

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

_____ Інститут Електроенергетики
(інститут)
_____ Електротехнічний факультет
(факультет)
_____ Кафедра електропривода
(повна назва)

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

студента Цуприк Олександр Олександрович
(ПІБ)

академічної групи 141-17-4
(шифр)

спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(код і назва спеціальності)

спеціалізації _____

за освітньо-професійною програмою Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(офіційна назва)

на тему Електропривод горизонтальної відцентрової ливарної машини

_____ (назва за наказом ректора)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи	Боровик Р.О.			
розділів:				
Технологічна частина	Боровик Р.О.			
Автоматизований електропривод	Боровик Р.О.			
Дослідження динаміки електропривода	Боровик Р.О.			
Охорона праці	Столбченко О.В.			
Техніко-економічне обґрунтування	Тимошенко Л.В.			
Рецензент				
Нормоконтролер	Казачковський М.М.			

Дніпро
2021

ЗАТВЕРДЖЕНО:

завідувач кафедри
електропривода

_____ (повна назва)

_____ (підпис)

Казачковський М.М.

_____ (прізвище, ініціали)

« _____ » _____ 20__ року

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

студенту Цуприк О.О. академічної групи 141-17-4
(прізвище та ініціали) (шифр)
спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

спеціалізації¹ _____
за освітньо-професійною програмою Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(офіційна назва)

на тему Електропривод горизонтальної відцентрової ливарної машини

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 12.04.2021 № 201-с

Розділ	Зміст	Термін виконання
Технологічна частина	Опис конструкції установки, вимоги до електроприводу.	02.05 – 08.05
Автоматизований електропривод	Розрахунок потужності та вибір двигуна, перетворювача і додаткового електричного обладнання горизонтальної відцентрової ливарної машини.	09.05 – 15.05
Дослідження динаміки електропривода	Розрахунок параметрів електропривода та регуляторів, дослідження динаміки електропривода, перевірка якості перехідних процесів системи.	16.05 – 24.05
Охорона праці	Аналіз шкідливих і небезпечних факторів та заходи щодо їх усунення	25.05 – 31.05
Техніко-економічне обґрунтування	Розрахунок основних техніко-економічних показників впровадження проекту.	01.06 – 07.06

Завдання видано _____

_____ (підпис керівника)

_____ (прізвище, ініціали)

Дата видачі 12 квітня 2021

Дата подання до екзаменаційної комісії _____

Прийнято до виконання _____

_____ (підпис студента)

_____ (прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 56 стр., 16 рис., 7 табл., 21 джерел.

Об'єкт: електропривод горизонтальної відцентрової ливарної машини.

Мета дипломного проекту: детальна розробка електроприводу ізложиці.

Технічний проект містить розрахунки, які підтверджують працездатність системи й електроприводу в цілому.

У розділі «Технологічна частина» вказані основні параметри, вихідні дані й технічні параметри двигуна горизонтальної відцентрової ливарної машини.

У другому розділі проведено вибір електродвигуна та перевірка його за навантажувальною здатністю, розраховано параметри силових кіл системи електроприводу. Виконано розрахунок параметрів системи автоматичного регулювання.

У третьому розділі зроблено аналіз динаміки роботи системи автоматизованого електроприводу. Шляхом моделювання скориговано параметри САР, розраховані у другому розділі. На основі аналізу графіків перехідних процесів зроблено висновок про задовільну якість регулювання системи електроприводу.

У розділі «Охорона праці» виконано аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів при роботі з ізложицею. Розроблено інженерно технічні заходи щодо забезпечення безпеки праці.

В техніко – економічній частині було зроблено розрахунок капітальних та експлуатаційних витрат, виконано аналіз показників економічної ефективності.

ПЕРЕТВОРЮВАЧ ЧАСТОТИ, АСИНХРОННИЙ ДВИГУН,
ЕЛЕКТРОПРИВОД, ІЗЛОЖИЦЯ, ВІДЦЕНТРОВЕ ЛИТТЯ, МОДЕЛЮВАННЯ,
ПЕРЕХІДНІ ПРОЦЕСИ

						Арк.
						3
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ABSTRACT

Memorandum: 56 pages, 16 illustrations, 7 tables, 21 sources.

The object of the diploma project is the electric drive of the horizontal centrifugal foundry machine.

The Purpose of the diploma project is to perform the detailed design of the electric drive.

Technical project contains calculation, which confirm working capacity of the system and the electronic drive in general.

The section «Technological part» designs the main parameters, basic data and drive engine technical parameters.

The second section conducts the selection of electric drive and tests its output capacity; calculates the electric system power circuit parameters; performs accounting of automatic control system parameters.

The third section performs the analysis of automatic electric drive system operation dynamics. The SAC parameters, calculated in the second section were corrected by modeling. The conclusion regarding the satisfactory quality of electric system regulation was made on basis of transient-responses graphics analysis. The section «Work safety» analyses harmful and danger production factors working with mold.

The technical economical section calculates capital and maintenance costs; analyses cost-and-saving factors.

FREQUENCY TRANSFORMER, INDUCTION MOTOR, ELECTRIC DRIVE,
MOLD, TRUE CENTRIFUGAL CASTING, MODELING, TRANSIENT-
RESPONSE

						Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	3
ABSTRACT	4
ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1 Технологічна частина.....	7
1.1 Значення ливарного виробництва в машинобудуванні.....	7
1.2 Теорія відцентрового лиття.....	7
1.3 Технологія відцентрового лиття.....	8
1.4 Машини для відцентрового лиття	10
РОЗДІЛ 2 Автоматизований електропривод.....	14
2.1 Розрахунок потужності.....	14
2.2 Система керування	18
2.3 Вибір двигуна	22
2.4 Перевірка двигуна за нагріванням.....	25
2.5 Вибір перетворювача частоти.....	26
2.6 Система ПЧ-АД.....	27
РОЗДІЛ 3 Дослідження динаміки електропривода	29
3.1 Математичний опис узагальненої асинхронної машини	29
3.2 Розрахунок параметрів асинхронного двигуна.....	34
3.3 Математичне моделювання системи.....	35
РОЗДІЛ 4 Охорона праці	39
4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих факторів у ливарному цеху.....	39
4.2 Інженерно-технічні заходи з охорони праці.....	40
4.3 Пожежна профілактика.....	45
4.4 Розрахункове обґрунтування і вибір систем кондиціонування.....	45
РОЗДІЛ 5 Техніко-економічне обґрунтування.....	48
5.1 Вступ.....	48
5.2 Капітальні витрати	48
5.3 Експлуатаційні витрати	50
5.4 Економічне обґрунтування.....	53
ВИСНОВКИ.....	54
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	55

						Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Сучасне промислове виробництво характеризується використанням високопродуктивних технологічних машин і механізмів, оснащених електричним приводом та системами автоматичного керування. Практично всі транспортні, промислові, медичні та побутові установки, засновані на механічному русі і використовують електричну енергію як енергетичну основу для виконання технологічних операцій та процесів. На електропривод витрачається більше 65 % вироблюваної електроенергії [6].

В умовах сучасної економіки найбільш актуальними стають завдання підвищення продуктивності технологічних процесів, зниження енергоємності продукції, підвищення надійності систем електроприводів. Відомо, що показники споживання електроенергії, надійність і довговічність електродвигунів безпосередньо пов'язані з процесом експлуатації обладнання. Ці вимоги зумовили широкий розвиток і впровадження цифрових систем електроприводів.

В якості об'єкта дипломного проекту обрано електропривод ізложиці горизонтальної відцентрової ливарної машини. Завданнями дипломного проекту є: вибір потужності двигуна і типу електроприводу за технологічними вимогами, які повинен виконувати виробничий орган або механізм, перевірка обраного двигуна за нагрівом, розрахунок параметрів системи автоматичного регулювання, перевірка розрахунків за допомогою математичного моделювання його роботи на математичній моделі, розробка інженерно технічних охоронних засобів і заходів, а також техніко-економічне обґрунтування прийнятого рішення.

						Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1

ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

1.1 Значення ливарного виробництва в машинобудуванні

Заготовки деталей машин та інші металеві вироби можна отримати різними способами: куванням, штампуванням, зварюванням тощо. Однак найбільш поширеним і найдешевшим способом їх виробництва слід вважати лиття, характерною особливістю якого є універсальність – можливість отримувати різноманітних по конфігурації і технічним властивостям фасонні виливки з чавуну, сталі і сплавів кольорових металів. Високі механічні та експлуатаційні властивості виливків обумовлюють їх широке застосування в різних галузях промисловості, особливо у верстатобудуванні, де литі деталі складають до 90% маси металорізального верстата. Враховуючи це, ливарне виробництво по праву вважають основою машинобудування [1].

1.2 Теорія відцентрового лиття

Спосіб отримання виробу заданої конфігурації заливанням розплавленого металу в нерухому форму заснований на тому, що рідина, залита в форму, повторює її, а переходячи в результаті охолодження у твердий стан, зберігає її. При цьому рідкий метал, спочиваючи в нерухомій формі, знаходиться під дією однієї лише сили тяжіння і підкоряється законам гідростатики, так що верхня поверхня металу повторює контури форми тільки у випадку, коли вона заповнена. У неповній формі вільна поверхня металу горизонтальна.

Якщо форму привести в обертальний рух, то тертя між її стінками і рідиною й в'язкість останньої породжують тангенціальні сили, які з більшою або меншою поступовістю залучають в цей рух всю рідину. Крім сили тяжіння, на кожен частку рідини, що обертається, буде діяти відцентрова сила, яка викликає переміщення їх в напрямку, перпендикулярному осі обертання. У повній формі результатом цього переміщення буде лише перерозподіл часток рідини всередині її об'єму так, що найбільш важкі частинки розташуються в точках, найбільш віддалених від осі обертання і, навпаки, найбільш легкі частинки розташуються в точках, найближчих до осі обертання. У неповній формі це переміщення викликає, крім того, підвищення рівня рідини по мірі наближення до її стінок і надає вільній поверхні форму тіла обертання.

						Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На цьому заснований спосіб отримання литих деталей, відомий під назвою відцентровий. Залитий у обертову ізложицю метал відцентровою силою відкидається до її стінок, більш-менш рівномірно розподіляючись уздовж них. При досить великому числі обертів внутрішня поверхня виливки отримує форму, близьку до циліндра, вісь якого практично збігається з віссю обертання. Стінки ізложиці при цьому відчують тиск, відмінний від гідростатичного і залежний від окружної швидкості і питомої ваги металу.

Недостатнє число обертів створює небезпеку отримання виливки спотвореної форми, з неправильними розмірами. Зайва кількість обертів ускладнює машину, збільшує діюче на ізложицю розриваюче зусилля, створюючи підвищені вимоги щодо її міцності [2]. Таким чином, швидкість обертання форми, обумовлена числом обертів її за хвилину, повинна бути найменшою, але такою щоб забезпечувала отримання якісної виливки [3].

Цих попередніх зауважень достатньо для висновку, що практичне конструювання відцентрових машин і проектування їх режиму роботи повинні ґрунтуватися на закономірностях, що пов'язують режим обертання (кількість оборотів, положення осі обертання) з видом вільної поверхні рідини, розподілом тиску всередині її і тиском, який діє на стінки форми. Необхідно ще враховувати хімічний склад металу який заливається і властивості форми.

Зазвичай вдаються до спрощеної схеми відцентрового процесу і розглядають його елементарно. Виділяють головні чинники і основні проблеми. До числа головних факторів можна віднести внутрішній діаметр форми, товщину стінки, швидкість обертання, щільність металу і кут нахилу осі обертання. Основними проблемами відцентрової виливки вважаються вид вільної поверхні, розподіл тиску і визначення швидкості обертання [2].

1.3 Технологія відцентрового лиття

Відцентрове лиття застосовують, головним чином, при отриманні виливків, що мають форму тіл обертання: водопровідних і каналізаційних труб, стволів артилерійських знарядь, втулок, барабанів тощо. Подібні виливки масою від декількох кілограмів до 3т можуть відливатися з чавуну, сталі, бронзи й інших сплавів.

При відцентровому литті розплав заливають у металеву форму, що обертається зі швидкістю 3000 об/хв (рис. 1.1). Під дією відцентрової сили розплав розподіляється по внутрішній поверхні форми і, кристалізуючись, утворює виливок. Відцентровим способом можна отримати двошарові

						Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

заготовки, що досягається почерговою заливкою у форму різних сплавів. Кристалізація розплаву в металевій формі під дією відцентрової сили забезпечує отримання щільних виливків. При цьому, як правило, у відливках не буває газових ніш й шлакових домішок. Особливими перевагами відцентрового лиття є отримання внутрішніх порожнин без застосування стержнів і значна економія сплаву (через відсутність ливникової системи). Вихід придатних виливків підвищується до 95%.

При відцентровому литті використовують машини з горизонтальною (рис. 1.1, а) і вертикальною (рис. 1.1, б) віссю обертання. Перші застосовують для відливання втулок, гільз та інших заготовок значної довжини, що мають форму тіла обертання, а другі – для лиття кільцевих заготовок. При використанні спеціальних форм з піщано-глинистих сумішей, гуми та інших матеріалів на вертикальних машинах можна отримувати фасонні заготовки різної форми [1].

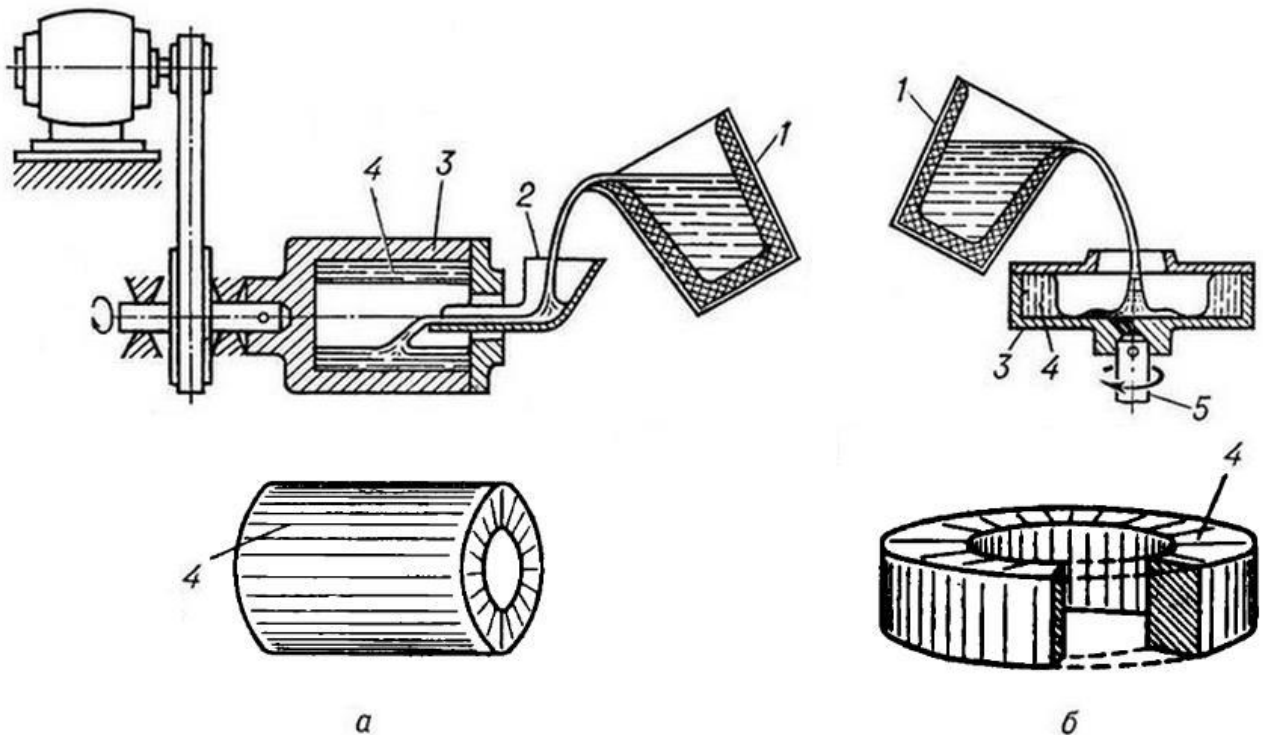


Рис. 1.1 Схема відцентрованого методу лиття:
 а – на машині з горизонтальною віссю обертання,
 б – на машині з вертикальною віссю обертання;
 1 – ківш, 2 – жолоб, 3 – форма, 4 – виливка, 5 – шпindelь.

						Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.4 Машини для відцентрового лиття

Відцентрове лиття належить до ливарних процесів, основні операції яких виконуються з використанням відцентрових агрегатів. Відцентрові машини різноманітні, але в кожній основним елементом є обертові ливарні форми, так звані ізложиці. Усі машини мають, крім того, електродвигуни та заливальні пристрої для прийому рідкого металу і подачі його до ізложиці.

Залежно від призначення, машини для відцентрового лиття поділяють на універсальні – для виготовлення відливок загального призначення, труболиварні – для виготовлення чавунних і сталевих труб, у тому числі труб великого діаметру, спеціального призначення – для виготовлення однотипних виливків у масовому виробництві (гільзи двигунів внутрішнього згоряння, біметалічні виливки тощо), а також валків прокатних станів і папероробних машин. До останнього типу можна віднести і багатошпindelні машини для виготовлення дрібних виливків з кольорових сплавів.

Вимоги до машин. Машини повинні забезпечувати обертання форм з необхідною кутовою швидкістю, зміну числа обертів форми у межах, заданих умовами технологічного процесу, необхідні розгінні і гальмівні характеристики. Окрім того, вони повинні працювати плавно, без вібрацій, мати міцні й зручні пристрої для кріплення і фіксації форм, пристрої підігріву та охолодження ізложиць. Незалежно від типу і конструктивного виконання машини для відцентрового лиття мають наступні основні вузли: привод обертання форми, опорні пристосування для кріплення (або фіксації) форми. Крім того, різні машини можуть оснащуватися пристроями введення і виведення заливного лотка, механізмом виштовхування виливків, кожухами, які слугують для забезпечення умов безпечної роботи.

Універсальні машини. Шпindelні ливарні машини з горизонтальною віссю обертання (рис. 1.2) використовують при виготовленні виливків загального призначення, наприклад втулок.

На бетонній основі 1 розташована станина 2, на якій в підшипниках кочення обертається горизонтальний шпindel 3, що приводиться в рух електродвигуном 4. Від електродвигуна через клиноремінну передачу 5 і ступінчастий шків 6 обертання передається на форму 7 з кришкою 8. Розплав заливають через жолоб 9, встановлений на поворотній кришці захисного кожуха 10. З метою збільшення продуктивності машини і запобігання надмірного нагріву форму охолоджують водою, через трубу 11 з

						Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

просвердленими в ній отворами. Шпиндельні машини прості в обслуговуванні, надійні в роботі, можлива швидка заміна форм, що важливо при великій номенклатурі виливків. Недоліком таких машин є обмежена маса отриманих виливків (до 120 кг), для виливків більшої маси консольне кріплення форми недостатньо надійне.

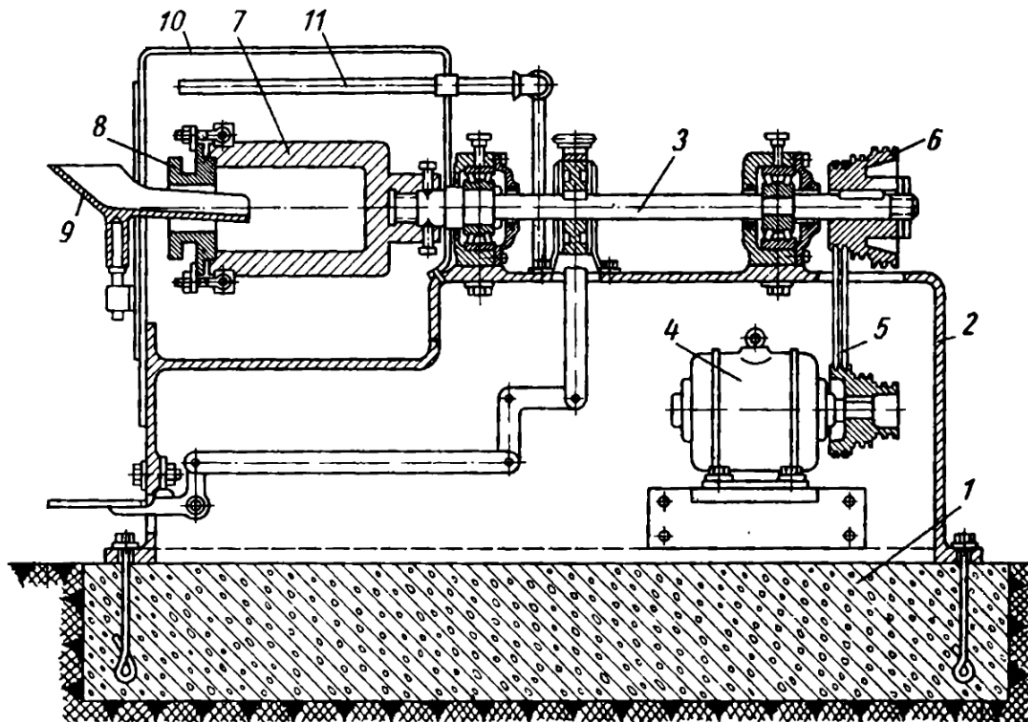


Рис. 1.2 Шпиндельна ливарна машина для виливків загального призначення.

1 – бетонна основа, 2 – станина, 3 – шпиндель, 4 – електродвигун,
5 – клиноремінна передача, 6 – шків, 7 – форма, 8 – кришка, 9 – жолоб,
10 – захисний кожух, 11 – система охолодження.

Роликові машини з горизонтальною віссю обертання використовують для виготовлення масивних втулок, кілець. Перевагою роликових машин є можливість виготовлення на них виливків різних розмірів і маси. Це досягається зміною форм і відповідною перестановкою опорних роликів на фундаментній плиті. Діаметр роликів виконують таким чином, щоб при сполученні ролика з формою виходила пара з необхідним передатним числом. При збільшенні діаметра форми передатне число автоматично збільшується. Це дозволяє виключити з приводу машини редуктор, спрощуючи конструкцію машини. Недоліками роликових машин є складність балансування рухомих частин, складність переналагодження при зміні форм, сильний шум при роботі.

Машини з вертикальною віссю обертання використовують при виготовленні фасонних виливків.

					Арк.
					11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

У багатьох конструкціях машин з вертикальною віссю обертання виключається необхідність застосування зовнішніх заливальних пристроїв, оскільки вони входять до складу плавильно-заливального агрегату, розташованого усередині камери агрегату для вакуумної плавки і заливки сплавів.

Труболиварні машини. Литі водопровідні та каналізаційні труби діаметром 50...1200 мм і довжиною до 7000 мм є типовими представниками виливків масового виробництва, одержаних відцентровим способом. Литі труби не піддаються обробці різанням [4].

За технологією виробництва труб відцентровим способом ділиться на три види: лиття в металеву ізложицю, покриту зсередини шаром теплоізоляційного матеріалу, лиття в металеву ізложицю без внутрішнього покриття і лиття в ротор (круглу опоку) з піщаною формою, яка може бути і сухою і сирою.

Ізложицю з теплоізоляційним покриттям готують для машини завчасно. На спеціальному столі її підігривають, наносять теплоізоляційне покриття і встановлюють у форму внутрішній стержень. Стіл має чотири позиції; на кожній з них спеціальний пристрій повертає ізложицю, нагріває і охолоджує її. Потім мостовий кран ставить ізложицю на машину. Коли виливка готова, її виймають, а ізложицю повертають на підготовчий стіл.

Для отримання труб в металевих ізложицях без покриття використовують відцентрові машини двох типів: з рухомим заливальним жолобом і з рухомою ізложицею [5].

Для виготовлення труб з сірих чавунів застосовують інтенсивно охолоджені металеві форми замість футерованих. Це дозволяє усунути з технологічного процесу лиття футеровку форм піщаними сумішами, поліпшити умови праці в ливарних цехах.

Найбільшого поширення набули в промисловості машини з рухомою ізложицею. Вони мають менші розміри, у них відсутня вібрація довгого заливального жолоба, виключається торкання жолобом обертової форми. Нахил машини 3...5° убік розтрубної частини форми покращує стікання розплаву з жолоба до ізложиці. Такі машини дозволяють виготовляти труби діаметром 50...300 мм, довжиною до 6000 мм з продуктивністю 15...40 труб на годину [4].

У багатьох випадках промисловості потрібні двошарові виливки. І тут відцентровий спосіб цілком придатний, оскільки сплави можна приготувати одночасно в двох плавильних печах і залити форму двічі через невеликий проміжок часу. Так роблять прокатні валки з білого і сірого чавуну, валки з

						Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

неіржавіючої сталі і сірого чавуну, втулки із сталі і чавуну, труби з вуглецевої і неіржавіючої сталі [5].

При розробці електроприводу горизонтальної відцентрової ливарної машини мають бути дотримані такі вимоги:

- Плавна зміна швидкості.
- Режим роботи – повторно-короткочасний і легко регульований при порівняно високому числі обертів.
- Слід обирати двигуни закритого виконання.
- Електрообладнання відцентрової ливарної машини повинно забезпечувати надійну роботу, безпеку обслуговування, простоту експлуатації і надійний захист в аварійних режимах.

При розрахунках моменту інерції механізму й навантажувальної діаграми слід прийняти, що заливка металу до ізложиці проводиться при пониженій постійній швидкості обертання, що забезпечує його рівномірне розподілення, при цьому відбувається зростання моменту інерції ізложиці. Робочий цикл характеризується тахограмою роботи привода горизонтальної відцентрової ливарної машини (рис. 1.3):

- запуск порожньої ізложиці до зниженої швидкості n_1 (тривалість t_1);
- заливка металу до ізложиці при постійній швидкості n_1 (тривалість t_2);
- розгін ізложиці до максимальної швидкості n_2 (тривалість t_3);
- охолодження (застигання) металу на швидкості n_2 (тривалість t_4);
- гальмування приводу ізложиці до нульової швидкості (тривалість t_5);
- цикл роботи закінчується виштовхуванням виготовленої деталі.

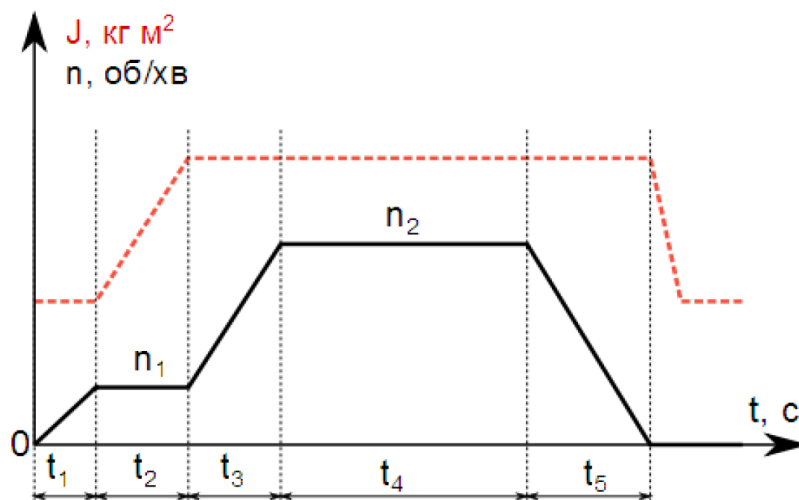


Рис. 1.3 Тахограма робочого циклу електропривода ізложиці та зміна її моменту інерції

					Арк.
					13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

РОЗДІЛ 2

АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД

2.1 Розрахунок потужності

При невеликих діаметрах деталей (до 300 мм), що виготовляються методом відцентрованого лиття, ізложиця розташовується консольно на валу. Всередині цієї порожнини знаходиться шток, за допомогою якого виштовхується деталь з ізложиці після зупинки привода. Зважаючи на цю особливість обертальний момент від двигуна до валу ізложиці передається за допомогою ремінної передачі.

Кінематична схема приводу горизонтальної відцентрової ливарної машини представлена на рис. 2.1. Параметри вказані на рис. 2.2, чисельні значення наведені в табл. 2.1. Всі елементи на схемі представлені в спрощеному вигляді, що не призводить до значної похибки при розрахунках.

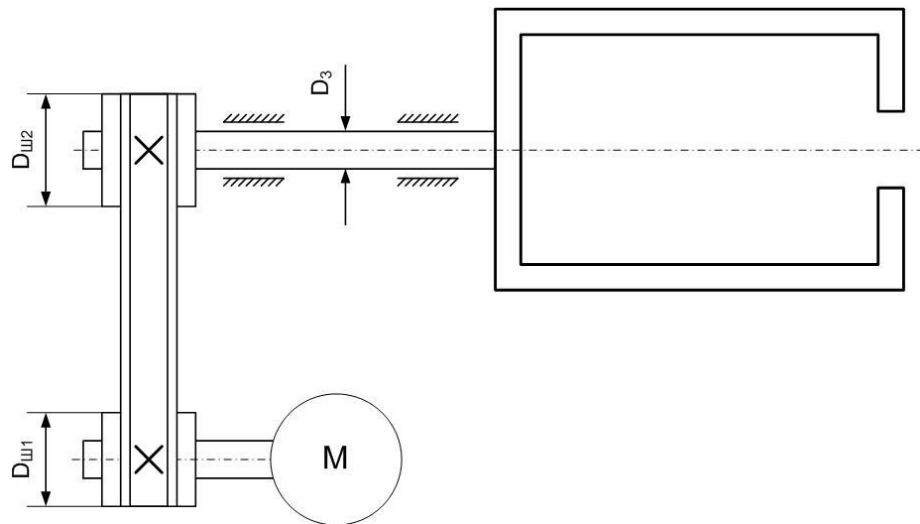


Рис. 2.1 Кінематична схема приводу горизонтальної відцентрової ливарної машини

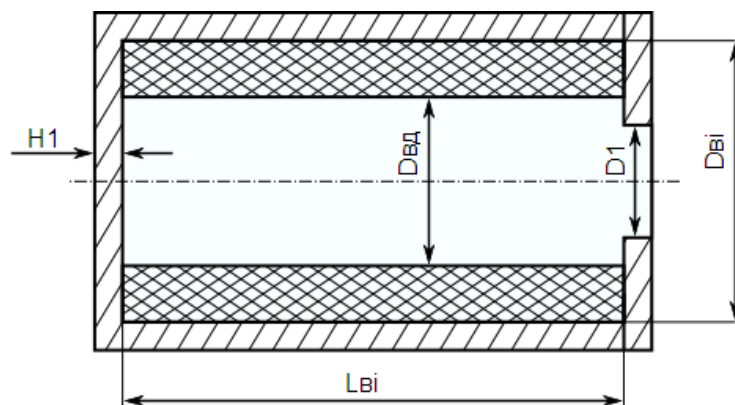


Рис. 2.2 Ескіз ізложиці

					Арк.
					14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Вихідні дані

$L_{вi}$, мм	$D_{вi}$, мм	$D_{вд}$, мм	H_1/D_1 , мм	n_1 , об/хв	n_2 , об/хв	$I_{iзл}$, кг·м ²	t_2 , с	t_4 , с	$D_{ш1}/D_{ш2}$, мм	D_3 , мм
140	58	35	34/20	750	1600	0,42	180	900	140/56	30

Розрахунок статичного моменту

Статичний момент на валу ротора (механізму):

$$M_{с.мех1} = M_{пов\ 750} + M_{Т\ нор} = 0,346 + 0,101 = 0,448 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

$$M_{с.мех2} = M_{пов\ 1600} + M_{Т\ нор} = 1,577 + 0,101 = 1,678 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

$$M_{с.мех3} = M_{пов\ 750} + M_{Т\ зав} = 0,346 + 0,113 = 0,459 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

$$M_{с.мех1} = M_{пов\ 1600} + M_{Т\ зав} = 1,577 + 0,113 = 0,448 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

де $M_{пов}$ – складова статичного моменту, обумовлена тертям ізложиці об повітря при обертанні, Н·м; M_m – момент, створюваний силами тертя валу ротора ізложиці в підшипниках, Н·м.

Момент сил тертя о повітря:

$$M_{пов\ 750} = 23,5 \cdot 10^{-6} \cdot H \cdot D \cdot n_1^2 = 23,5 \cdot 10^{-6} \cdot 0,208 \cdot 0,126 \cdot 750^2 = 0,346 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

$$M_{пов\ 1600} = 23,5 \cdot 10^{-6} \cdot H \cdot D \cdot n_2^2 = 23,5 \cdot 10^{-6} \cdot 0,208 \cdot 0,126 \cdot 1600^2 = 1,577 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

де H – висота (довжина) ізложиці, м; D – діаметр ізложиці, м; n – швидкість обертання ізложиці, об/хв.

$$H = L_{вi} + 2 \cdot H_1 = 0,14 + 2 \cdot 0,034 = 0,208 \text{ м}$$

$$D = D_{вi} + 2 \cdot H_1 = 0,058 + 2 \cdot 0,034 = 0,126 \text{ м}$$

Момент сил тертя в підшипниках:

$$M_T = 4,9 \cdot f \cdot m_{мех} \cdot d = 4,9 \cdot 0,04 \cdot 19,213 \cdot 0,03 = 0,113 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

де $f=0,03-0,09$ – коефіцієнт тертя, що залежить від типу підшипника;
 $m_{мех}$ – маса ізложиці із залитим металом, кг; d – діаметр валу, на якому укріплена ізложиця, м.

Маса ізложиці із залитим металом:

$$m_{мех} = m_{iзл} + m_{зав} = 17,261 + 1,952 = 19,213 \text{ кг}$$

де $m_{iзл}$ – маса ізложиці, кг; $m_{зав}$ – маса завантаження, кг;

Маса ізложиці

$$m_{iзл} = V_{iзл} \cdot \rho_{сталь} = 0,00221 \cdot 7800 = 17,261 \text{ кг}$$

										Арк.
										15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

де $V_{\text{ізл}}$ – внутрішній об'єм ізложиці, м³; $\rho_{\text{сталь}} = 7700-7900$ – щільність сталі, кг м³. Приймаємо $\rho_{\text{сталь}} = 7800$ кг м³.

$$V_{\text{ізл}} = \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - D_{\text{вн}}^2) \cdot H_1 + \frac{\pi}{4} \cdot H_1 \cdot (2 \cdot D^2 - D_1^2) = \frac{3,14}{4} \cdot 0,14 \cdot (0,126^2 - 0,058^2) + \frac{3,14}{4} \cdot 0,034 \cdot (2 \cdot 0,126^2 - 0,02^2) = 0,00221 \text{ м}^3$$

Маса завантаження. Прийемо, що до ізложниці завантажено латунь.

$$m_{\text{зав}} = V_{\text{зав}} \cdot \rho_{\text{латунь}} = 0,00024 \cdot 8300 = 1,952 \text{ кг}$$

де $V_{\text{зав}}$ – об'єм завантаження, м³; $\rho_{\text{латунь}} = 8300-8700$ – щільність латуні, кг м³.
Прийемо $= 8300$ кг м³.

Момент сил тертя в підшипниках для порожньої та завантаженої ізложиці ($f=0,04$ – підшипники кочення):

$$M_{\text{Т.зав}} = 4,9 \cdot f \cdot m_{\text{мех}} \cdot D_3 = 4,9 \cdot 0,04 \cdot 19,213 \cdot 0,03 = 0,113 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{\text{Т.пор}} = 4,9 \cdot f \cdot m_{\text{ізл}} \cdot D_3 = 4,9 \cdot 0,04 \cdot 17,261 \cdot 0,03 = 0,101 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Розрахунок моменту інерції

Відповідно до розрахункової схеми механічної частини розраховується сумарний момент інерції привода J_{Σ} , зведений до валу двигуна. При цьому маємо два усталених значення для ділянки робочого циклу, коли ізложиця порожня та повністю завантажена металом.

$$J_{\text{мех.зав}} = J_{\text{ш дв}} + \frac{J_{\text{ш ізл}} + J_{\text{ізл}} + J_{\text{зав}}}{i^2} = 0,01468 + \frac{0,00035 + 0,42 + 0,00112}{2,5^2} = 0,0821 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$J_{\text{мех.пор}} = J_{\text{ш дв}} + \frac{J_{\text{ш ізл}} + J_{\text{ізл}}}{i^2} = 0,01468 + \frac{0,00035 + 0,42}{2,5^2} = 0,0819 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

де $J_{\text{ш дв}}$ – момент інерції шківів двигуна, кг·м²; $J_{\text{ш ізл}}$ – момент інерції шківів ізложиці, кг·м²; $J_{\text{ізл}}$ – момент інерції ізложиці, кг·м²; $J_{\text{зав}}$ – момент інерції завантаження, кг·м²; i – передатне відношення редуктора.

Щоб визначити момент інерції привода для ділянок робочого циклу, коли ізложиця повністю завантажена, необхідно визначити момент інерції завантаження, момент інерції шківів двигуна, момент інерції шківів ізложиці, передатне відношення редуктора.

Момент інерції завантаження, кг м²:

$$J_{\text{зав}} = \frac{\pi}{32} \cdot \rho_{\text{латунь}} \cdot (D_{\text{вн}}^4 - D_{\text{вд}}^4) \cdot L_{\text{вн}} = \frac{3,14}{32} \cdot 8300 \cdot (0,058^4 - 0,035^4) \cdot 0,14 = 0,00112 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Момент інерції шківів ізложиці, кг м²:

$$J_{\text{ш ізл}} = \frac{\pi}{32} \cdot \rho_{\text{сталь}} \cdot (D_{\text{ш2}}^4 - D_3^4) \cdot d_1 = \frac{3,14}{32} \cdot 7800 \cdot (0,056^4 - 0,03^4) \cdot 0,05 = 0,00035 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

						Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де d_1 – діаметр шківів ізложіці та шківів двигуна, м. Прийmemo $d_1 = 0,05$.

Момент інерції шківів двигуна, кг м²:

$$J_{ш\,дв} = \frac{\pi}{32} \cdot \rho_{сталь} \cdot (D_{ш1}^4 - D_3^4) \cdot d_1 = \frac{3,14}{32} \cdot 7800 \cdot (0,14^4 - 0,03^4) \cdot 0,05 = 0,01468 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Передатне відношення редуктора:

$$i = \frac{D_{ш1}}{D_{ш2}} = \frac{0,14}{0,056} = 2,5$$

Попередній вибір потужності двигуна

Потужність двигуна попередньо обирається орієнтовно, а після розрахунків перехідних процесів та побудування навантажувальної діаграми двигуна здійснюється перевірка за нагріванням.

Приведемо статичні моменти до валу двигуна:

$$M_{пр1} = i \cdot M_{с.мех1} = 2,5 \cdot 0,448 = 1,12 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{пр2} = i \cdot M_{с.мех2} = 2,5 \cdot 1,678 = 3,445 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{пр3} = i \cdot M_{с.мех3} = 2,5 \cdot 0,459 = 1,147 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{пр4} = i \cdot M_{с.мех4} = 2,5 \cdot 1,689 = 4,224 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Кутові швидкості механізму, рад/с.

$$\omega_1 = \frac{\pi \cdot n_1}{30} = \frac{3,14 \cdot 750}{30} = 78,5 \text{ рад/с}$$

$$\omega_2 = \frac{\pi \cdot n_2}{30} = \frac{3,14 \cdot 1600}{30} = 167,552 \text{ рад/с}$$

Кутові швидкості приведені до валу двигуна:

$$\omega_{пр1} = \frac{\omega_1}{1} = \frac{78,5}{2,5} = 31,4 \text{ рад/с}$$

$$\omega_{пр2} = \frac{\omega_2}{1} = \frac{167,552}{2,5} = 67,021 \text{ рад/с}$$

Еквівалентна потужність на валу робочого органу

$$P_{ре} = M_{пр4} \cdot \omega_{пр2} = 4,224 \cdot 67,021 = 283,103 \text{ Вт}$$

де $M_{пр4}$ – максимальний приведений момент до валу двигуна, Н·м;

$\omega_{пр2}$ – максимальна приведена швидкість до валу двигуна, рад/с.

Еквівалентна потужність на валу двигуна

$$P_e = \frac{P_{ре}}{\eta} = \frac{283,103}{0,96} = 294,899 \text{ кВт},$$

де $\eta = 0,96$ – ККД ремінної передачі.

Розрахункова потужність на валу двигуна

						Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P_{\text{роз}} = k_3 \cdot P_e = 1,2 \cdot 294,899 = 353,879 \text{ Вт},$$

де k_3 – коефіцієнт запасу, що враховує вплив динамічних навантажень та інших неврахованих при розрахунках факторів, зокрема, в погіршенні умов тепловіддачі двигуна при зниженій швидкості. Приймаємо $k_3 = 1,2$.

Приведення розрахункової потужності до стандартної (каталожної) тривалості включення ТВ_н виконується за формулою:

$$P_{\text{кат}} = P_{\text{роз}} \cdot \sqrt{\frac{T_{\text{ВМ}}}{T_{\text{ВН}}}} = 353,879 \cdot \sqrt{\frac{100}{100}} = 353,879 \text{ Вт},$$

де $P_{\text{кат}}$ – потужність на валу двигуна, приведена до стандартної тривалості включення ТВ_н.

2.2 Система керування

Регулювання швидкості згідно з вимогами технологічного процесу є однією з основних задач автоматизованого електроприводу. Регульований електропривод дозволяє змінювати швидкість виробничого механізму відповідно до керуючої дії, що виробляється системою регулювання або оператором. Регулювання та підтримка швидкості на заданому рівні повинні проводитися незалежно від сил опору, діючих на електромеханічну систему.

Для кількісного визначення вимог, що висуваються до електроприводу і для порівняння способів регулювання швидкості використовуються узагальнені показники. Основні з них: діапазон регулювання, точність і стабільність, плавність, динамічні показники якості, економічність регулювання тощо.

Генератор постійного струму (Г-Д)

У системі Г-Д двигун, швидкість якого потрібно регулювати, вмикається до генератора без додаткових опорів.

Генератор приводиться до обертання за допомогою привідного двигуна ПД (асинхронного або синхронного), утворюючи разом електромашинний перетворювач. Вихідна напруга генератора регулюється в широких межах, шляхом зміни струму в обмотці збудження. Для цього обмотка збудження живиться від регульованого тиристорного збудника. За необхідності регулювання швидкості зміною магнітного потоку двигуна, його обмотка збудження також живиться від тиристорного збудника [6].

Переваги системи Г-Д: відсутність потужної комутаційної апаратури; широкий діапазон регулювання швидкості (20:1 і вище); високі динамічні

						Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

характеристики в перехідних режимах; плавність регулювання; значна частота включень; високі енергетичні показники (генерація реактивної енергії синхронним двигуном).

Наряду з перевагами є і недоліки: висока вартість встановленого обладнання; велика маса і габарити електричних машин; низький ККД системи; значні експлуатаційні витрати; низька надійність через наявність колекторних машин [7].

Керований тиристорній перетворювач (ТП-Д)

Система ТП-Д вирізняється досить високою швидкістю перетворювача. Його постійна часу при напівпровідниковій СІФК не перевищує 0,01 с. Відповідно можливості створення швидкодіючих електроприводів при переході до системи ТП-Д істотно розширюються [8].

Переваги: висока швидкодія; висока точність регулювання; високі динамічні показники; можливість формування оптимальних діаграм швидкостей; високий ККД.

Недоліки: низький коефіцієнт потужності; негативний вплив на мережу (генерація вищих гармонійних складових, збільшення падіння напруги); підвищені електричні втрати в електродвигуні; $\cos \phi$, який змінюється в широких межах; значні спотворення форми споживаного з мережі струму [7].

Регулювання швидкості асинхронного двигуна вмиканням додаткових опорів у коло ротора

Вмикання додаткового опору в коло ротора (реостатне регулювання) дозволяє, як і для двигуна постійного струму, регулювати швидкість вниз від основної [8].

Переваги цього способу: проста структура системи управління; низька вартість устаткування; простота пуско-налагоджувальних робіт; простота обслуговування і ремонту.

Недоліки: великі втрати енергії при регулюванні швидкості за рахунок введення опору в коло ротора (на ньому виділяється потужність, пропорційна глибині регулювання); великі теплові втрати при роботі на низьких швидкостях; низький коефіцієнт потужності (0,35 – 0,65); невеликий діапазон регулювання швидкості (5:1); обмежена максимальна потужність електродвигуна (1,2 МВт); погані регульовальні характеристики; малі можливості для автоматизації підйомних установок; нестабільність роботи при низьких швидкостях; нелінійність механічних характеристик; ручне управління

						Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

електроприводом; низька керованість електродвигуна; наявність релейних комутуючих пристроїв знижує надійність роботи системи управління; необхідна наявність додаткового приміщення для реостатних установок з примусовим охолодженням; необхідний постійний контроль і догляд за щітковим апаратом; для високовольтних двигунів необхідна мережа 6 кВ, що впливає також на електробезпеку установки [7].

Перетворювач частоти – асинхронний (синхронний) двигун (ПЧ-А(С)Д)

Принцип керування полягає в тому, що, змінюючи частоту f напруги живлення АД, можна змінювати його швидкість.

Переваги: високі енергетичні характеристики електроприводу; високі регульовальні характеристики; ефективний захист електродвигуна і всього електроприводу від можливих аварій; великі можливості в процесі автоматизації шахтного підйому; формування будь-яких робочих тахограм з необхідними прискореннями; постійний контроль за станом електродвигуна; збільшення строку служби технологічного обладнання; зниження витрат на планово-попереджувальні та ремонтні роботи; забезпечення оперативного управління та достовірного контролю за ходом технологічних процесів; можливість використання енергозберігаючих режимів роботи електроприводу; можливість прямого управління моментом; застосування дешевшого і більш надійного синхронного двигуна замість двигуна постійного струму; менший вміст гармонік зменшує втрати в синхронному двигуні.

Недоліки: великі капітальні витрати, пов'язані з купівлею частотного перетворювача і заміною існуючого електродвигуна; необхідність додаткової примусової вентиляції електродвигуна (при роботі на малих швидкостях); необхідність забезпечення захисту частотного перетворювача від впливу навколишнього середовища; необхідність використання в гальмівних режимах блоку резисторів, що впливає на вартість електроприводу; потрібне збільшення встановленої потужності електроприводу; потреба використання додаткових фільтрів для забезпечення необхідної якості електроенергії [7].

Асинхронно-вентильний каскад (АВК)

Принцип дії АВК полягає в наступному: напруга, що генерується ротором асинхронного двигуна, випрямляється випрямлячем, після чого інвертується назад у мережу інвертором [9].

						Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Переваги: високі регульовальні характеристики електроприводу; плавність регулювання швидкості і моменту електродвигуна; відсутність комутаційної апаратури в колі ротора; низькі капіталовкладення на установку.

Недоліки: необхідність застосування додаткового обладнання: випрямляч, дросель, інвертор, трансформатор; збільшення встановленої потужності електроприводу; низький коефіцієнт потужності; неможливість роботи з номінальною швидкістю через втрати в перетворювачах; наявність кілець і щіткових контактів у двигуна; складність пусконаладжувальних робіт [7].

За функціональними можливостями коли відцентрові установки працюють на великих швидкостях і потрібна автоматизація, доцільно застосовувати керований електропривод постійного або змінного струму.

За впливом електроприводу на живильну мережу

Поганий вплив на якість живлячої напруги надають системи управління з тиристорними перетворювачами. Компенсація реактивної потужності можлива на установках де використовуються синхронні електродвигуни. Впливають не значною мірою на живильну мережу і частотні перетворювачі, але за умови наявності фільтрів. Також частотні перетворювачі здатні забезпечити режим рекуперації енергії.

За габаритними показниками і трудовитратами на обслуговування погані показники у систем з електромашинними перетворювачами: системи Г-Д, АД з АВК. Для електроприводу АД з реостатним регулюванням необхідно додаткове приміщення для реостатних установок та потрібно їх охолодження. Частого обслуговування вимагають колекторні машини і машини з контактними кільцями. Налагодження систем електроприводу з тиристорними перетворювачами і вентильними каскадами пов'язана з великими труднощами.

Хороші показники мають системи з сучасними частотними перетворювачами. Налаштування електроприводу відбувається програмно. Здійснюється постійний контроль за станом електроприводу, що забезпечує попередження аварійних ситуацій.

За енергоємністю лідирують системи з електромашинними перетворювачами: Г-Д, АД з АВК. Споживання електроенергії збільшується за рахунок використання додаткових агрегатів.

З розвитком напівпровідникової силової і перетворювальної техніки стало можливим повноцінно керувати швидкістю АД у широкому діапазоні (1:1000). Тепер частота обертання АД не залежить від частоти живильної мережі,

						Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

двигуни можна розганяти нижче і вище за їх номінальну швидкість. Також з'явилася можливість управління моментом асинхронних двигунів. Системи управління рухом з використанням асинхронних двигунів і перетворювачів частоти виходять дешевшими і простішими за подібні системи з двигунами постійного струму.

Саме це призвело до того, що на багатьох підприємствах електроприводи з двигунами постійного струму замінюють на асинхронні двигуни з системами управління, побудованими на перетворювачах частоти [10].

Перетворювач частоти має такі переваги: оперативне автоматичне або ручне управління швидкістю або параметром, який від цієї швидкості залежить; економію електроенергії при заміні інших способів регулювання; зниження пускових струмів до мінімально необхідних для реалізації пуску; зниження ударних навантажень на механізм при пуску; комплексний захист двигуна і механізму.

Навіть цей перелік функцій перетворювача частоти дозволяє забезпечити на порядок кращу керованість обладнання та суттєве збільшення терміну його експлуатації.

На сьогодні частотне управління для асинхронного приводу є свого роду технічним стандартом. Одночасно практично вийшли з ужитку в сучасних розробках такі способи управління і пристрої як симетричне і несиметричне керування напругою, управління введенням додаткових опорів у коло статора і ротора, управління зміною числа пар полюсів тощо [11].

З розглянутого виходить, що найдоцільнішим є електропривод змінного струму з частотним регулюванням (ПЧ-АД).

2.3 Вибір двигуна

З [19] вибираємо асинхронний двигун з короткозамкненим ротором типу АИР80А8, який задовольняє співвідношенню

$$P_H > P_{кат}$$

де P_H – номінальна потужність двигуна, що вказана в каталозі.

Номінальні дані двигуна:

Номінальна потужність двигуна	$P_H = 370$ Вт
Номінальна частота обертання	$n_H = 750$ об/хв
Перевантажувальна здатність двигуна	$\lambda_a = 1,7$
Пусковий момент	$M_{п} = 1,6M_H$ Н

					Арк.
					22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Пусковий струм	$I_{\Pi} = 3,5 \text{ A}$
Номинальний ККД	$\eta_{\text{н}} = 61,5$
Коефіцієнт потужності	$\cos\varphi = 0,65$
Активний опір статора	$R_S = 0,19 \text{ Ом}$
Реактивний опір статора	$X_S = 0,16 \text{ Ом}$
Номинальний опір ротора приведений	$R_R = 0,16 \text{ Ом}$
Реактивний опір ротора приведений	$X_R = 0,29 \text{ Ом}$
Реактивний опір намагнічування	$X_{\mu} = 1,3 \text{ Ом}$
Момент інерції ротора	$J_{\text{дв}} = 0,0034 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$
Номинальне ковзання	$S_{\text{ном}} = 0,089$
Критичне ковзання	$S_{\text{кр}} = 0,33$

Для розрахунку природної механічної характеристики в рушійному режимі та в режимах електричного гальмування (рекуперативне та противмикання) використовується рівняння:

$$M = \frac{2 \cdot M_{\text{к}} \cdot (1 + a \cdot S_{\text{кр}})}{\frac{S_{\text{ном}}}{S_{\text{кр}}} + \frac{S_{\text{кр}}}{S_{\text{ном}}} + 2 \cdot a \cdot S_{\text{кр}}},$$

де M – момент двигуна, Н·м; $M_{\text{к}}$ – критичний момент двигуна, Н·м; $S_{\text{ном}}$ – номінальне ковзання; a – відношення активного опору статора до опору ротора, приведенного до обмотки статора.

$$M_{\text{к}} = \lambda_a \cdot M_{\text{н}} = 1,7 \cdot 4,711 = 8,009 \text{ Н}\cdot\text{м},$$

де $M_{\text{н}}$ – номінальний момент двигуна, Н·м;

$$M_{\text{н}} = 9,55 \cdot \frac{P_{\text{н}}}{n_{\text{н}}} = 9,55 \cdot \frac{370}{750} = 4,711 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

$$a = \frac{R_S}{R_R} = \frac{0,19}{0,16} = 1,188$$

Задаємося значенням ковзання S у межах від -0,2 до 2,2, знаходимо значення моменту і кутової швидкості та будуємо механічну характеристику двигуна $\omega=f(M)$ для трьох режимів: рекуперативного $S = -0,2 \div 0$, рушійного $S = 0 \div 1$, противмикання $S > 1$. Щоб точніше побудувати нелінійні ділянки характеристики, необхідно в області критичного ковзання зменшити крок зміни ковзання.

Розрахункові результати для кожного режиму зведено в таблиці 2.2 й за ними побудовано механічні характеристики рис. 2.3.

						Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

а)

Рекуперативний режим				
S	ω	M	ω	M
-0,2	94,25	-15,15	-94,25	15,15
-0,15	90,32	-11,92	-90,32	11,92
-0,1	86,39	-7,91	-86,39	7,91
-0,05	82,47	-3,74	-82,47	3,74
0	78,54	-0,01	-78,54	0,01

б)

Рушійний режим				
S	ω	M	ω	M
0,05	74,61	2,96	-74,61	-2,96
0,1	70,69	5,08	-70,69	-5,08
0,15	66,76	6,48	-66,76	-6,48
0,2	62,83	7,33	-62,83	-7,33
0,25	58,91	7,79	-58,91	-7,79
0,3	54,98	7,98	-54,98	-7,98
0,35	51,05	7,99	-51,05	-7,99
0,4	47,12	7,9	-47,12	-7,9
0,45	43,2	7,74	-43,2	-7,74
0,5	39,27	7,53	-39,27	-7,53
0,55	35,34	7,31	-35,34	-7,31
0,6	32,42	7,07	-32,42	-7,07
0,65	27,49	6,84	-27,49	-6,84
0,7	23,56	6,60	-23,56	-6,60
0,75	19,64	6,38	-19,64	-6,38
0,8	15,71	6,16	-15,71	-6,16
0,85	11,78	5,95	-11,78	-5,95
0,9	7,85	5,75	-7,85	-5,75
0,95	3,93	5,56	-3,93	-5,56
1	-0,01	5,38	0,01	-5,38

в)

S	ω	M	ω	M
1,05	-3,92	5,2	3,92	-5,2
1,1	-7,85	5,04	7,85	-5,04
1,15	-11,78	4,89	11,78	-4,89
1,2	-15,7	4,74	15,7	-4,74
1,25	-19,63	4,61	19,63	-4,61
1,3	-23,56	4,47	23,56	-4,47
1,35	-27,48	4,35	27,48	-4,35
1,4	-31,41	4,23	31,41	-4,23
1,45	-35,34	4,12	35,34	-4,12
1,5	-39,27	4,01	39,27	-4,01
1,55	-43,19	3,91	43,19	-3,91
1,6	-47,12	3,81	47,12	-3,81
1,65	-51,05	3,726	51,05	-3,72
1,7	-54,97	3,63	54,97	-3,63
1,75	-58,90	3,55	58,9	-3,55
1,8	-62,83	3,47	62,83	-3,47
1,85	-66,75	3,39	66,75	-3,39
1,9	-70,68	3,32	70,68	-3,32
1,95	-74,61	3,24	74,61	-3,24
2	-78,54	3,18	78,54	-3,18
2,05	-82,46	3,11	82,46	-3,11
2,1	-86,39	3,05	86,39	-3,05
2,15	-90,32	2,99	90,32	-2,99
2,2	-94,24	2,93	94,24	-2,93
2,25	-98,17	2,87	98,17	-2,87
2,3	-102,1	2,82	102,1	-2,82
2,35	-106,02	2,77	106,02	-2,77
2,4	-109,95	2,72	109,95	-2,72

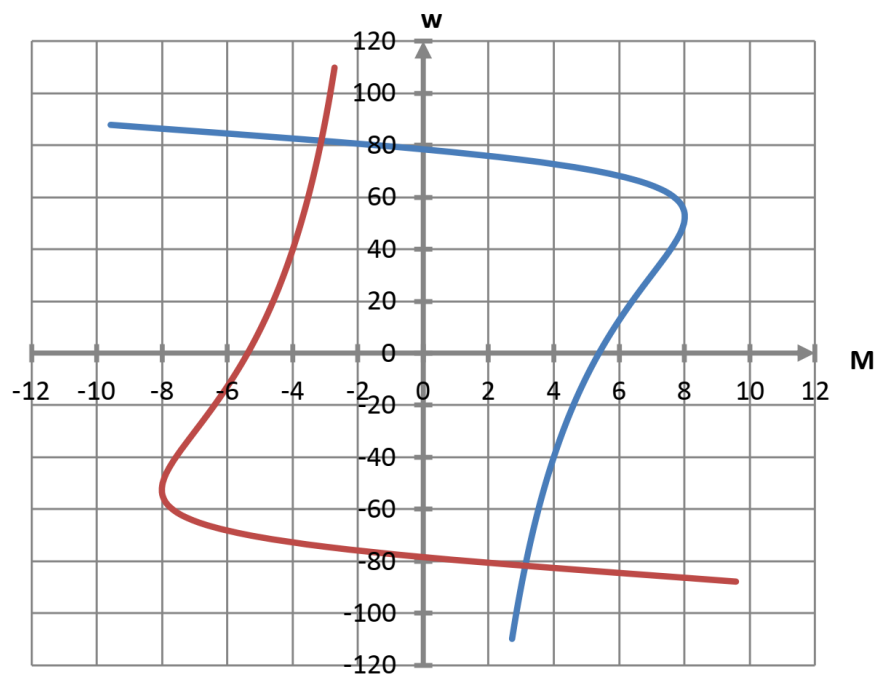


Рис. 2.3 Механічні характеристики асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором

					Арк.
					24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

2.4 Перевірка двигуна за нагріванням

Перевірка двигуна за нагріванням зводиться до визначення допустимої кількості вмикань за годину, при якій середнє перевищення температури після великої кількості робочих циклів буде дорівнювати допустимому і двигун буде повністю використаним за нагріванням.

$$h_{\text{доп}} = 3600 \cdot \frac{(\Delta P_{\text{н}} - \Delta P) \cdot \xi + \Delta P_{\text{н}} \cdot \beta_0 \cdot (1 - \xi)}{\Delta A_{\text{п}} + \Delta A_{\text{г}}} \\ = 3600 \cdot \frac{(226,774 - 105) \cdot 0,857 + 226,774 \cdot 0,5 \cdot (1 - 0,857)}{17709,86 + 53129,581} = 6,128,$$

де $\Delta P_{\text{н}}$ – номінальні втрати в двигуні при тривалому режимі роботи, Вт;
 ΔP – втрати в усталеному режимі, Вт; ξ – відносна тривалість вмикання;
 β_0 – коефіцієнт, що враховує погіршення умов вентиляції двигуна у період пуску та гальмування; $\Delta A_{\text{п}}$ та $\Delta A_{\text{г}}$ – втрати енергії у двигуні відповідно за час пуску та гальмування, Дж.

Номінальні втрати в двигуні

$$\Delta P_{\text{н}} = P_{\text{н}} \cdot \frac{1 - \eta_{\text{н}}}{\eta_{\text{н}}} = 370 \cdot \frac{1 - 0,62}{0,62} = 226,774 \text{ Вт}$$

Втрати в усталеному режимі

$$\Delta P = \frac{\Delta P_2 \cdot t_2 + \Delta P_4 \cdot t_4}{t_2 + t_4} = \frac{15,653 \cdot 180 + 122,872 \cdot 900}{180 + 900} = 105 \text{ Вт},$$

де $\Delta P_2, \Delta P_4$ – втрати в усталеному режимі відповідно при моментах навантаження $M_{\text{с1}}$ (ділянка t_2), $M_{\text{с2}}$ (ділянка t_4), Вт.

Втрати на окремих ділянках

$$\Delta P_2 = \frac{M_{\text{с1}} \cdot \omega_{\text{пр1}}}{\eta} = \frac{0,478 \cdot 31,4}{0,96} = 15,635 \text{ Вт}$$
$$\Delta P_4 = \frac{M_{\text{с2}} \cdot \omega_{\text{пр2}}}{\eta} = \frac{1,76 \cdot 67,021}{0,96} = 122,872 \text{ Вт}$$

де $M_{\text{с1}}, M_{\text{с2}}$ – моменти навантаження на ділянках t_2, t_4 , Н·м;

$$M_{\text{с1}} = \frac{M_{\text{пр3}}}{i \cdot \eta} = \frac{1,147}{2,5 \cdot 0,96} = 0,478 \text{ Н} \cdot \text{м}$$
$$M_{\text{с2}} = \frac{M_{\text{пр4}}}{i \cdot \eta} = \frac{4,224}{2,5 \cdot 0,96} = 1,76 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Відносна тривалість вмикання

$$\xi = \frac{t_p}{T_{\text{ц}}} = \frac{1081,535}{1261,535} = 0,857,$$

					Арк.
					25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

де t_p – час роботи, с; $T_{ц}$ – час циклу, с.

$$t_p = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 = 0,42 + 180 + 0,48 + 900 + 0,64 = 1081,535 \text{ с}$$

$$T_{ц} = t_p + t_{п} = 1081,535 + 180 = 1261,535 \text{ с},$$

де $t_{п}$ – час паузи, с; t_1, t_3 – час розгону, с; t_5 – час гальмування, с.

Прийmemo $t_{п}=180$ с.

$$t_1 = \frac{J_{\Sigma\text{пор}} \cdot \omega_{\text{пр1}}}{M_{п} - M_{\text{пр1}}} = \frac{0,085 \cdot 31,4}{7,538 - 1,12} = 0,42 \text{ с}$$

$$M_{п} = 1,6 \cdot M_{н} = 1,6 \cdot 4,711 = 7,538 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$t_3 = \frac{J_{\Sigma\text{зав}} \cdot (\omega_{\text{пр2}} - \omega_{\text{пр1}})}{M_{п} - M_{\text{пр3}}} = \frac{0,086 \cdot (67,021 - 31,4)}{7,538 - 1,147} = 0,48 \text{ с}$$

$$t_5 = \frac{J_{\Sigma\text{зав}} \cdot \omega_{\text{пр2}}}{M_{н} - M_{\text{пр4}}} = \frac{0,086 \cdot 67,021}{4,711 - 4,224} = 0,64 \text{ с},$$

де $J_{\Sigma\text{пор}}, J_{\Sigma\text{зав}}$ – сумарні моменти інерції зведені до валу двигуна, відповідно з порожньою ізложницею й завантаженою, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$.

$$J_{\Sigma\text{пор}} = J_{\text{дв}} + J_{\text{мех.пор}} = 0,0034 + 0,0819 = 0,085 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$J_{\Sigma\text{зав}} = J_{\text{дв}} + J_{\text{мех.зав}} = 0,0034 + 0,0821 = 0,086 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Втрати при пуску

$$\Delta A_{п} = J_{\text{мех.зав}} \cdot \omega_0^2 \cdot \left(1 + \frac{R_S}{R_R}\right) = 0,0821 \cdot 314^2 \cdot \left(1 + \frac{0,19}{0,16}\right) = 17709,86 \text{ Дж}$$

Втрати при гальмуванні

$$\Delta A_{г} = 3 \cdot J_{\text{мех.зав}} \cdot \omega_0^2 \cdot \left(1 + \frac{R_S}{R_R}\right) = 3 \cdot 0,0821 \cdot 314^2 \cdot \left(1 + \frac{0,19}{0,16}\right) = 53129,58 \text{ Дж},$$

де $\omega_0 = 2 \cdot \pi \cdot f_{н} = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 = 314$ рад/с – кутова частота живильної мережі.

Фактична кількість вмикань двигуна за годину

$$h_{\text{факт}} = \frac{3600}{T_{ц}} = \frac{3600}{1261,535} = 2,854$$

При вірному виборі двигуна за нагріванням повинна виконуватися умова:

$$h_{\text{факт}} \leq h_{\text{доп}}$$

У нашому випадку $2,854 \leq 6,128$ – двигун обрано вірно.

2.5 Вибір перетворювача частоти

В якості перетворювача частоти вибираємо АЛТИВАР 320 компанії Schneider Electric [17]. Даний перетворювач має:

						Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- зручне меню для налаштувань, за допомогою вбудованого чи виносного графічного терміналу, і за допомогою вільного програмного забезпечення;
- набір спеціалізованих прикладних функцій;
- наявність зручних інструкцій з експлуатації та з використання.

За номінальними струмом і напругою двигуна з [17] вибираємо перетворювач частоти. Характеристики ПЧ і додаткового обладнання табл. 2.3:

Таблиця 2.3

Номінальні дані перетворювача частоти сери АЛТИВАР 320

Тип ПЧ	ATV320U22N4C
Номінальна напруга $U_{ПЧ}$, В	380-500
Максимальний вихідний струм в усталеному режимі (при 500 В), А	5,5
Максимальний вихідний струм протягом 60 с, А	8,7
Вхідний мережений струм, А	8,7
Повна потужність (при 500 В), кВА	5,7
Перевантажувальна здатність за моментом 60 с (2 с), %	150 (180)
Вимикач автоматичний	GV2L10
Контактор	LC1D09M7
Гальмівний резистор, 100 Ом, Р = 1,7 кВт	VW3A7750
Запобіжник швидкодіючий (3 шт.), ЕТІ	UQ CH 10×38, 8А
Тримач запобіжника триполюсний, ЕТІ	EFD 10

Серія універсальних перетворювачів частоти Altivar Machine ATV320 створена для таких застосувань, як: пакування; переміщення матеріалів; текстильне виробництво; обробка матеріалів; виконавчі механізми; підйомники.

Основні функції ПЧ АЛТИВАР 320 для використання в електроприводі установки відцентрового лиття: керування гальмом; задатчик (тип кривої розгону та гальмування); різні способи зупинки; оптимізація регулятора частоти; попередньо задані швидкості; попереднє намагнічування; векторне керування у замкненій / розімкненій системі тощо.

2.6 Система ПЧ-АД

Сучасний частотно-регульований електропривод складається з перетворювача частоти, від якого живиться електричний двигун: асинхронний або синхронний з постійними магнітами. Функціональна схема електроприводу ПЧ-АД наведена на рис. 2.4.

						Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

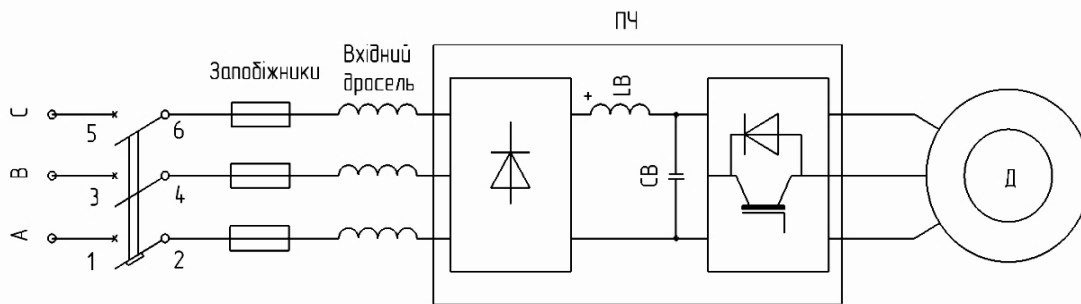


Рис. 2.4 Функціональна схема електропривод

Електричний двигун перетворює електричну енергію в механічну енергію і приводить до руху виконавчий орган технологічного механізму. Перетворювач частоти управляє електричним двигуном і являє собою електронний статичний пристрій. На виході перетворювача формується електрична напруга зі змінними амплітудою і частотою. Даний спосіб найбільш перспективний і широко впроваджується. Принцип його полягає в тому, що, змінюючи частоту f живлячої напруги АД, можна змінювати його швидкість отримуючи різні штучні характеристики [14].

Аналіз механічних характеристик АД $U/f = \text{const}$ показує, що швидкість ω_0 ідеального холостого ходу АД змінюється при регулюванні f , а критичний момент M_k , залишається незмінним. Оскільки $\omega_0 \sim f$, то і момент $M \sim \frac{U}{f}$. Область частот $f < f_{\text{ном}}$ – область регулювання для асинхронного двигуна. Співвідношення $\frac{U}{f} = \text{const}$ може виконуватися, оскільки напруга, що підводиться до АД, регулюється від номінального (мережевого) у бік зменшення. Тому $M = \text{const}$ і АД має постійну перевантажувальну здатність [14].

Силовa схема перетворювача частоти показана на рис. 2.5.

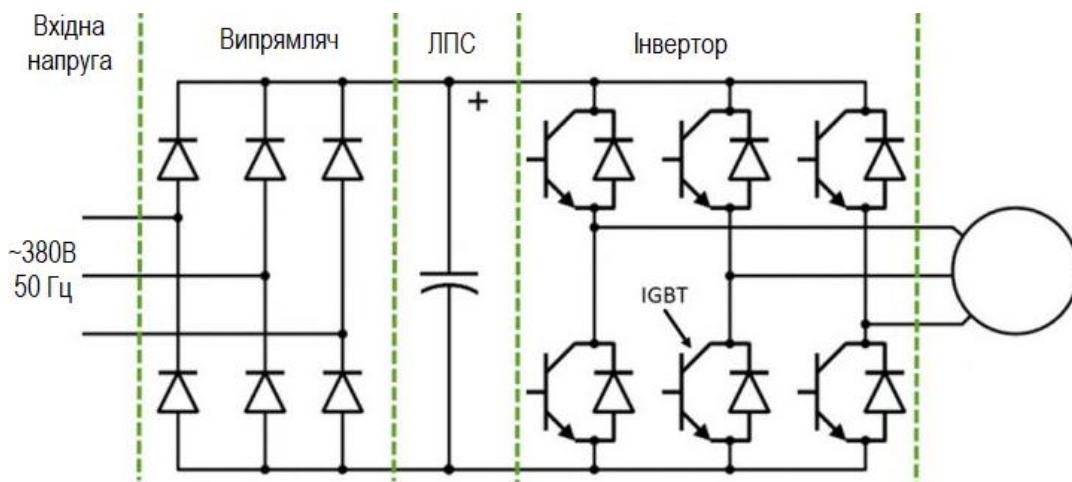


Рис. 2.5 Схема силової частини перетворювача

					Арк.
					28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

РОЗДІЛ 3

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА

3.1 Математичний опис узагальненої асинхронної машини

Узагальнена асинхронна машина показана на рис. 3.1. Вона містить трифазну обмотку на статорі і трифазну обмотку на роторі. Обмотки статора і ротора підключені до мережі живлення симетричною трифазною напругою. Математичний опис такої машини базується на відомих законах.

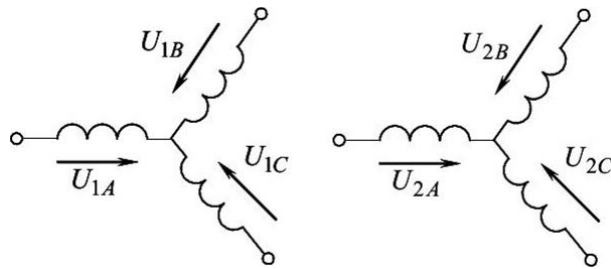


Рис. 3.1 Узагальнена асинхронна машина

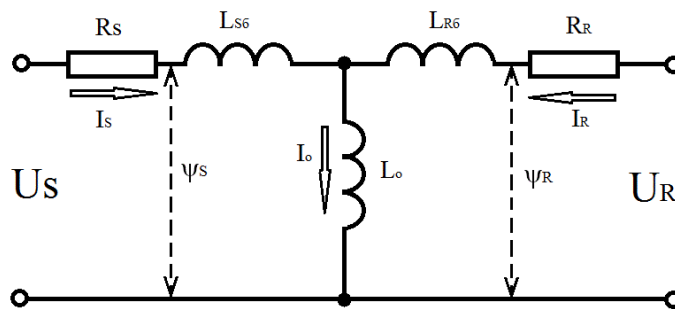


Рис. 3.2 Схема заміщення асинхронного двигуна

Рівняння асинхронного двигуна.

Статора:

$$\begin{cases} U_A = R_A I_A + \frac{d\psi_A}{dt} \\ U_B = R_B I_B + \frac{d\psi_B}{dt} \\ U_C = R_C I_C + \frac{d\psi_C}{dt} \end{cases}$$

Ротора:

$$\begin{cases} 0 = R_a I_a + \frac{d\psi_a}{dt} \\ 0 = R_b I_b + \frac{d\psi_b}{dt} \\ 0 = R_c I_c + \frac{d\psi_c}{dt} \end{cases}$$

Аналітичне рішення диференціальних рівнянь миттєвих значень є складним і не придатним для синтезу системи управління, але ці рівняння можна використовувати для побудови математичної моделі.

Застосування узагальненого вектору дозволяє перейти від трифазної електричної машини до двофазної і розглядати її як еквівалент. Двигун називають узагальненою електричною машиною. Це дозволяє зменшити кількість рівнянь, виключити гармонійні коефіцієнти і розглядати АД як двофазну електричну машину з однією парою полюсів.

Найбільш поширене наступне:

1. $\omega_k = 0$

В даному випадку АД приводиться до системи координат α, β .

2. $\omega_k = \omega_n \cdot z_p$

В даному випадку АД приводимо до системи координат d, q .

3. $\omega_k = \omega_0 = 2\pi f_H$

АД представляється в системі x, y , що обертається з синхронною швидкістю поля, при цьому змінна напруга перетворюється у постійну. Вибір даного варіанта доцільний при дослідженні системи частотного керування.

4. ω_k – не має фіксованого значення, а система координат x, y прив'язується до одного з векторів. Даний варіант доцільно використовувати при векторному керуванні.

Оскільки моделюємо частотне керування АД, то будемо використовувати модель в системі координат x, y .

У даному випадку швидкість обертання системи координат визначається частотою напруги мережі й для побудови моделі систему координат пов'язують з вектором напруги.

$$U_S = I_S R_S + \frac{d\psi_S}{dt} + j\omega_k \psi_S$$

$$U_R = I_R R_R + \frac{d\psi_R}{dt} + j(\omega_k - \omega_{RM} z_p) \psi_R$$

$$\psi_S = I_S L_S + I_R L_o$$

$$\psi_R = I_R L_R + I_S L_o$$

Найпростіша модель виходить при вираженні рівнянь через потокозчеплення.

Виразимо струми статора і ротора через потокозчеплення:

$$I_S = \frac{\psi_S - I_R L_o}{L_S}; I_R = \frac{\psi_R - I_S L_o}{L_S}$$

Зробимо підстановку:

$$I_S = \frac{1}{L_S} \left[\psi_S - L_o \left(\frac{\psi_R - I_S L_o}{L_S} \right) \right]; I_R = \frac{1}{L_R} \left[\psi_R - L_o \left(\frac{\psi_S - I_S L_o}{L_S} \right) \right]$$

						Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розкриємо дужки, приведемо подібні й спростимо:

$$I_S = \frac{1}{L_S L_R - L_0^2} (L_R \psi_S - L_0 \psi_R); I_R = \frac{1}{L_S L_R - L_0^2} (L_S \psi_R - L_0 \psi_S)$$

Підставимо у перші два рівняння:

$$U_S = \frac{R_S L_R}{L_S L_R - L_0^2} \psi_S - \frac{R_S L_0}{L_S L_R - L_0^2} \psi_R + \frac{d\psi_S}{dt} + j\omega_k \psi_S$$

$$U_R = \frac{R_R L_S}{L_S L_R - L_0^2} \psi_R - \frac{R_R L_0}{L_S L_R - L_0^2} \psi_S + \frac{d\psi_R}{dt} + j(\omega_k - \omega_{RMZp}) \psi_R$$

Представимо рівняння у формі Коши:

$$\frac{d\psi_S}{dt} = U_S - \frac{R_S L_R}{L_S L_R - L_0^2} \psi_S + \frac{R_S L_0}{L_S L_R - L_0^2} \psi_R - j\omega_k \psi_S$$

$$\frac{d\psi_R}{dt} = U_R - \frac{R_R L_S}{L_S L_R - L_0^2} \psi_R + \frac{R_R L_0}{L_S L_R - L_0^2} \psi_S - j(\omega_k - \omega_{RMZp}) \psi_R$$

Представимо отримані вирази у проекціях на осі в системі x, y .

$$\frac{d\psi_{1x}}{dt} = U_{1x} - \frac{R_S L_R}{L_S L_R - L_0^2} \psi_{1x} + \frac{R_S L_0}{L_S L_R - L_0^2} \psi_{2x} + \omega_0 \psi_{1y}$$

$$\frac{d\psi_{1y}}{dt} = U_{1y} - \frac{R_S L_R}{L_S L_R - L_0^2} \psi_{1y} + \frac{R_S L_0}{L_S L_R - L_0^2} \psi_{2y} + \omega_0 \psi_{1x}$$

$$\frac{d\psi_{2x}}{dt} = -\frac{R_S L_R}{L_S L_R - L_0^2} \psi_{2x} + \frac{R_S L_0}{L_S L_R - L_0^2} \psi_{1x} + \omega_0 \psi_{2y}$$

$$\frac{d\psi_{2y}}{dt} = -\frac{R_S L_R}{L_S L_R - L_0^2} \psi_{2y} + \frac{R_S L_0}{L_S L_R - L_0^2} \psi_{1y} + \omega_0 \psi_{2x}$$

Пов'яжемо дійсну вісь x з вектором напруги статора. Проекція вектору напруги статора U_S на вісь y дорівнює 0, а проекція на вісь x буде постійною й її величина дорівнює амплітуді фазної напруги.

Модель двигуна, отримана через рівняння потокозчеплення, є простішою і містить мінімальну кількість перехресних зав'язків.

Момент виразимо через проекції потокозчеплення.

$$M = \frac{1,5pL_0}{L_S L_R - L_0^2} (\psi_{1y} \psi_{2x} - \psi_{1x} \psi_{2y})$$

Рівнянням відповідає структурна схема електромеханічного перетворення енергії в асинхронному двигуні, наведена на рис. 3.3.

						Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

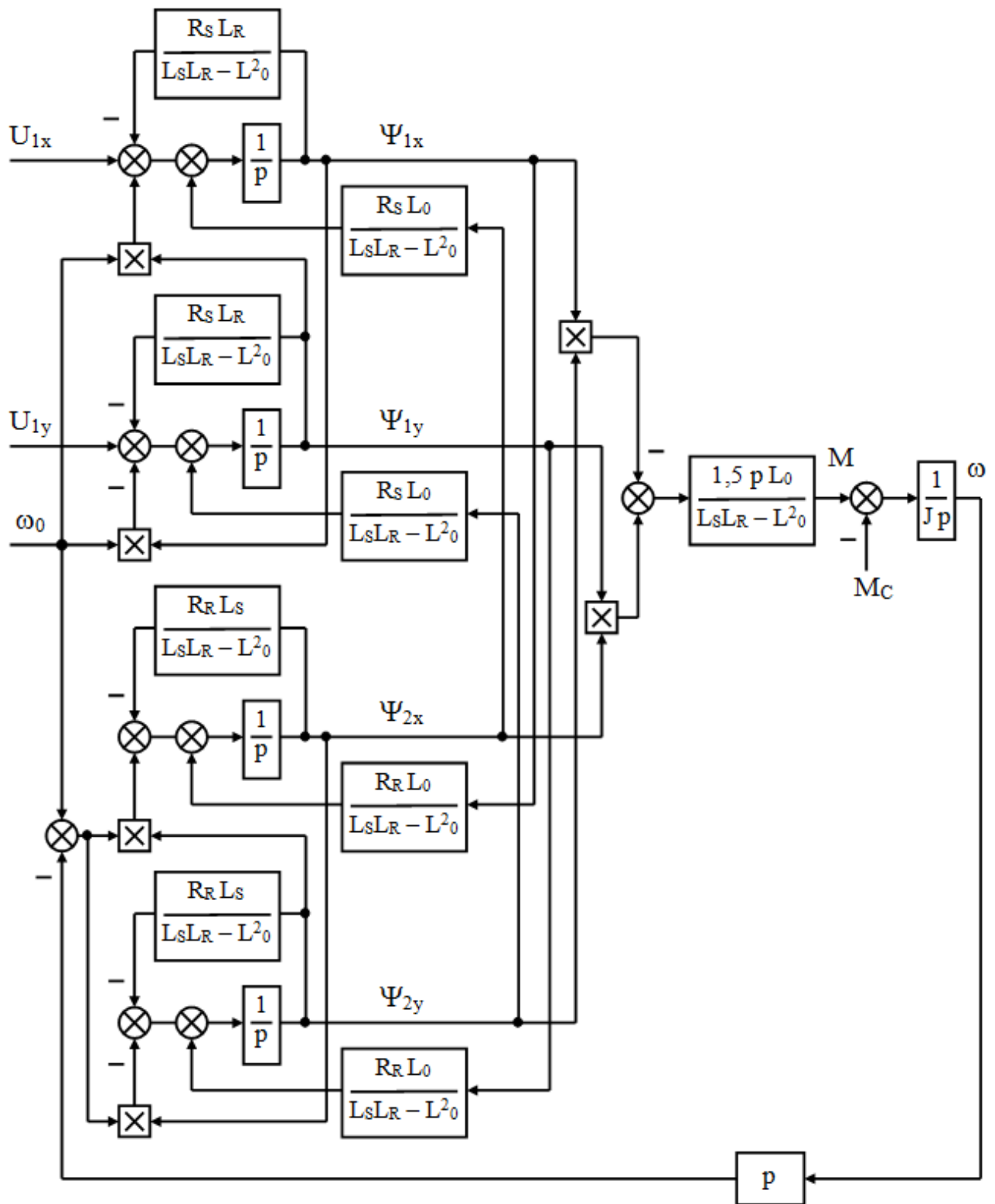


Рис. 3.3 Структурна схема моделі АД

Функціональна схема показана на рис. 3.4.

					Арк.
					32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

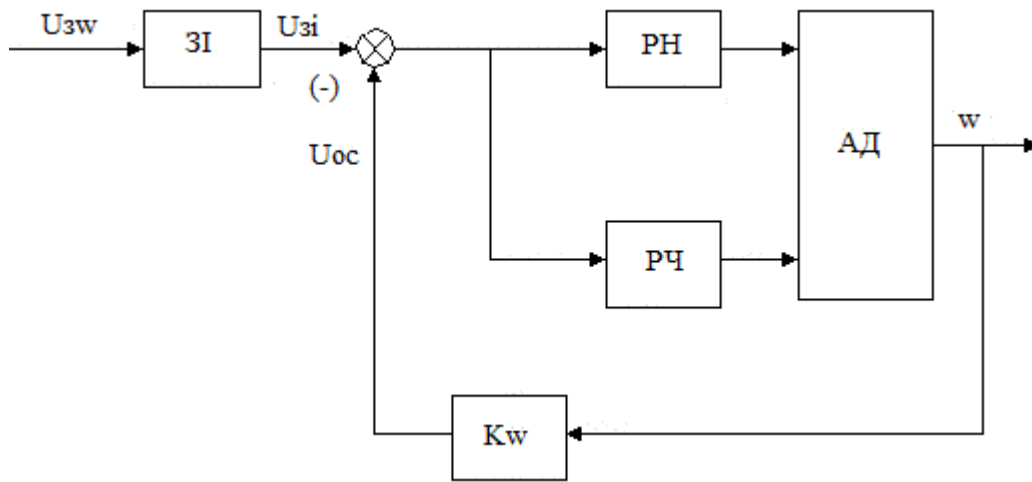


Рис. 3.4 Функціональна схема системи управління асинхронного двигуна
 ЗІ – задавач інтенсивності; РН – регулятор напруги; РЧ – регулятор частоти;
 Кw – підсилювач-перетворювач зворотного зв'язку по частоті
 обертання; АД – асинхронний двигун.

Схема системи керування при пуску від задавача інтенсивності ЗІ та реактивному моменті опору матиме вигляд:

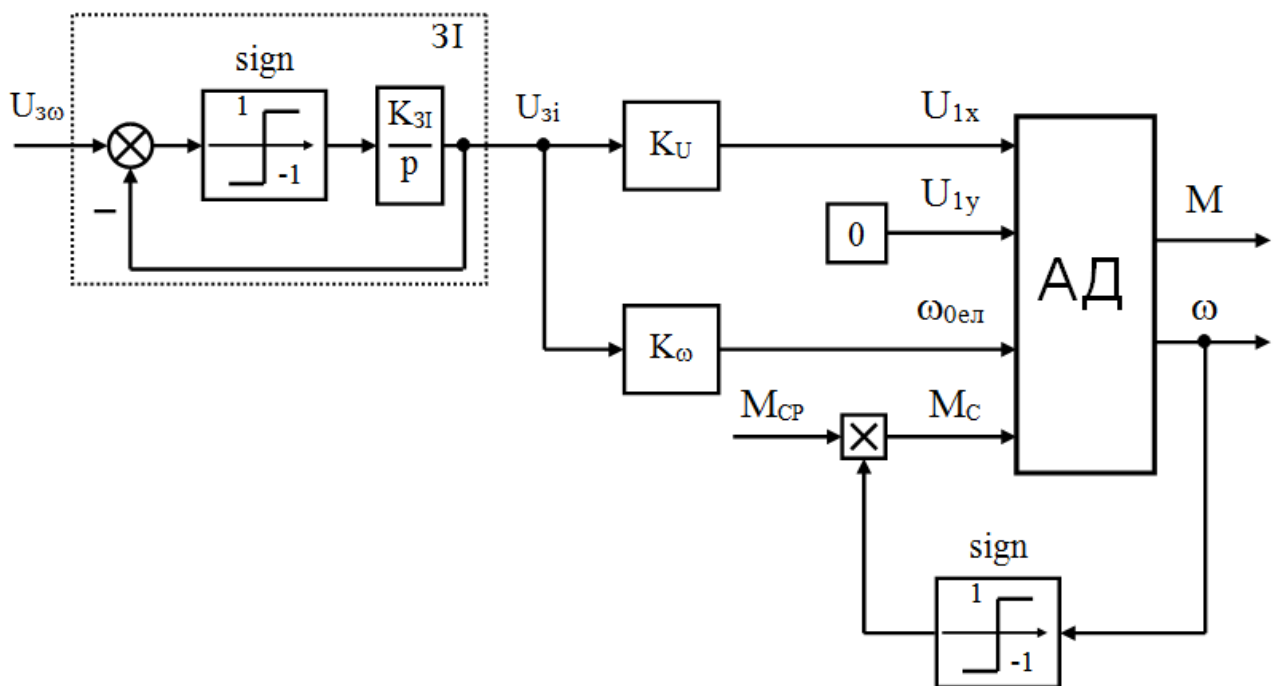


Рис. 3.5 Схема системи керування при пуску від задавача інтенсивності

Для виконання умови розраховуємо коефіцієнти передачі каналів напруги та частоти обертання поля статора наступним чином:

$$K_U = \frac{U_{\text{фнmax}}}{U_{\text{кmax}}} = \frac{\sqrt{2} \cdot 220}{10} = 31,1$$

$$K_{\omega} = \frac{\omega_{0max}}{U_{Kmax}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_H}{10} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 50}{10} = 31,42,$$

де $U_{\Phi Hmax}$ – амплітудне значення номінальної фазної напруги статора, В;
 U_{Kmax} – максимальне значення напруги керування, В;
 ω_{0max} – максимальне значення частоти обертання поля статора, рад/с;
 f_H – номінальне значення частоти напруги мережі живлення, Гц.

3.2 Розрахунок параметрів асинхронного двигуна

Для розрахунків електромеханічних характеристик АД потрібно за паспортними даними двигуна знайти параметри схеми заміщення АД (рис. 3.2).

Синхронна швидкість поля статора:

$$n_0 = \frac{60 \cdot f_H}{p} = \frac{60 \cdot 50}{4} = 750 \text{ об/хв}$$

Кутова частота живильної мережі:

$$\omega_0 = 2 \cdot \pi \cdot f_H = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 = 314 \text{ рад/с}$$

Максимальна швидкість обертання двигуна:

$$\omega_{max} = \frac{\pi \cdot n_0}{30} = \frac{3,14 \cdot 750}{30} = 78,5 \text{ рад/с}$$

Індуктивність розсіювання статора:

$$L_{S\delta} = \frac{X_S}{\omega_0} = \frac{0,16}{314} = 0,00051 \text{ Гн}$$

Індуктивність розсіювання ротора:

$$L_{R\delta} = \frac{X_R}{\omega_0} = \frac{0,29}{314} = 0,00092 \text{ Гн}$$

Максимальна взаємна індуктивність між обмотками статора і ротора:

$$L_0 = \frac{X_{\mu}}{\omega_0} = \frac{1,3}{314} = 0,00414 \text{ Гн}$$

Загальна індуктивність обмотки статора:

$$L_S = L_{S\delta} + L_0 = 0,00051 + 0,00414 = 0,00465 \text{ Гн}$$

Загальна індуктивність обмотки ротора:

$$L_R = L_{R\delta} + L_0 = 0,00092 + 0,00414 = 0,00506 \text{ Гн}$$

						Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.3 Математичне моделювання системи

Для реалізації математичної моделі САР використовується математичний пакет MATLAB, додаток Simulink. При моделюванні досліджуються режими роботи відповідні до тахограми робочого циклу.

Модель синтезованої системи наведена на рис. 3.6.

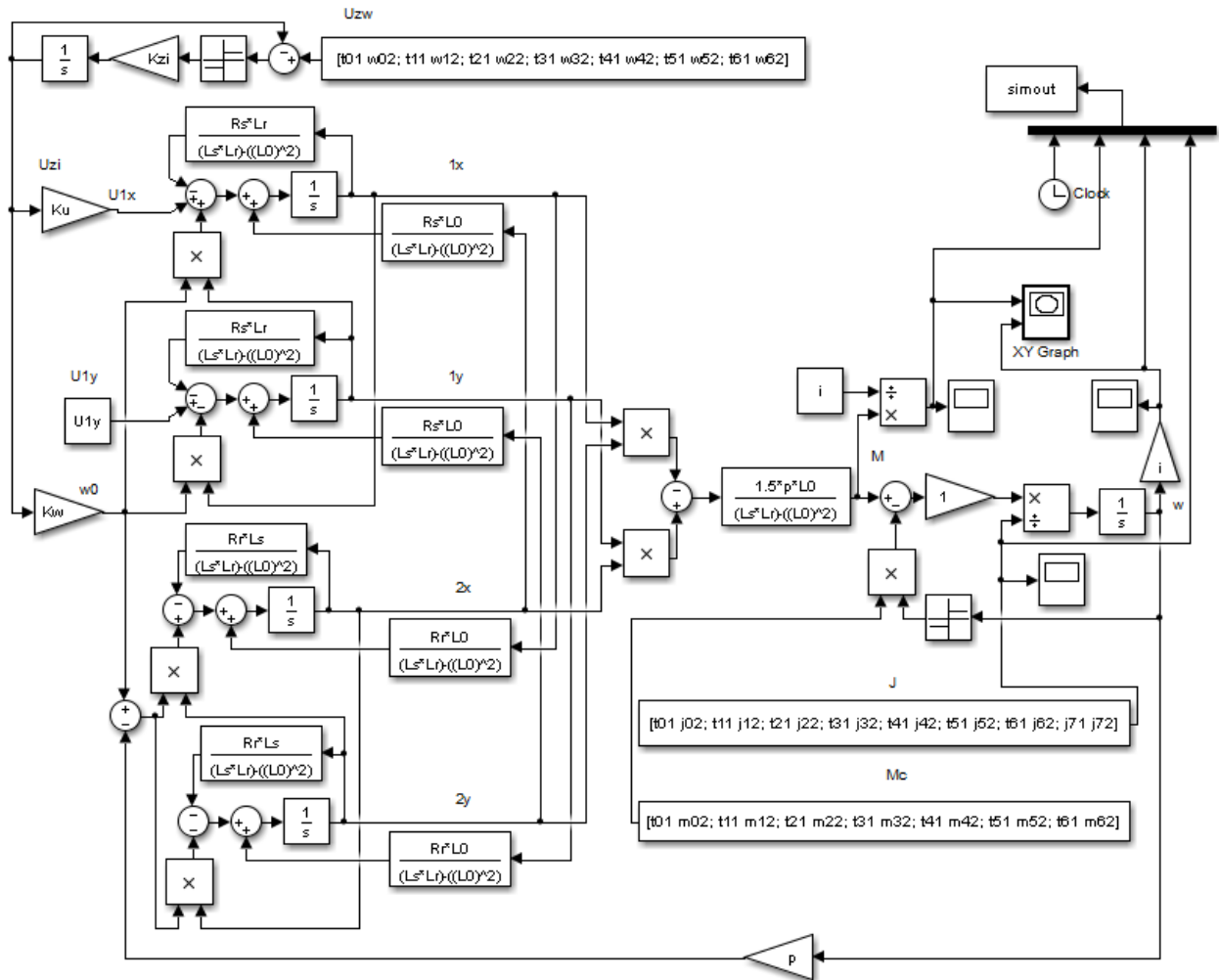


Рис. 3.6 Модель синтезованої системи

Отримані криві перехідного процесу показані на рис. 3.7, також приведена динамічна механічна характеристика на рис. 3.8.

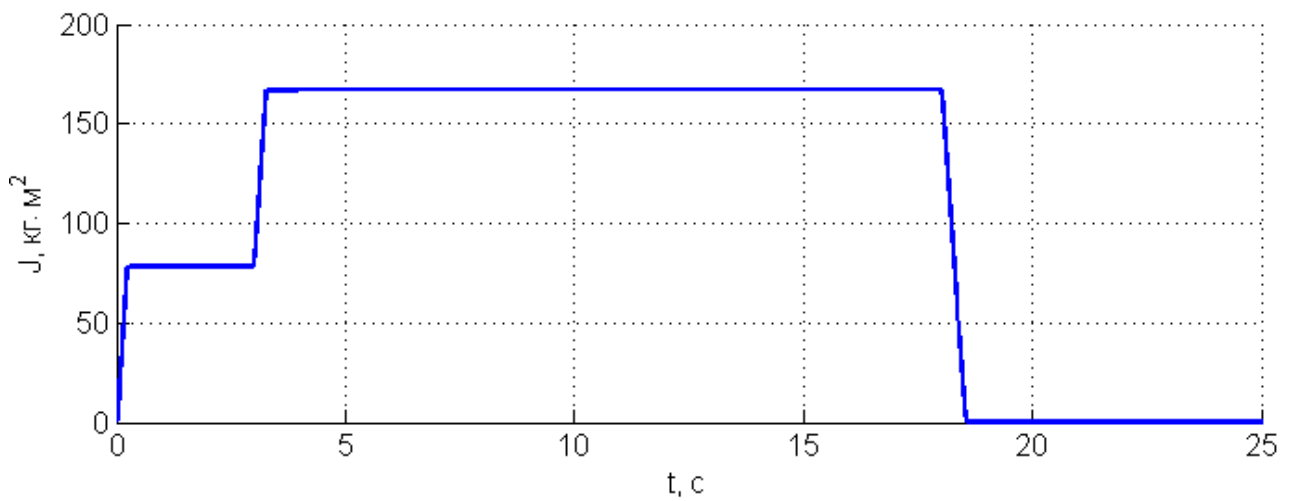
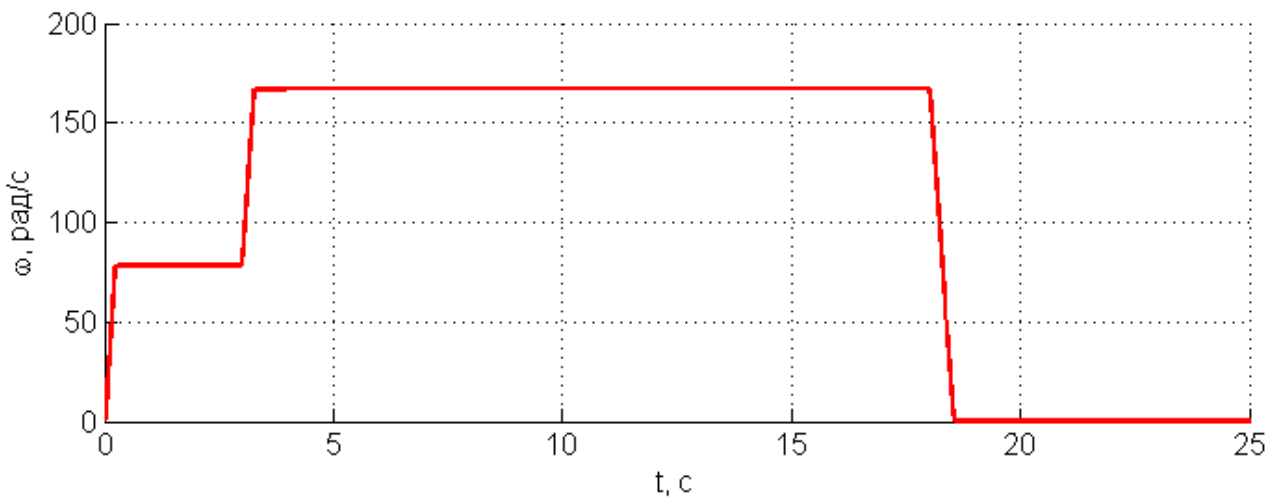
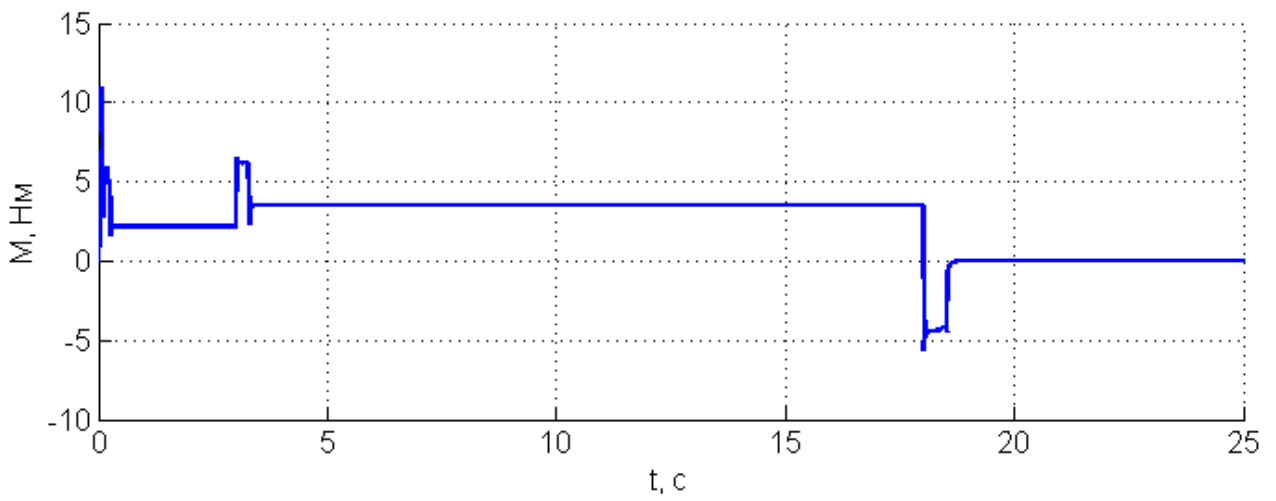


Рис. 3.7 Криві перехідного процесу технологічного циклу

а) Момент двигуна; б) Швидкість; в) Момент інерції

						Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

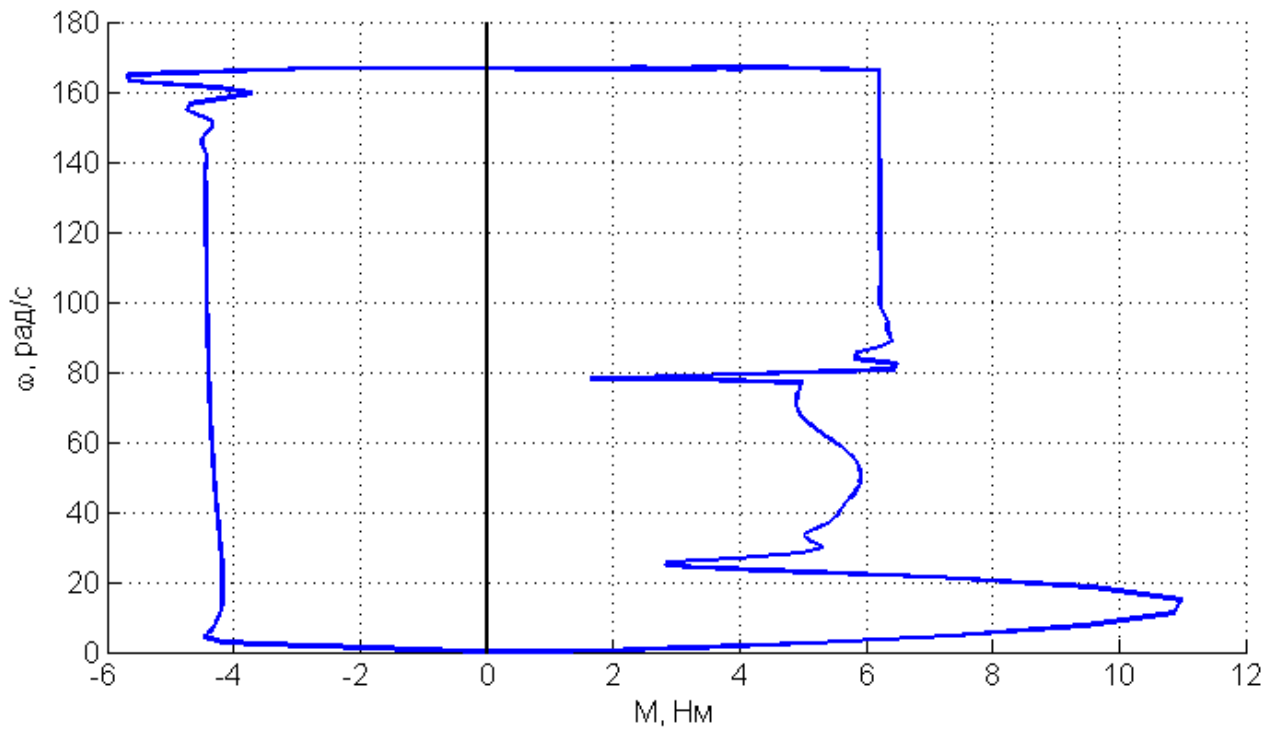


Рис. 3.8 Динамічна механічна характеристика

Значення всіх коефіцієнтів зі схеми моделі зведено до таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Значення коефіцієнтів схеми

Позначення	Значення	Розмірність
Номінальні дані двигуна		
U_{ZW}	10	В
U_{1y}	0	В
J	0,086	кг·м ²
X_{my}	1,3	Ом
X_1	0,16	Ом
X_2	0,29	Ом
R_S	0,19	Ом
R_R	0,16	Ом
Розрахункові значення:		
K_{ZI}	16,71	
K_U	31,11	
K_W	31,42	
n_0	750	об/хв
P	4	
ω_0	314	рад/с
L_{SS}	0,00051	Гн
L_{RR}	0,00092	Гн
L_0	0,00414	Гн
L_S	0,00465	Гн
L_R	0,00506	Гн
i		

Ділянки технологічного процесу		
t_{01}	0	хв.
t_{11}	0,007	хв.
t_{21}	3,007	хв.
t_{31}	3,015	хв.
t_{41}	18,015	хв.
t_{51}	18,025	хв.
t_{61}	21,026	хв.
Швидкість на ділянках		
$\omega_{02} = \omega_{52} = \omega_{62}$	0	рад/с
$\omega_{12} = \omega_{22}$	31,4	рад/с
$\omega_{32} = \omega_{42}$	67,021	рад/с
Статичні моменти на ділянках		
$m_{02} = m_{62}$	0,101	Н·м
m_{12}	1,12	Н·м
m_{22}	1,147	Н·м
$m_{32} = m_{42}$	4,224	Н·м
m_{52}	0,113	Н·м
Моменти інерції на ділянках		
$j_{02} = j_{12} = j_{62}$	0,085	кг·м ²
$j_{22} = j_{32} = j_{42} = j_{52}$	0,086	кг·м ²

Розглянувши перехідні процеси, можна сказати, що в інтервали часу від 0 до 0,4 с відбувається запуск механізму до пониженої швидкості, яка дорівнює 31,4 рад/с. В цей час помітно незначну величину перерегулювання.

Щойно двигун досяг відповідної швидкості заливається метал до ізложиці при постійній швидкості. На 3 хвилині відбувається розгін ізложиці до максимальної швидкості, що дорівнює 6,021 рад/с. Механізм підтримує максимальну швидкість, відповідно технологічному процесу до 18 хвилини. В цей час метал охолоджується (застигає).

Потім відбувається гальмування приводу ізложиці до нульової швидкості. Цикл роботи закінчується виштовхуванням виготовленої деталі з ізложиці на 18-21 хвилині. В усіх режимах система підтримує момент на рівні, необхідному для забезпечення заданого прискорення. Потім процес повторюється знову.

						Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих факторів у ливарному цеху

Об'єктом кваліфікаційної роботи є проектування електропривода ізложиці машини відцентрового лиття. Умови праці на робочих місцях знаходяться під впливом факторів, різних за природою, формами прояву, характером впливу на людину. Порушення встановлених норм і правил у ливарному цеху ведуть до виникнення небезпечних ситуацій та шкідливі умов, що негативно впливають на здоров'я працюючих. Тому, аналіз умов праці зводиться до дослідження небезпечних і шкідливих виробничих факторів. Врахування цих факторів дозволить покращити роботу працівників цеху.

Небезпечними і шкідливими факторами у ливарному цеху є:

- наявність рідких, розплавлених до високої температури (1500-1600°C) металів при потраплянні на тіло може спричинити серйозні опіки;
- наявність металевих частин, що обертаються з великою швидкістю. При торканні або випадковому відриві частин устаткування можливі механічні травми (переломи); руйнування обладнання;
- наявність високої концентрації пилу у місцях розташування машин відцентрового лиття, особливо під час здійснення операцій заливки рідкого металу у машину;
- наявність устаткування, що рухається та переміщує вантажі на висоті (мостові крани, кран-балки тощо);
- наявність в системі охолодження машин відцентрового лиття рідини під високим тиском;
- наявність електричної напруги та металевих конструкцій, що можуть опинитися під дією електричного струму.

Всі перераховані фактори при їх виникненні впливають на організм людини, знижуючи його працездатність.

Критеріями допустимого впливу шкідливих факторів на людину є збереження її здоров'я і високої працездатності, а також відсутність негативних змін у її потомства.

						Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.2 Інженерно-технічні заходи з охорони праці

4.2.1 Вимоги до персоналу ливарних цехів

Загальні вимоги до персоналу ливарних цехів: до роботи допускаються особи не молодше 18 років; при надходженні на роботу проходження попереднього медичного огляду, періодичних медичних оглядів надалі; повторний інструктаж робітників (1 раз на квартал); для електротехнічного персоналу, що обслуговує електроплавильні й електротермічні установки, наявність кваліфікаційної групи не нижче III, для операторів-термістів – не нижче II; до робіт з обслуговування парових котлів, посудин, що працюють під тиском, і підйомно-транспортного устаткування допускаються особи, що мають необхідну теоретичну і практичну підготовку й відповідне посвідчення на право обслуговування зазначених об'єктів.

Жінки не допускаються до робіт, що пов'язані: з обслуговуванням плавильних агрегатів; з обслуговуванням установок електротермічного нагрівання (при використанні генераторів УВЧ і СВЧ); з розливанням металу; з вибиванням і обрубанням виливків.

4.2.2 Вимоги безпеки до виробничого обладнання та технологічних процесів

4.2.2.1 Вимоги до організації вентиляції виробничих приміщень

Для створення умов праці, відповідно до санітарно-гігієнічних вимог, у ливарних цехах повинна бути передбачена припливно-витяжна вентиляція з термовентиляційними установками, що містять агрегати кондиціонування повітря, яке надається до цеху, й витяжними системами, які обладнують конструкціями для очищення повітря перед викидом у довкілля. В усіх точках виділення шкідливих домішок окрім витяжок повинно бути передбачено компенсуюче подавання свіжого повітря, що виключає неорганізовані потоки повітря у цеху із супутніми їм протягами й пересуванням пилю та інших шкідливих речовин.

Окрім зальної припливно-витяжної вентиляції у ливарних цехах повинно відбуватися інтенсивне видалення запиленого повітря від машин та апаратів, робота яких призводить до пилоутворення. Від плавильних, сушильних та відпалюючих печей, а також від площадок для заливання і охолоджувальних кожухів ливарних конвеєрів повинно бути передбачено видалення газів, для запобігання їх розповсюдження у приміщенні.

						Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ефективним заходом для створення на постійних робочих місцях необхідних метеоумов є застосування повітряних і водяних завіс при тепловому опроміненні робітників.

Повітря, що видаляється від місцевих відсмоктувачів, перед викидом в атмосферу проходить сухе або мокре очищення.

4.2.2.2 Вимоги до освітлення виробничих приміщень

Одним з найважливіших параметрів виробничих умов є освітлення. Раціональне освітлення забезпечує достатні умови для здійснення робітниками своїх функціональних обов'язків.

Природне освітлення в цеху – бокове здійснюється через світлові отвори у зовнішніх стінах. Штучне освітлення – комбіноване, тобто крім загального освітлення встановлюють місцеве освітлення. Освітленість проходів і ділянок, на яких не виконується робота, повинна складати не менше 25% освітленості, що створюється штучно від загального освітлення на робочих місцях, але не менше 75 лк при газорозрядних лампах і 30 лк при лампах розжарювання.

На випадок вимкнення електроенергії, у будівлі встановлюють аварійне освітлення не менше 5% освітленості від загального освітлення, але не менше 2 лк освітленості основних проходів і виходу та 10 лк на робочих місцях, де неможливо припинити роботу.

4.2.2.3 Заходи захисту від шуму

Найбільш шумонебезпечним обладнанням у ливарному виробництві є формувальні машини, вибивні решітки, шарові млини, очищувальні барабани, піскомети, вібраційні сита та трамбівки. Застосування для відливки деталей рідкоплинних рухливих сумішей дає можливість виключити шумну технологічну операцію – вібротрамбування.

Барабани для очищення виливків від формувальної землі необхідно обладнати конструкціями, що пригнічують шум.

Використання газополум'яного стругання та фрезерування замість пневматичного зачищення й обробки зварних швів виливків дає можливість знизити рівень шуму на робочих місцях на 6...11 дБ. Для запобігання проникненню шуму з діляниць обробки виливків пневмозубилами й наждачними колами слід цю ділянку відокремити від іншої частини ливарного цеху екраном із звукопоглинаючим облицюванням. Висота екрану повинна бути не менше 3 м. На робочому місці операторів піскомета й електропечі необхідно встановлювати звукоізолюючі пульти управління.

						Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.2.2.4 Заходи захисту від вібрації

У ливарних цехах використовується обладнання, що утворює вібрацію, яка негативно впливає на людину. Це пневмомолоти, пневмотрамбівки, шліфувальні машини та верстати. Окрім локальної вібрації, котра впливає на робітників, що використовують цей інструмент, можливий вплив загальної вібрації на робочих місцях вибивних решіток, струшувальних машин й подібного обладнання.

Вібраційна безпека праці в цеху забезпечується: застосуванням амортизаторів для гасіння коливань; зменшенням часу роботи з джерелом місцевої вібрації; розробкою схем розміщення пристроїв з врахуванням створення мінімальних рівнів вібрації на робочих місцях [15].

4.2.2.5 Заходи захисту від підвищеної температури

Надмірне тепло призводить до перегріву організму людини і, як наслідок, погане самопочуття, а іноді й «тепловий удар». Значного зменшення шкідливої дії надлишкового тепла і поліпшення самопочуття можна досягти шляхом улаштування вентиляції та поліпшення питного режиму в цеху (газована або підсолена вода).

Ливарний цех, як правило, розташовують в одноповерховому приміщенні; профіль покрівлі будівель вибирається з урахуванням можливостей найбільш ефективного видалення шкідливих виділень природним шляхом (аерацією).

Розташування ливарних цехів, здійснюється таким чином, щоб на ділянках робіт з великим надлишком тепла (плавка, заливка, вибивка, сушка, відпал) поздовжні осі витяжних ліхтарів були розташовані під кутом 60-90° до напрямку пануючих літніх вітрів. У цьому випадку шкідливі виділення будуть вивітрюватися повітряними потоками значно інтенсивніше.

Не рекомендується проектувати ливарні цехи у вигляді багатопролітних замкнутих по периметру будівель, позаяк таке розташування погіршує умови аерації; рекомендується проектувати П-подібні і Т-подібні будівлі, розташовуючи їх так, щоб частина двору, вільна від забудови, перебувала з навітряного боку.

Плавильні відділення характеризуються високою температурою повітря, інтенсивним тепловипромінюванням, а також можливим розбризкуванням і викидами металу при контакті з водою, сирими або покритими корозією предметами.

						Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При контактi розплавленого металу з вологими предметами утворюється значний обсяг водяної пари, що тягне за собою викид металу. Зважаючи на виняткову небезпеку контакту розплавленого металу з вологою, вагранки, жолоби, печі, ділянки заливки, а також місця зберігання ківшів розташовують безпосередньо під зоною внутрішніх водоспусків.

Випадки проливання та розбризування металу можуть статися внаслідок падіння або самоперекидання ківшів. Для запобігання робітників від небезпек проливання та розбризування металу перед початком роботи всі ливарні ківші (кранові й ручні) ретельно оглядаються і перевіряються на працездатність.

Перед заповненням металом, ківші ретельно просушуються.

Особлива небезпека виникає при переміщенні ківшів з розплавленим металом вручну, оскільки можливі випадки падіння робітників. Щоб уникнути цього, шляхи для переміщення розплавленого металу повинні бути за шириною не менше одного метра, не захаращені, мати рівну, неслизьку поверхню і рух ними має бути організований тільки в одному напрямку. Випуск металу і шлаку проводиться з попередньою подачею звукового сигналу.

При відцентровому литті, існує можливість розбризування металу. Щоб уникнути цього, машини для відцентрового лиття забезпечують двома ступенями включення з надійними фіксаторами положення, що гарантують попередження випадкового запуску машини. За допомогою першого ступеня включається або вимикається живлення і за допомогою другого ступеня включається або вимикається машина. Рухомі частини механізмів мають захищене виконання.

На випадок викиду розплавленого металу з обертового корпусу (форми) і з дозуючих пристроїв машини відцентрового лиття забезпечуються міцними кожухами, що надійно замикаються [16].

4.2.3 Засоби індивідуального захисту працюючих у ливарних цехах.

Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ) персоналу ливарних цехів застосовуються наступних класів: для ремонтних і аварійних робіт – ізолюючі костюми; для виконання технологічних операцій – ЗІЗ, передбачені ДСТУ 7239:2011.

Ізолюючі костюми (ГОСТ 12.4.064-84 ССБТ). Забезпечують зниження впливу небезпечних і шкідливих чинників на організм людини в рамках допустимих величин.

						Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Засоби захисту органів дихання – фільтрувальні пристрої (протипилові, протигазові, протиаерозольні, комбіновані, саморятівники); ізолювальні пристрої: засоби захисту органів дихання зі знімною маскою зварника.

Одяг спеціальний захисний – костюми, комбінезони, напівкомбінезони, куртки, сорочки, штани, тощо; захисний одяг від механічних ушкоджень (проколювання, різання); захисний одяг: від хімічних ушкоджень; від електричних ушкоджень (електричного струму та електричної дуги); від статичної електрики; від розплавлених бризок металу та інфрачервоного випромінювання; теплозахисний одяг; костюми ізолювальні (гідроізолювальні, пневмоізолювальні, скафандри).

Спеціальне взуття – для захисту від підвищених температур, віброзахисне; з жаростійкою подошвою; для запобігання ковзанню; вібростійкі черевики та чоботи; електроізолювальні чоботи, черевики, боти, калоші; антиелектростатичне взуття. Взуття захищає від теплового випромінювання, контакту з нагрітими поверхнями, іскор і бризок розплавленого металу. Використовується в ливарному виробництві на дільницях сушіння форм і стрижнів, у плавильному й розливальному відділеннях.

Засоби захисту рук – захисні рукавиці, рукавички: від механічних ушкоджень (порізів, проколів тощо); від іонізуючого випромінювання та радіоактивних речовин; від електричного струму; від статичної електрики; від вібрації; від теплового випромінювання.

Засоби захисту обличчя. Захисні щитки – захисні окуляри, зокрема зі світлофільтрами; захисні окуляри від рентгенівського, лазерного, ультрафіолетового, інфрачервоного випромінювання та від яскравого світла; екрани для обличчя; захисні окуляри та екрани від механічних ушкоджень, пилу, бризок, хімічних речовин тощо; маски та щитки для дугового зварювання (такі, які тримають руками, або такі, що кріпляться на голові або прикріплюються до захисних касок і шоломів).

Засоби захисту органів слуху (протишуми) – вушні затички та аналогічні засоби; звукозахисні шоломи; протишумові навушники; протишумові навушники, які можна кріпити до касок і шоломів; протишумові захисні пристрої з електронним приймачем; протишумові захисні пристрої з телефонним зв'язком.

Захисні дерматологічні засоби – захисні креми; відмивочно-захисні пасти; гелі; очисники шкіри; репаративні засоби.

						Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ док.ум.	Підпис	Дата		

4.3 Пожежна профілактика

Обслуговуючий персонал повинен пройти і мати підготовку з Правил пожежної безпеки. Знати і розуміти можливі шляхи виникнення пожеж на робочому місці. Вміти користуватись засобами пожежогасіння. Бути ознайомленим з планами ліквідації пожеж на робочому місці та правилами поведінки у разі виникнення пожежі.

Усі виробничі будівлі, окремі приміщення й технологічні установки забезпечуються вогнегасниками, пожежним інвентарем та інструментом. На підприємствах рекомендується використовувати пінні, рідинні, вуглекислотні, вуглекислотно-брометилові, аерозольні й порошкові вогнегасники.

На територіях виробничих підприємств встановлюються спеціальні пожежні щити з набором вогнегасників (пінних – 2, вуглекислотних – 1), ящиком з піском – 1, листами повсті, азбесту або кошми – 1, набором пожежного інструмента. Забезпечення пожежними щитами визначається із розрахунку один щит на площу до 5000 м².

Протипожежні засоби, вогнегасники розміщуються на місцях, що добре видно та до яких легко дістатися. Приміщення, що обладнуються автоматичними установками пожежогасіння, забезпечуються первинними засобами пожежогасіння із розрахунку половини необхідної кількості.

Евакуація людей з виробничого приміщення. Норми й правила евакуації людей при пожежі регламентуються СНиП II-2-80. Відповідно до цього нормативу евакуаційні шляхи повинні забезпечувати евакуацію через евакуаційні виходи всіх людей, що знаходилися у приміщеннях будівель й споруджень, у термін передбаченого часу евакуації. Кількість евакуаційних виходів із будівлі, приміщення та з кожного поверху будівлі слід приймати за розрахунком, але не менше двох. Евакуаційні виходи мають розташовуватися розосереджено. Двері на шляхах евакуації повинні відкриватися за напрямком виходу із будівлі [15].

4.4 Розрахункове обґрунтування і вибір систем кондиціонування

Робота в машинному відділенні ливарного цеху неможлива без забезпечення оптимальних показників температури повітря, вологості та його швидкості руху. Для дотримання комфортних умов праці і функціонування електротехнічного обладнання слід забезпечити необхідний кліматичний режим.

						Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.4.1 Виділення тепла від працюючих машин, механізмів, станків, електродвигунів

На валу електродвигуна відбувається видозміна електричної енергії в механічну. Механічна енергія завдяки тертю частин механізмів переходить в тепло. Теплові виділення від електродвигунів можна визначити по формулі:

$$Q_{\text{дв}} = N_{\text{дв}}(1 - \eta_{\text{ккд}}) = 0,37(1 - 0,615) = 0,14 \text{ кВт}$$

де $N_{\text{дв}}$ – номінальна потужність електродвигуна, кВт; $\eta_{\text{ккд}}$ – ККД електродвигуна.

4.4.2 Вибір систем кондиціонування

Для вибору кондиціонера необхідно визначити його потужність, яка забезпечить нормалізацію кліматичних умов в приміщенні.

Для визначення зовнішніх теплових надходжень необхідно знати об'єм приміщення V :

$$Q_1 = qV + Q_{\text{оск}} + Q_n = 30 \cdot 60 = 1800 \text{ кВт},$$

де q – коефіцієнт тепловіддачі; $q = 30$, бо немає сонця в приміщенні, $V = 60 \text{ м}^3$; Q_n , $Q_{\text{оск}} = 0$ – кількість тепла, що надходить у приміщення від сонячної радіації для покриттів і для зашкленних поверхонь відповідно, оскільки машзал розташований в цеху і немає вікон.

Внутрішні теплові надходження в приміщення розраховуються за формулою:

$$Q_2 = Q_{\text{кс}} + Q_{\text{оск}} + Q_l + Q_{\text{дв}} = 0 + 0 + 0 + 0,14 = 0,14 \text{ кВт}$$

де $Q_{\text{кс}}$ – виділення тепла від комп'ютерних систем; Q_l – виділення тепла від людей; $Q_{\text{дв}}$ – виділення тепла від електродвигунів

Загальні теплові надходження в приміщення, визначають як суму зовнішніх і внутрішніх теплових потоків:

$$Q_3 = Q_1 + Q_2 = 1800 + 0,14 = 1800,14 \text{ кВт},$$

Надлишки загальної теплоти, що підлягають виведенню з приміщення, представляють собою в тепловому балансі різницю між кількістю тепла, що надійшло і кількістю тепла, що було використане.

$$Q_{\text{надл}} = Q_3 - Q_m = 1800,14 - 1797,03 = 3,11 \text{ кВт},$$

						Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де Q_m – теплові витрати приміщення, які враховуються в тепловому балансі в холодну пору року, при різниці температур зовнішнього і внутрішнього повітря більше 5 °С

Потужність кондиціонера можна визначити за формулою

$$L = kQ_{\text{надл}} = 1,15 \cdot 3,11 = 3,58 \text{ кВт,}$$

де k – коефіцієнт, що враховує величину втрат холодопродуктивності кондиціонера, $k = 1,15$ – кондиціонер встановлений поза приміщенням.

Обрали кондиціонер настінного типу CW-C120VE.

Модель кондиціонера	Потужність охолодж., кВт	Розміри ШхВхГ, мм	Кількість повітря, м ³ /год.	Рівень шуму, дБ	Площа приміщення, м ²
CW-C120VE	3.55	560x375x606	570	48 / 45	до 36

						Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 5

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

5.1 Вступ

Метою даного розділу є обґрунтування вибору одного з варіантів – електропривода горизонтальної відцентрової ливарної машини. При проектуванні обладнання очікується, що джерелом економічної ефективності буде менша вартість електроустаткування, зниження амортизаційних відрахувань зменшення споживаної електроенергії за інших рівних умов.

У дипломному проекті передбачається впровадження електроприводу змінного струму з частотним регулюванням (ПЧ-АД), тому в економічній частині дипломного проекту виконано порівняння двох варіантів рішень: I – асинхронний двигун АІР80А8 на 0,37 кВт з перетворювачем частоти ALTIVAR 320, II – асинхронний двигун АІР80В8 на 0.55 кВт, з перетворювачем частоти ALTIVAR 320. Для обґрунтування економічної доцільності пропонуваного в дипломному проекті обладнання необхідно вирішити наступні завдання [12]:

1. Розрахунок капітальних витрат.
2. Розрахунок експлуатаційних витрат.
 - 2.1 Розрахунок амортизаційних відрахувань.
 - 2.2 Розрахунок річного фонду заробітної плати.
 - 2.3 Розрахунок відрахувань на соціальні заходи.
 - 2.4 Визначення річних витрат на технічне обслуговування і поточний ремонт.
 - 2.5 Розрахунок вартості спожитої електроенергії.

5.2 Капітальні витрати

Капітальні витрати – це кошти, призначені для створення і придбання основних фондів та нематеріальних активів, що підлягають амортизації. В даному випадку це грошові кошти, призначені для придбання електрообладнання, що підлягає амортизації, транспортно-заготівельні і складські витрати, монтаж і налагодження системи управління.

$$K = K_{об} \left(\sum_{i=1}^K C_i \right) + Z_{тзс} + Z_m + Z_n + Z_{пр}$$

де $K_{об} (\sum_{i=1}^K C_i)$ – сумарна вартість обладнання;

					Арк.
					48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

$Z_{\text{тзс}}$ – транспортно-заготівельні та складські витрати;

$Z_{\text{м}}$ – витрати на монтажні роботи;

$Z_{\text{н}}$ – витрати на налагоджувальні роботи;

$Z_{\text{пр}}$ – інші одноразові вкладення грошових коштів.

Витрати на придбання технічних засобів або комплектуючих виробів зведено у табл. 5.1 і табл. 5.2.

Таблиця 5.1

Капітальні витрати варіант I

№ з/п	Найменування технічних засобів	Кількість	Вартість одиниці, грн	Вартість, грн
1	Асинхронний двигун АИР80А8 на 0,37 кВт	1	2 705	2 705
2	Перетворювач частоти ATV320U22N4C	1	10 167	10 167
			РАЗОМ:	12872

Таблиця 5.2

Капітальні витрати варіант II

№ з/п	Найменування технічних засобів	Кількість	Вартість одиниці, грн	Вартість, грн
1	Асинхронний двигун АИР80В8 на 0,55 кВт	1	3091	3091
2	Перетворювач частоти ATV320U22N4C	1	10 167	10 167
			РАЗОМ:	13258

$$K_1 = 2705 + 10167 = 12872 \text{ грн}$$

$$K_{II} = 3091 + 10167 = 13258 \text{ грн}$$

Ціни станом на 28.05.2021 взято з: [17], [19].

Ціна перевезення устаткування, витрати на монтажні і налагоджувальні роботи входить у вартість електроустаткування, тому окремо не розраховуємо.

						Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.3 Експлуатаційні витрати

Експлуатаційні витрати – це поточні витрати на експлуатацію і обслуговування об'єкту проектування за певний період (рік), виражені в грошовій формі.

До основних статей експлуатаційних витрат по електротехнічному устаткуванню відносяться:

- Амортизаційні відрахування C_a ;
- Витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт устаткування C_T ;
- Вартість електроенергії, споживаної об'єктом проектування C_e ;

Таким чином, річні експлуатаційні витрати складуть:

$$C = C_a + C_T + C_e$$

Розрахунок експлуатаційних витрат ведеться за обома варіантами паралельно.

5.3.1 Амортизаційні відрахування

Річний фонд амортизаційних відрахувань визначається у відсотках від суми капітальних витрат по видах основних фондів і нематеріальних активів по розділах зведення капітальних витрат для I і II варіанту. Дані розрахунку занесені до таблиці 5.3.

Асинхронний двигун та перетворювач частоти належать до четвертої групи основних фондів – машини та устаткування з мінімальним строком експлуатації 5 років.

Відсоток амортизаційних відрахувань визначаємо прямолінійним методом – пропорційним розподілом суми витрат на весь строк служби:

$$H_A = \frac{1}{T_{min}}$$
$$H_A = \frac{1}{5} \cdot 100\% = 20\%$$

Оскільки, проектний варіант розглядається для впровадження, ліквідаційна вартість основних засобів дорівнює 0,0 грн.

$$C_a = K_{пр} \cdot H_A$$
$$C_{aI} = 12872 \cdot 20\% = 2574,4 \text{ грн}$$
$$C_{aII} = 13258 \cdot 20\% = 2651,6 \text{ грн}$$

						Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок амортизаційних відрахувань

Найменування показників	Капітальні витрати, грн	Норма амортизації, %	Сума амортизації, грн
I варіант	12872	20	2574,4
II варіант	13258	20	2651,6

5.3.2 Річний фонд заробітної плати

У зв'язку з тим, що як у I варіанті, так і у II не змінюється кількісний та якісний склад персоналу, об'єм робіт та кваліфікаційний рівень, тому заробітна платня в обох випадках однакова і в подальших розрахунках не використовується.

5.3.3 Відрахування на соціальні заходи

Відрахування на соціальні заходи у I варіанті такі ж, як і у II варіанті, тому окремо їх не розраховуємо.

5.3.4 Річні витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт

Річні витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт електротехнічного устаткування включають витрати на матеріали, запасні частини, заробітну плату ремонтним робітникам.

Витрати на поточний ремонт апаратури автоматики і систем автоматизації можна розрахувати по формулі:

$$Z_{т.р} = \sum_{i=1}^n \left(R_i \cdot t_i \cdot m_i \cdot R_{\Sigma i} + \frac{S_i \cdot \Pi_i}{T_i} \cdot T_{\Phi} \right)$$

де n – число пристроїв автоматики, що підлягають ремонту;

R_i – погодинна ставка робітників, що здійснюють ремонт, 36,11 грн;

t_i – трудомісткість одного ремонту при категорії складності ремонту в одну ремонтну одиницю залежно від виду ремонту, год/од.: (середнього – 7);

m_i – число ремонтів за рік (середніх 1);

$R_{\Sigma i}$ – сумарна категорія складності ремонту залежно від виду електроустаткування: Асинхронний двигун від 0,3 до 0,5 кВт – 1,1; від 0,5 до 5 кВт – 1,3;

S_i – вартість однотипних замінюваних елементів – 691 грн – контактор ESB20-20-230AC/DC) [20];

						Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

P_i – кількість однотипних замінюваних елементів – 1;

T_i – середній термін служби деталей цього типу, 10560 год.;

T_ϕ – число годин роботи апаратури на рік, 2112 год.

$$T_i = t_n \cdot t_d \cdot t_m \cdot t_y = 8 \cdot 22 \cdot 12 \cdot 5 = 10560 \text{ год,}$$

де $t_n = 8$ – кількість робочих годин на зміну;

$t_d = 22$ – кількість робочих днів на місяць;

$t_m = 12$ – кількість місяців на рік;

$t_y = 5$ – кількість років;

$$T_\phi = t_n \cdot t_d \cdot t_m = 8 \cdot 22 \cdot 12 = 2112 \text{ год}$$

$$З_{т.р I} = 36,11 \cdot 7 \cdot 1 \cdot 1,1 + \frac{691 \cdot 1}{10560} \cdot 2112 = 416,25 \text{ грн}$$

$$З_{т.р II} = 36,11 \cdot 7 \cdot 1 \cdot 1,3 + \frac{691 \cdot 1}{10560} \cdot 2112 = 466,8 \text{ грн}$$

5.3.5 Розрахунок вартості спожитої електроенергії

Вартість електроенергії, споживаної об'єктом проектування впродовж року, визначається виходячи з його встановленої потужності і річного фонду робочого часу об'єкту проектування за формулою:

$$C_e = W_p \cdot C_e$$

де W_p – кількість спожитої за рік електроенергії, кВт·год.;

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

Станом на травень 2021р $C_e = 1,68$ грн , з ПДВ згідно з ДТЕК Дніпрообленерго [21]

Кількість спожитої за рік електроенергії, кВт·год розраховуємо за формулою:

$$W_p = t_n \cdot t_d \cdot t_m \cdot P_n$$

$$W_{p I} = 8 \cdot 22 \cdot 12 \cdot 0,37 = 781,44 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

$$W_{p II} = 8 \cdot 22 \cdot 12 \cdot 0,55 = 1161,6 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

де P_n – потужність електродвигуна.

$$C_{e I} = 781,44 \cdot 1,68 = 1312,82 \text{ грн}$$

$$C_{e II} = 1161,6 \cdot 1,68 = 1951,5 \text{ грн}$$

$$C_I = 2574,4 + 416,25 + 1312,82 = 4304,47 \text{ грн}$$

$$C_{II} = 2651,6 + 466,8 + 1951,5 = 5069,9 \text{ грн}$$

						Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.4 Економічне обґрунтування

У таблиці 5.4 наведені результати техніко-економічного обґрунтування ефективності результатів дипломного проекту.

Таблиця 5.4

Результати техніко-економічного обґрунтування

№	Найменування показників	од. вимір.	I варіант	II варіант	Зміна у порівнянні	
					грн	%
1	Капітальні витрати	грн	12872	13258	-386	3
2	Експлуатаційні витрати, у тому числі:					
	Амортизаційні відрахування	грн	2574,4	2651,6	-77,2	3
	Технічне обслуговування і поточний ремонт	грн	416,25	466,8	-50,55	12,2
	Вартість спожитої електроенергії	грн	1312,82	1951,6	-638,78	48,7

Висновки: На підставі розрахунків витрат в даному розділі були отримані наступні значення:

- капітальні витрати в I варіанті складають 12872 грн., у II варіанті – 13258 грн.;
- експлуатаційні витрати в I варіанті – 4304,47 грн., у II варіанті – 5069,9 грн.

Здійснено порівняння I та II варіантів. Загальна економія від впровадження I варіанту за рахунок капітальних та експлуатаційних витрат складає 1151,43 грн.

За результатами розрахунків видно, що об'єкт I варіанту для проектування обрано вірно, його впровадження у виробництво буде економічнішим.

						Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

Мета даного дипломного проекту – розробка електроприводу відцентрової ливарної машини. На основі вихідних чисельних значень розраховані статичні моменти навантаження та виконано їх приведення до валу двигуна. Відповідно до навантаження розраховано необхідну потужність, вибрано електричний двигун з каталогу та виконано перевірку його за нагрівом.

У другому розділі проекту розглянуті системи керування електроприводами і на основі їх аналізу з метою забезпечення необхідного технологічного процесу прийнята система керування ПЧ-АД зі скалярним законом керування. Відповідно до обраної системи керування синтезовано математичну модель та розраховані параметри регуляторів. Дослідження динаміки роботи автоматизованого електропривода виконано за допомогою пакету Matlab Simulink. Результати моделювання показали, що розрахована система задовольняє заданим вимогам.

У розділі охорона праці проаналізовані інженерно-технічні та запропоновані організаційні заходи щодо захисту від шкідливих факторів на робочому місці.

При розрахунку техніко-економічного обґрунтування, проаналізовано проектні капіталовкладення, витрати на монтажні та налагоджувальні роботи, амортизаційні відрахування, різницю споживаної електроенергії між двома варіантами. Зроблено висновки, щодо доцільності застосування обраної електромеханічної системи з асинхронним двигуном при його живленні від перетворювача частоти.

						Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Сосненко М.Н. Общая технология литейного производства / М.Н. Сосненко, Б.К. Святкин. - М., 1975. – 372 с.
2. Новиков П.Г. Основы центробежного литья / П.Г. Новиков, С.Е. Розенфельд, Н.И. Клочнев, В.Н. Савейко. - М., 1947. – 184 с.
3. Березин П.Г. Центробежная отливка тракторных гильз в кокиль / П.Г. Березин. - М., 1952. – 83 с.
4. Производство и машиностроение [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://poliformdeta.com/mashiny-i-avtomatizaciya-centrobezhnogo-litya>
5. Головин С.Я. Прогрессивные виды литья / С.Я. Головин. - М., 1964. – 32 с.
6. Колб А.А. Теория электроприводу / А.А. Колб, А.А. Колб. - Д., 2011. – 540 с.
7. Энергозбереження засобами електропривода [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://elprivod.nmu.org.ua/ua/student/disciplines/eze>
8. Ключев В.И. Теория электропривода / В.И. Ключев. - М., 1998. – 704 с.
9. Комплектный выпрямительно-инверторный преобразователь КВИП [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.mikont.com/news/kvip-article.html>
10. Замена двигателей постоянного тока на асинхронные регулируемые двигатели [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.nodvig.com/zamenaDPT.pdf>
11. Усольцев А.А. Частотное управление асинхронными двигателями / А.А. Усольцев. - С., 2006. – 94 с.
12. 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.
13. Тиристорные преобразователи частоты [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://ua.bankreferatov.ru/>
14. Автоматизация шлифовального процесса путем разработки автоматической системы управления регулируемым натягом [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://xreferat.ru/76/1557-7-avtomatizaciya-shlifoval-nogo-processa-putem-razrabotki-avtomaticheskoiy-sistemy-upravleniya-reguliruemym-natygom.html>
15. Голінько В.І. Основи охорони праці / В.І. Голінько. - Д., 2012. – 272 с.

						Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

16. Охрана труда [Электронный ресурс] / Режим доступа:
<http://trudovaohrana.ru/texnika-bezopasnosti/proizvodstvenue-hexax/44-liteunue-hexa.html>

17. <https://www.se.com/ua/>

18. Павленко Т. П. Автоматизований електропривод загальнопромислових механізмів. Конспект лекцій (для студентів усіх форм навчання за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка, електромеханіка) / Т. П. Павленко, О. В. Донець, О. М. Петренко ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. – 132 с.

19. <https://systemax.com.ua/ua/p22894043-elektrovdigatel-air80a8-air.html>

20. <https://220volt.com.ua/kontaktor-modul-nij-abb-esb-20-20-230v-2no-ghe3211102r0006/>

21. <https://www.dtek-dnem.com.ua/ua>

						Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		