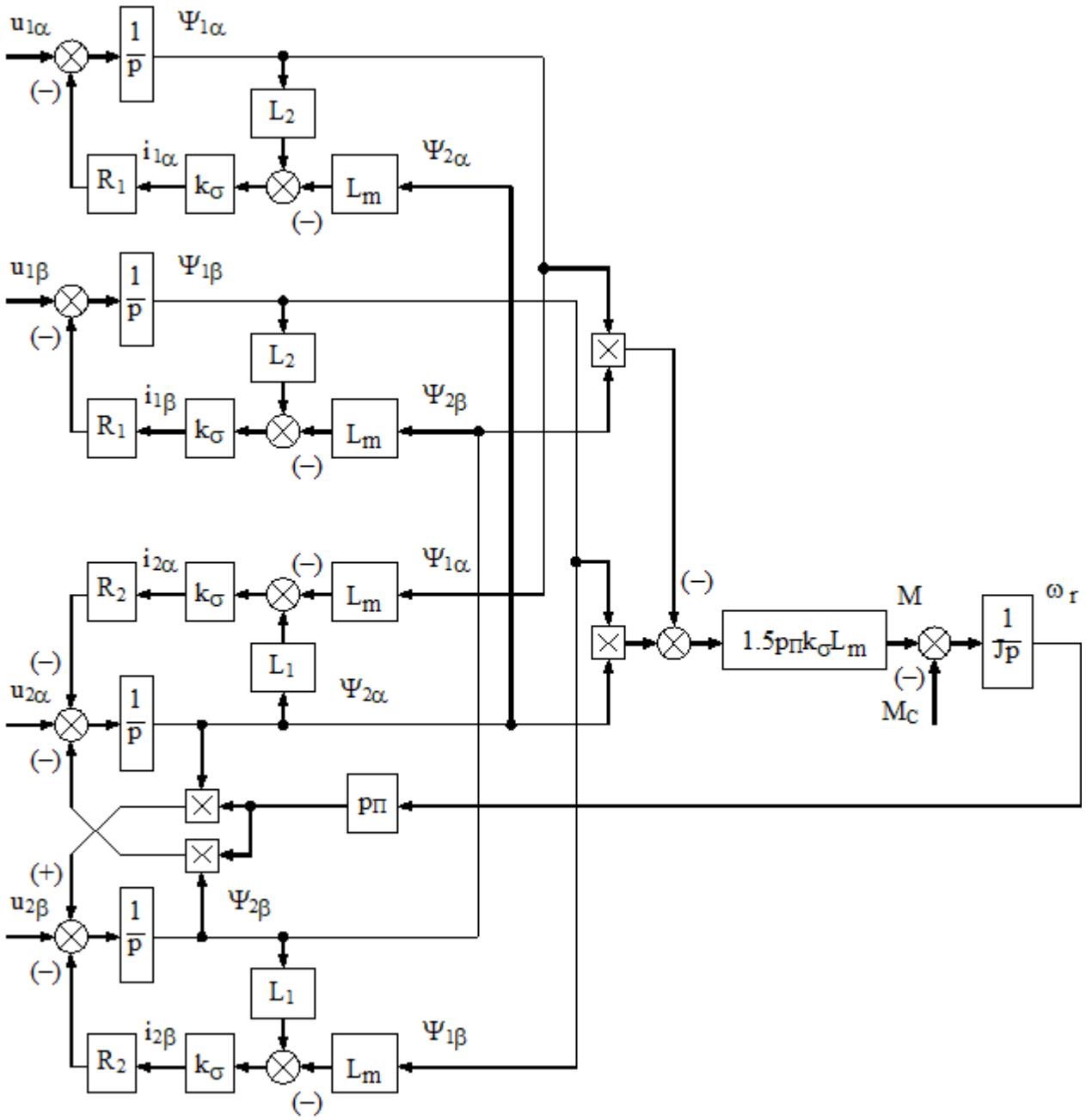


Рис. 3.4 – Структурна динамічна модель двигуна у нерухомій системі координат

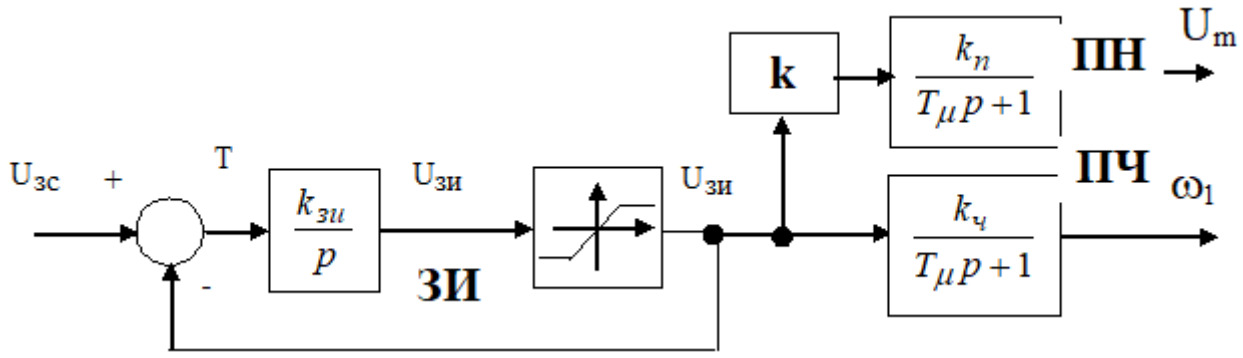


Рис. 3.5 – Розрахунок системи керування без зворотних зв'язків

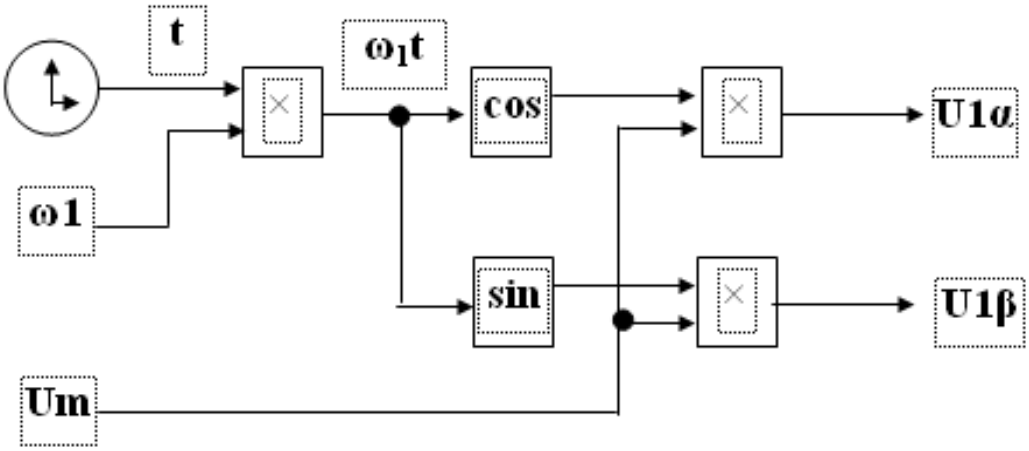


Рис. 3.6 – Схема джерела

Розрахунок коефіцієнта підсилення задавача інтенсивності ЗИ

Час прискорення до номінальної швидкості при номінальному прискоренні:

$$\mathrm{T} = J \times \frac{\omega_{H} \times \mathrm{P_П}}{\mathrm{M_н}} = 0.186, \mathrm{c} \qquad (3.12)$$

Завдання швидкості:

$$k_{\text{зи}} = \frac{U_{\text{зш}}}{T} = 53.643, \mathrm{B} \qquad (3.13)$$

де: $U_{\text{зш}}$= 10, В (для блоку обмеження передбачено встановлення напруг ± 10В

Розрахунок коефіцієнта підсилення відпрацювання закону регулювання

$$\mathrm{k} = \frac{U_H}{2 \times \pi \times f_1} = 0.7 \qquad (3.14)$$

Розрахунок коефіцієнта підсилення перетворювача напруги

$$U_{вхп} = 10 \times k = 7.003 \quad (3.15)$$

$$k_п = \frac{U_н}{U_{вхп}} = 31.416 \quad (3.16)$$

Розрахунок перевантажувальної здатності двигуна

Критичний момент двигуна:

$$M_{кр} = M_н \times \lambda = 48.198, Нм \quad (3.17)$$

Критичний момент двигуна приведений до валу механізма:

$$M_{крпм} = \frac{M_{кр} \times i}{\eta_р} = 7155.18, Нм \quad (3.18)$$

Швидкість обертання валу механізму:

$$\omega_m = \frac{\pi \times n_{мех}}{30} = 0.524, с\text{-}1 \quad (3.19)$$

Момент на валу механізма:

$$M_{мех} = \frac{P_0}{\omega_m} = 1814.36, с\text{-}1 \quad (3.20)$$

$M_{крпм} \geq M_{мех}$ - Умова виконується, із чого витікає правильність вибору двигуна.

Розрахунок потужності комплектного електропривода

$$P_{ke} = \frac{P_н}{\eta} = 2716, Вт \quad (3.21)$$

$$I_н = \frac{P_н}{3 \times U_н \times \eta \times cos\phi_н} 5.637, А \quad (3.22)$$

$U_н = 220$, В – Номінальна напруга живлення

3.4 Математична моделювання

Виходячи з попередньої теоретичної проробки матеріалу побудована модель асинхронного електропривода із скалярним частотним керуванням .

Математична модель була досліджена для наступних режимів:

- пуск в холосту;
- накид навантаження;
- підвищення швидкості без зміни навантаження;
- зупинка.

Аналіз отриманих графіків перехідних процесів наочно демонструє про відповідність спроектованої системи вимогам які були поставлені у розділі «Технологічна частина». Можливо зробити висновок, що мета проектування цілком досягнута.

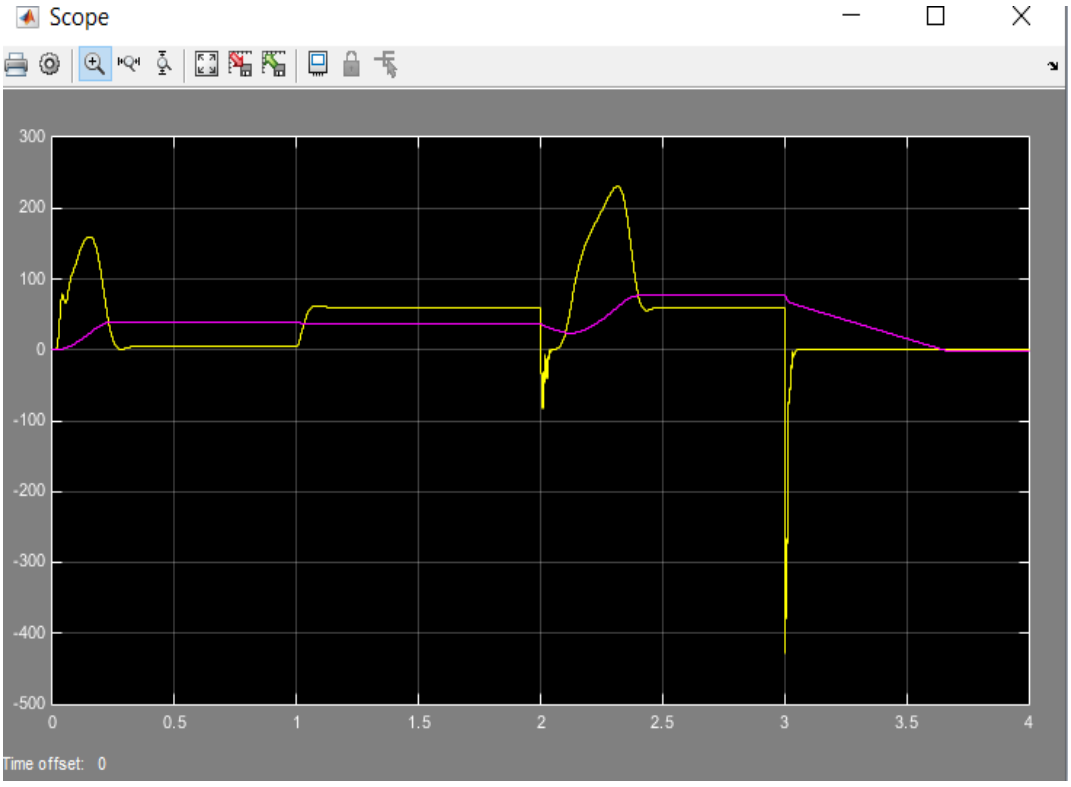


Рис. 3.6 Графік перехідних процесів

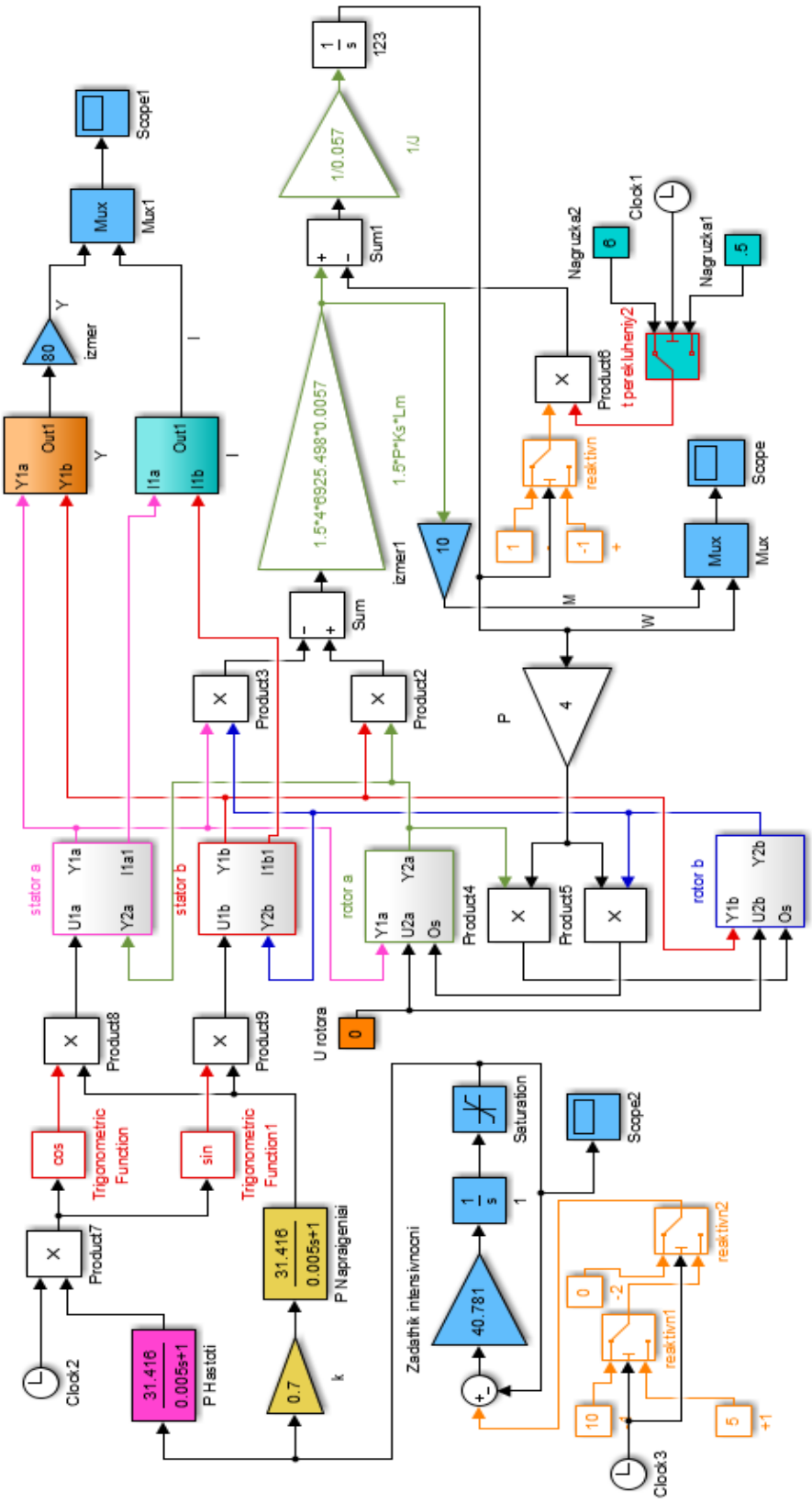


Рис. 3.7 Математична модель

4. Техніко-економічне обґрунтування

4. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

Вступ

Встановлення системи керування електроприводом дозволить значно знизити витрати матеріальних і енергетичних ресурсів, трудомісткості виробництва, а також економічних показників .

В вітчизняній та світовій промисловості застосовується різноманітне насосне обладнання, яке призначене для перекачки рідини і її транспортування до місця призначення. Постійно вдосконалюються і збільшується номенклатура обладнання (насоси водозабору, насосні станції нагнітання і т.д.).

У зв'язку з цим в кваліфікаційній роботі пропонується впровадження до електроприводу перетворювача частоти фірми Schneider Electric замість застарілих тиристорних перетворювачів і асинхронний двигун меншої потужності. Цей перетворювач частоти потребує менших витратах на монтаж і має кращі енергоекономічні показники.

До числа економічних показників відносяться наступні:

- капітальні вкладення;
- амортизаційні відрахування;
- вартість втрат електричної енергії.

4.1 Розрахунок капітальних витрат

Капітальні інвестиції – це кошти, призначені для створення і придбання основних фондів і нематеріальних активів, що підлягають амортизації.

Капітальні інвестиції з реалізації проектного технічного рішення можуть включати:

Капітальні інвестиції з реалізації технічного рішення можуть включати витрати:

• на придбання обладнання, техніки, технології, технічних засобів контролю та обліку витрачання ресурсів, приладів діагностики стану обладнання тощо;

• пов'язані з виконанням будівельно-монтажних робіт;

• на проведення монтажно-налагоджувальних робіт;

При визначенні величини проектних капіталовкладень (Кпр) можна скористатися формулою:

$$Кпр = Коб\ (\sum_{i=1}^{к}) + Зтзс + Зм + Зн + Зпр\ , \qquad (4.1)$$

де Коб $(\sum_{i=1}^{к})$ – вартість придбання електрообладнання (засобів автоматизації, програмного забезпечення тощо) за проектом або сумарна вартість комплектуючих елементів і - го виду, необхідних для реалізації прийнятого технічного рішення;

к - кількість необхідних комплектуючих елементів;

Зтзс – транспортно-заготівельні і складські витрати;

Зм – витрати на монтажні роботи;

Зн - витрати на налагоджувальні роботи;

Зпр – інші одноразові вкладення грошових коштів.

Доцільно витрати на придбання технічних засобів або комплектуючих виробів представити у вигляді зведення капітальних витрат (табл. 4.1)

Таблиця 4.1 – Зведення капітальних витрат

п/п	Найменування технічних засобів	Кіл-ть	Ціна за одиницю грн.	Сума, грн.
1	Перетворювач частоти ATV320U30N4C	1	11 421	11 421
2	Двигун АИР 100 L6	1	4 680	4 680
3	Автоматичний вимикач Schneider Electric GV2ME14 TeSys	1	1 366	1 366
Всього				17 467

Витрати на монтажні (Зм) роботи:

$З_м = \sum(Чі \cdot ai \cdot ti) \cdot Кд \cdot Кпр = 2 \cdot 82 \cdot 12 \cdot 1{,}15 \cdot 1{,}05 = 2376$,грн.

Витрати на налагоджувальні (Зн) роботи:

$З_н = \sum(Чі \cdot ai \cdot ti) \cdot Кд \cdot Ксм \cdot Кпр = 2 \cdot 82 \cdot 5 \cdot 1{,}15 \cdot 1{,}22 \cdot 1{,}05 = 1208$,грн.

де Чі – чисельність працівників і-го розряду, необхідних для виконання певного обсягу монтажних (налагоджувальних) робіт, чол .;

ai - годинна тарифна ставка і-го розряду, грн;

ai - годинна тарифна ставка 4-го розряду дорівнює 85 грн / год;

ti - час, необхідний для виконання певного обсягу монтажних (налагоджувальних) робіт, час;

Кд - коефіцієнт, що враховує розмір доплат;

Кпр - коефіцієнт, що враховує інші витрати на здійснення монтажних (налагоджувальних) робіт.

Інші одноразові вкладення коштів (Зпр) можуть включати витрати на:

1. Демонтаж застарілого обладнання;

2. Проведення проектно-конструкторських робіт;

3. Підготовку персоналу;

4. Придбання готового програмного забезпечення.

Кпр =17467+2376+1208=21051грн,

4.2. Розрахунок експлуатаційних витрат

Експлуатаційні витрати - це поточні витрати на експлуатацію та обслуговування об'єкта проектування за певний період (рік), виражені в грошовій формі.

До основних статей експлуатаційних витрат по електротехнічного устаткування відносяться:

- амортизаційні відрахування (C_a);
- заробітна плата обслуговуючого персоналу ($C_з$);
- відрахування на соціальні заходи від заробітної плати ($C_с$);
- витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт обладнання ($C_т$);
- вартість електроенергії, споживаної об'єктом проектування ($C_э$);
- інші експлуатаційні витрати ($C_{пр}$).

Таким чином, річні експлуатаційні витрати складуть:

$$C = C_a + C_з + C_с + C_т + C_э + C_{пр},\ \text{(грн.)}$$

Розрахунок експлуатаційних витрат ведеться по проектному і базовому варіантів паралельно.

4.3. Розрахунок амортизаційних відрахувань

Річний фонд амортизаційних відрахувань визначається у відсотках від суми капітальних витрат за видами основних фондів і нематеріальних активів по розділах зведення капітальних витрат для проектного варіанту і по даними підприємства про балансову вартість замінного обладнання для базового варіанту.

Таблиця 4.3 Розрахунок амортизаційних відрахувань

№	Найменування показників	Капітальні витрати, грн.	Норма амортизації, %	Сума амортизації, грн.
1.	Проектний варіант	21051	20	4210

4.4. Визначення річних витрат на технічне обслуговування і поточний ремонт

Річні витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт електротехнічного обладнання включають витрати на матеріали, запасні частини, заробітну плату ремонтним робітникам і можуть визначатися за фактичними даними підприємства.

Витрати на поточний ремонт апаратури автоматики і систем автоматизації можна розрахувати за формулою:

$$З_{т.р.} = \sum_{i=1}^{n} R_i * t_i * m_i * R_{\sum i} + \frac{S_i * П_i}{T_i} * T_ф$$

де n - число пристроїв автоматики, що підлягають ремонту;

Ri - годинна ставка робітників, що виконують ремонт, грн;

t_i - трудомісткість одного ремонту при категорії складності ремонту в одну ремонтну одиницю в залежності від виду ремонту ч/ед.:

- капітального – 15,0.

m_i - число ремонтів за рік (наприклад, для закритих електромашин число капітальних – 0,1);

$R_Σ$ - сумарна категорія складності ремонту в залежності від виду електрообладнання: асинхронний двигун від 0,5 до 5 кВт – 1,3;

Si - вартість однотипних замінних елементів, грн.;

П - кількість однотипних замінних елементів;

Т - середній термін служби деталей даного типу, год.;

Тф - число годин роботи апаратури в рік, год

$$Зт.р.пр.=13,05 \cdot 85 \cdot 0,1 \cdot 1,3 + \frac{225 \cdot 3}{2500} \cdot 4380 = 1326(грн)$$

$$Зт.р.баз.=15,02 \cdot 85 \cdot 0,1 \cdot 1,3 + \frac{432 \cdot 3}{2300} \cdot 4380 = 1436(грн)$$

4.5. Розрахунок вартості спожитої електроенергії

Вартість електроенергії, споживаної об'єктом проектування протягом року, визначається виходячи з його встановленої потужності, річного фонду робочого часу об'єкта проектування, втрат електроенергії та тарифу за формулою:

$$C_e = (\frac{Рвст \cdot tвик}{kвтр}) \cdot Це$$

де:

Рвст – встановлена потужність, кВт ;

tвик – час роботи обладнання,год./рік;

kвтр – коефіцієнт,що враховує електричні витрати;

Це – тариф на електроенергію , грн./кВт·год.

Встановлена потужність – 1,5 кВт.

Час використання 4380 год./рік.

Якщо на підприємстві використовується багатозонний облік електроенергії, то Wp розподіляється за зонами обліку і в кожній з них застосовується свій тариф на електроенергію.

Таким чином витрати на споживану електроенергію за рік становлять:

$$C_e=(\frac{1,5 \cdot 4380}{0.87}) \cdot 3,61 = 27\ 261 \text{ грн.}$$

Висновок

Капітальні витрати складають 21051 грн. Річні експлуатаційні витрати: амортизаційні відрахування 4210 грн, річні витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт 2 762 грн, вартість спожитої електроенергії 27 261 грн.

5. Охорона праці

5. ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1 Загальні положення

При роботі на насосній установці можлива наявність деяких небезпек і шкідливих чинників. У нашому випадку будуть мати місце механічні небезпечні і

шкідливі виробничі фактори. Хімічні, біологічні, психофізичні небезпечно-шкідливі фактори розглядати не будемо.

При роботі і обслуговуванні розглянутого насосного агрегату небезпечними і

шкідливими виробничими факторами можуть бути:

1) ураження електричним струмом;

2) рухомі елементи з'єднувальної муфти;

3) мікроклімат;

4) шум і вібрація, викликані працюючим агрегатом;

5) освітленість робочої зони;

6) пожежна небезпека;

Розглянемо основні з них.

5.2 Ураження електричним струмом

Основними джерелами ураження електричним струмом при експлуатації і обслуговуванні агрегату є електричний струм, який підводиться для живлення двигуна агрегату (U=380В).

Для захисту працюючих від ураження електричним струмом передбачено занулення всіх корпусів електродвигунів насосів та регулюючих клапанів, так як вони можуть бути під напругою при пошкоджені ізоляції.

Метою занулення є виключення небезпеки ураження електричним струмом персоналу при пробої на корпус обладнання одною з фаз мережі. Це досягається завдяки швидкому вимиканню, максимальним струмовим захистом ділянки, на якій виникло замикання на корпус.

При зануленні пробій на корпус приводить до короткого замикання фази (контур: нульовий провідник – фаза – фазовий провідник - корпус споживача – нульовий провідник).

Спрацьовує захист від короткого замикання (автомат з струмовим захистом), та пошкоджений провідник вимикається від мережі.

При цьому використовуються вимоги ПУЕ до схеми занулення:

-забезпечується необхідна кратність струму короткого замикання;

-забезпечується цілісність нульового провідника та використання

-повторних заземлювачів нульового провідника;

-контроль занулення проводиться при вводі в експлуатацію, перевірка здійснюється кожні 5 років;

-у нульовому проводі не дозволяється установка роз'єднувачів та інших приладів розриву електричної мережі;

-не дозволяється використовувати трубопроводи в якості нульового робочого проводу.

5.3 Рухомі елементи з'єднувальної муфти

У розглянутому агрегаті деталлю, що рухається являється муфта. Тому, щоб уникнути травматизму муфта повинна мати надійно закріплене захисне огородження (кожух).

5.4 Мікроклімат

Для нормальних умов праці на ділянці повинна підтримуватися оптимальна

температура повітря, його вологість та запиленість не залежно від пори року. Так, для приміщень, в яких виконуються середні роботи по тяжкості, вологість повітря повинна бути 40-60 %, а температура повітря в межах

18-20 ° С.

Так як підтримання оптимальних кліматичних умов найважче у літній період року, коли виділяється багато теплової енергії від сонця та

обладнання, то для цього періоду року повинна бути передбачена примусова вентиляція робочого приміщення, щоб забезпечити нормальні умови праці. Враховуючи, що забруднені рідини не є токсичними речовинами, то вентиляцію потрібно розраховувати за надлишковим теплом та вологістю.

В холодний період року вентиляція відбувається за рахунок щілин у віконних та дверних прольотах. В цей період потрібно використовувати систему опалення, яка забезпечить відповідні умови мікроклімату у робочій зоні.

При роботі даного агрегату в місцях, де перекачуються шкідливі речовини,

наприклад на асенізаційних станціях, можливі небажані витоки речовин, таких як H2S (безбарвний, дуже отруйний, горючий гас з характерним неприємним запахом).Щоб забезпечити рівень концентрації нижчий гранично допустимої норми (для H2S– 7 мг/м3) в приміщенні де розташований агрегат встановлюють додатковівентиляційні системи (місцеві відсмоктувачі повітря), в залежності від типу відходіві їх кількості.

5.5 Шум та вібрація

При роботі насосного агрегату створюється шум різної тональності.
В залежності від ступеня його навантаження і досконалості застосовуваних вузлів, а також від типу і конструкції, він може досягати 70 дБ.

Основними джерелами коливань являються:

- механічна неврівноваженість ротора;
- підшипники ковзання;
- неоднорідність потоку;
- кавітаційні процеси;
- вихрові процеси у рідині.

У виробничих приміщеннях, на постійних робочих місцях припустимий рівень шуму не повинний перевищувати 80 дБА. Зони з рівнем шуму вище 80 дБА повинні бути позначені знаками безпеки.

Працюючих у даній зоні повинні забезпечувати засобами індивідуального захисту. Періодичне обслуговування агрегату повинне проводитися з застосуванням індивідуальних засобів захисту органів слуху. Основним засобом боротьби з шумом у насосному агрегаті є зменшення шуму в самих

джерелах, тобто удосконалення конструкції розглянутого агрегату, експлуатація насоса на оптимальних режимах роботи, згідно технічних умов.

Вібрація. При порушенні режимів і ТУ експлуатації, розцентровки і розбалансування агрегату, недосконалості конструкції може виникнути вібрація установки.

Допустимим значенням віброшвидкості при третьому класі точності балансування є V=1мм/с. Для виконання вібраційних умов праці необхідно забезпечити машини засобами віброзахисту.

5.6 Освітленість робочої зони

Розрізняють два типи освітлення: природне та штучне.

Штучне освітлення поділяється в залежності від призначення на робоче, аварійне, евакуаційне та охоронне. Розрізнюють такі системи штучного освітлення: загальне, місцеве та комбіноване.

Вхідними даними слугують розміри та тип приміщення, характеристика зорової роботи для проектного технологічного процесу. Розміри приміщення зведені до табл. 5.1.

У даному дипломному проекті буде проводитись розрахунок методом коефіцієнта використання.

Таблиця 5.1 Розмірні дані приміщення

Параметр	Умовне позначення	Розміри	Одиниці виміру
Довжина	A	6	М
Ширина	B	4	М
Висота	H	4	М
Площа	S	24	$М^2$

$$Ф = \frac{E \cdot S \cdot k \cdot z}{N \cdot \eta} \quad (5.1)$$

E — нормована мінімальна освітленість, [лк];

S — освітлювана площа, [$м^2$];

k — коефіцієнт запасу;

z — коефіцієнт мінімальної освітленості;

N — число світильників у приміщенні;

η — коефіцієнт використання світлового потоку.

Величина E приймається відповідно до “Норм освітленості робочих поверхонь у виробничих приміщеннях”. Для даного приміщення обираємо норму VIII розряду. При загальному освітленні приймаємо $E = 75$ лк.

Площа приміщення приймається $S = 24$ $м^2$, згідно табл. 5.1.

Відповідно до табл. 5.4 [4], для виробничих приміщень з світильниками з газорозрядними лампами приймаємо коефіцієнт запасу $k = 1.3$.

Коефіцієнт мінімальної освітленості для люмінесцентних ламп приймаємо $z = 1.1$.

Розрахункова висота підвісу h світильників задається, як правило, розмірами приміщення. Найбільш вигідне співвідношення відстані між світильниками до розрахункової висоти підвісу приймається по табл. 5.5 [4].

$$\lambda = \frac{L}{h} \quad (5.2)$$

L — відстань між світильниками з крапковими джерелами світла, [м];

h — розрахункова висота, [м].

У відповідності до ДСТ І3828-74, рекомендується використання світильників прямого світу, типова крива — “глибока”. Приймаємо $\lambda = 0.9$ згідно табл. 5.5 [4].

Значення, що рекомендуються, (для світильників з типовими кривими (ДСТ І3828-74)

Приймаємо $\lambda = 0.9$ згідно табл. 5.5 [4].

Відстань між крайніми світильниками та стіною визначається:

$$l = 0.3 \cdot L \quad (5.3)$$

Розрахункова висота визначається:

$$h = H - h_{\text{зв}} - h_{\text{рп}} \quad (5.4)$$

$$h = 4 - 0.5 - 1 = 2.5$$

H — загальна висота приміщення, [м]. Приймається згідно табл.

$h_{\text{зв}}$ — висота звису світильників, [м]. Приймаємо $h_{\text{зв}} = 0.5$ м.

$h_{\text{рп}}$ — висота робочої поверхні над підлогою, [м]. Приймаємо $h_{\text{рп}} = 1$ м.

Відстань між рядами світильників:

$$L_{\text{р}} = \lambda \cdot h = 0.9 \cdot 2.5 = 2{,}25 \text{ м} \quad (5.5)$$

Кількість рядів світильників:

$$N_p = \frac{A}{L_{\text{р}}} = \frac{6}{2{,}25} \approx 2{,}6 \quad (5.6)$$

Кількість світильників у ряді:

$$N_k = \frac{B-l}{L_{\text{р}}} = \frac{4-0.567}{2.25} \approx 1{,}52 \quad (5.7)$$

Загальна кількість світильників:

$$N = N_p \cdot N_k = 2{,}6 \cdot 1{,}52 = 4 \quad (5.8)$$

Індекс приміщення:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A+B)} = \frac{6 \cdot 4}{2.5 \cdot (6+4)} = \frac{24}{25} \approx 0{,}96 \qquad (5.9)$$

Для визначення коефіцієнта використання світлового потоку η визначаємо за табл. 5.6 [4] коефіцієнти відображень поверхонь приміщення — стелі, стін та робочої поверхні.

Приймаємо $\rho_{\text{с}} = 0.5$, $\rho_{\text{ст}} = 0.3$, $\rho_{\text{рп}} = 0.1$.

Спираючись на індекс приміщення та коефіцієнти відбиття, приймаємо згідно табл. 5.7 [4] значення $\eta = 0.5$ для люмінесцентних світильників прямого світла та "глибокої" кривої сили світла.

Необхідний світловий потік ламп у кожному світильнику:

$$\Phi = \frac{E \cdot S \cdot k \cdot z}{N \cdot \eta} = \frac{75 \cdot 24 \cdot 1.3 \cdot 1.1}{4 \cdot 0.5} = 1287 \text{ лм} \qquad (5.10)$$

Згідно виконаних розрахунків, обираємо лампи типу , параметри яких зведено до табл. 5.11. ЛДЦЗО-4

Параметри ламп типу ЛДЦЗО-4

Таблиця 5.2

Тип лампи	Потужність, Вт	Напруга на лампі, В	Світловий потік, лм, потік після 100 ч горіння		
			Номінальний	Мінімальний	Розрахунковий
ЛДЦЗО-4	30	104	1450	1305	1375

5.7 Пожежна небезпека

При експлуатації та обслуговуванні агрегату основними джерелами виникнення пожежі можуть бути:

- джерела запалення, пов'язані з електричним приводом насоса;

- перевантаження мережі.

Дія пожежі на людину може викликати небезпечні наслідки: опіки, отруєння димом.

Пожежна безпека повинна забезпечуватися системою запобігання пожежі,

системою протипожежного захисту, організаційно-технічними заходами. Пожежна безпека об'єкта і його складових частин повинна забезпечуватися як при експлуатації, так і в разі реконструкції.

Заходи щодо боротьби з пожежею:

1. Застосування електроустаткування у відповідній пожежній і вибухонебезпечній зоні відповідно до вимог правил пристрою електроустаткуванні.

2. Дотримання правил пожежної безпеки. Протипожежний захист повинен забезпечуватись:

- застосуванням засобів пожежогасіння;

- застосуванням автоматичних установок пожежної сигналізації і пожежогасіння;

- застосування індивідуального і колективного захисту людей від небезпечних чинників пожежі.

3. Робочим середовищем являється - вода, яка не є горючою. Тому категорія приміщення у якому розташований агрегат - Д .

У виробничому приміщенні застосовуються, головним чином, вуглекислотні вогнегасники (ВВК1,4, ВВК2, ВВК3,5), перевагою яких є висока ефективність гасіння пожежі, збереження електронного устаткування, діелектричні властивості вуглекислого газу, що дозволяє використовувати ці вогнегасники навіть у тому випадку, коли не вдається знеструмити електроустановку.

Висновок

Для продуктивної і безпечної експлуатації проектованого агрегату та забезпечення відповідності вимогам нормативної документації, необхідно виконувати усі вищезазначені вимоги та заходи безпеки.

ВИСНОВКИ

ВИСНОВКИ

Завданням кваліфікаційної роботи є зменшення витрат на електроенергію шляхом правильного вибору потужності двигуна, використання комплектного електроприводу, а також застосування системи контролю і діагностики аварійних ситуацій. Використання комплектного електроприводу дозволяє підвищити ресурс відцентрового насосу, зменшити витрати на технічне обслуговування і ремонт.

Досліджено динаміку проектованого електроприводу в режимах пуску, усталеного руху і гальмування з використанням спеціалізованого пакету MATLAB. Розроблено програму по підвищенню рівня автоматизації об'єкта.

У розділі динаміки електроприводу були прийняті технічні рішення щодо забезпечення надійної та безпечної роботи відцентрового насосу. Обрані кабелі живлення, також обраний автоматичний вимикач для захисту вхідних каскадів перетворювача частоти від коротких замикань.

У розділі охорони праці був виконаний аналіз впливу шкідливих і небезпечних факторів на обслуговуючий персонал. Виконано індивідуальне завдання та запропоновано інженерні заходи для мінімізації або повної нейтралізації показаних факторів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Основи гідравліки і насоси https://sites.google.com/site/osnoviteplotehnikitagidravliki/rozdil-persij-osnovi-gidravliki-i-nasosi/-3-nasosi/3-4-budova-i-princip-diie-vidcentrovogo-nasosa
2. Метод та засоби оптимізації роботи електроприводів насосної станції водопостачання : монографія / В. В. Грабко, М. М. Мошноріз. – Вінниця : ВНТУ, 2011. – 138 с. https://press.vntu.edu.ua/index.php/vntu/catalog/download/268/495/540-1?inline=1
3. В76 Основи електропривода виробничих машин та комплексів [текст]: навч. посіб. / В.Е. Воскобойник, В.А. Бородай, Р.О. Боровик, О.Ю. Нестерова – Д.: Національний ТУ «Дніпровська політехніка», 2021. – 254 с.
4. Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи МЕП-8 з дисципліни "Моделювання електромеханічних систем" для студентів спеціальності 7.092203 / Упорядн.: В.І.Кириченко, С.Б.Савченко. - Дніпропетровськ: НГА України, 2000.-19с.
5. Шахтные насосы (теория, расчет и эксплуатация): Справочное пособ. – М. Недра, 1993. – 224 с.
6. Методичні вказівки з виконання розрахункової частини розділу „охорона праці” в дипломних проектах студентів інституту електроенергетики. Частина 1 /Уклад. В.І. Голінько, В.Ю. Фрундін, Я.Я. Лебедєв, В.Є. Колесник – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет. – 2004. – 34 с.
7. ГОСТ 12.0.003-74 Опасные и вредные производственные факторы. Классификация
8. Методичні вказівки до виконання економічної частини дипломної роботи для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / Укладачі: Л.В. Тимошенко, Н.В. Дементьєва - Дніпро: НГУ, 2021. - 14 с.

ДОДАТОК А

		Позначення	Найменування	Кількість листів
1			Документація	
2	А4		Пояснювальна записка	59
3			Демонстраційні матеріали	
4			Презентація	