

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
"Дніпровська політехніка"

Електротехнічний
(факультет)
Кафедра Електроприводу
(повна назва)

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
дипломного проекту (роботи)**

бакалавр
(назва освітньо-кваліфікаційного рівня)
галузь знань 14 Електрична інженерія
(шифр і назва галузі знань)
напрямок підготовки (Електромеханічні системи автоматизації та електропривод)
(код і назва напрямку підготовки)
спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(код і назва спеціальності)
освітній рівень бакалавр
(назва освітнього рівня)
кваліфікація _____
(код і назва кваліфікації)
на тему: Електропривод барабанного активатора промислової пральної машини _____

Виконавець:

студент IV курсу, групи 141-17-7

(підпис) Д.Ю. Макуха
(прізвище та ініціали)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка	Підпис
проекту	Бородай В.А.		
розділів:			
Спеціальна частина	Бородай В.А.		
Економічна частина	Тимошенко Л.В.		
Охорона праці	Столбченко О.В.		

Рецензент	Ковальов О.Р.		
-----------	---------------	--	--

Нормоконтролер	Казачковський М.М.		
----------------	--------------------	--	--

Дніпро
2021

**Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
"Дніпровська політехніка"**

ЗАТВЕРДЖЕНО:

завідувач кафедри

Електропривода

(повна назва)

Казачковський М.М.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

« ____ » _____ 2021 року

**ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу
ступеня бакалавр**

(бакалавра, спеціаліста, магістра)

студенту 141-17-7

Д.Ю. Макуха

(група)

(прізвище та ініціали)

Тема дипломного проекту Електропривод барабанного активатора
промислової пральної машини

затверджена наказом ректора НТУ "ДТ" від __12__.04__.2021 р. № 201-с__

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

Завдання видав

(підпис)

В.А. Бородай

(прізвище, ініціали)

Завдання прийняв до виконання

(підпис)

Д.Ю. Макуха

(прізвище, ініціали)

Дата видачі завдання: _____

Термін подання дипломного проекту до ДЕК _____

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка стор. 70, рис. 16, табл. 7, джерел використаної літератури 12.

Об'єкт роботи: промислова пральна машина.

Ціль роботи: розробити систему електроприводу пральної машини.

У першому розділі представлено головні елементи конструкції. Описано найпоширеніші типи електроприводів пральних машин, описано їх недоліки та переваги. А також, обрано найнадійнішу систему приводу.

У другому розділі представлено розрахунок діаграми навантажень асинхронного двигуна при різних режимах роботи даного пристрою. На основі діаграм навантажень розраховано мінімальну потужність електричного двигуна. Підібрано підходящий по параметрам асинхронний двигун та перетворювач частоти.

У третьому розділі обрано скалярну систему керування асинхронним двигуном та описано її переваги та недоліки. Надано розрахунок та синтез системи керування. На основі вищеописаних даних у пакеті моделювання Matlab/Simulink синтезовано математичну систему керування електродвигуном. Знято характеристики перехідних процесів в електроприводі машинки при різних режимах роботи.

У розділі охорони праці описано небезпечні та шкідливі фактори які впливають на життя та стан здоров'я людини. Описано методи їх вирішення.

У розділі економіки шляхом розрахунків встановлена доцільність використання керованого електроприводу у пральних промислових машинах. більш відповідне сучасним стандартам регульованого електропривода.

ПРОМИСЛОВА ПРАЛЬНА МАШИНА, РЕГУЛЬОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД, АСИНХРОННИЙ ДВИГУН, ПЕРЕТВОРЮВАЧ ЧАСТОТИ, СКАЛЯРНЕ КЕРУВАННЯ.

					ЕП.ПД. 00.00.Р.ПЗ	Арк.
						3
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дат		

ABTRACT

Explanatory note p. 68, fig. 16, table 7, references 12.

Object of work: industrial washing machine.

Purpose of the thesis: to develop an electric drive system for an industrial washing machine.

The first section presents the main elements of the structure. The most common types of electric drives of washing machines are described, their disadvantages and advantages are presented. Also, the most reliable system was selected for the further research.

The second section presents the calculation of the load diagram of an induction motor at different operating modes of this device. Based on the load diagrams, the minimum power of the electric motor is calculated. The asynchronous motor and the frequency converter are selected.

The third section selects the scalar control system of an induction motor and describes its advantages and disadvantages. The calculation and synthesis of the control system are given. Based on the data, a mathematical motor control system was synthesized in the Matlab/Simulink. The characteristics of transients in the electric drive of the machine at different operating modes are taken.

In the section of economy by calculations expediency of use of the controlled electric drive in washing industrial machines is established.

The section of labor protection describes dangerous and harmful factors that affect human life and health. Methods of their solution are described. Since the electric washing machine is connected to the mains, recommendations for protective earthing are described and given. The fire safety is described.

INDUSTRIAL WASHING MACHINE, ADJUSTABLE ELECTRIC DRIVE, ASYNCHRONOUS MOTOR, FREQUENCY CONVERTER, SCALAR CONTROL

					ЕП.ПД. 00.00.Р.ПЗ	Арк.
						4
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

РЕФЕРАТ	3
АВТРАСТ	5
ЗМІСТ	5
ВСТУП	6
1. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	7
1.1 Особливості умов експлуатації промислових пральних машин	8
1.2 Конструкція пральної машини	9
1.3 Відомості про механізм приводу активатора	10
1.4 Кінематика приводу пральних машин	11
1.5 Вимоги до електроприводу	14
2. АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД	16
2.1 Технічне завдання на проектування	17
2.2 Приведення моментів інерції до валу двигуна	18
2.3 Приведення моментів навантаження до валу двигуна	20
2.4 Розрахунок еквівалентного моменту двигуна.	22
2.5 Розрахунок еквівалентного моменту двигуна	25
2.6 Розрахунок потужності електродвигуна	26
2.7 Вибір комплектного електроприводу	33
3. ДИНАМІКА ЕЛЕКТРОПРИВОДА	38
3.1 Загальні відомості	39
3.2 Математична модель електропривода	40
3.3 Розрахунок параметрів системи скалярного управління	42
3.4 Моделювання	44
4. ОХОРОНА ПРАЦІ	47
Вступ	48
4.1 Описання шкідливих та небезпечних факторів	49
4.2 Заходи по усуненню шкідливих факторів	50
4.3 Протипожежний захист	51
4.4 Розрахунок захисного заземлення пральної машини	52
5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ	55
Вступ	56
5.1 Розрахунок капітальних витрат	57
5.2 Розрахунок експлуатаційних витрат	60
5.3 Розрахунок амортизаційних відрахувань	61
5.4 Визначення річних витрат на технічне обслуговування і поточний ремонт	61
5.5 Розрахунок вартості спожитої електроенергії	62
5.6 Розрахунок втрат електроенергії в двигуні	63
Висновки	64
ВИСНОВКИ	66
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	67
Додаток А	78

										Арк.
										5
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дат</i>	ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ					

ВСТУП

Професійні пральні машини це обов'язкове обладнання для будь-якого крупного промислового і комунального підприємств або підприємств сфери обслуговування населення. До суттєвих переваг такого обладнання слід віднести:

- скорочений цикл прання, що досягається завдяки потужним нагрівальним елементам підготовки води;
- заощадження витрат на електроенергію за наявності доступу до джерела гарячої води;
- значно більший ресурс у порівнянні з звичайними побутовими пральними машинами.

Є очевидним, що здійснення пральних робіт на базі централізованих, наприклад суспільних пральних станцій самообслуговування, можуть забезпечити значне ресурсо- та енергозбереження. Тому розвиток такого напрямку діяльності є актуальною і перспективною задачею.

Сучасні тенденції розвитку професійних пральних машин спрямовується на залучення у їх конструкцію енергоощадних технологій. Головним механізмом такого класу машин є барабанний активатор з приводом досить великої потужності. Як наслідок, уникати від потенційної можливості енергозбереження засобами електропривода не є розумним.

Найбільш сучасним регульованим приводом, на теперішньому етапі розвитку, слід вважати асинхронний короткозамкнений привод із залученням частотного керування. Відносна простота конструкції двигуна та система частотного керування, забезпечує достатню якість управління і можливість економічного використання енергоресурсу, ставить такі системи електропривода на позицію, що має переваги у порівнянні з іншими типами електроприводів. Таким чином, мета даної роботи полягає у комплексному зменшенні собівартості процесу прання, у тому числі, і за рахунок збільшення економії споживної потужності шляхом використання засобів електромеханіки.

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						6
Зм.	Дрк.	№ докум.	Підпис	Дат		

1 Технологічна частина

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		7

1. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

1.1 Особливості умов експлуатації промислових пральних машин

Професійні пральні машини це обов'язкове обладнання для будь-якого великого промислового та комунального підприємств, сфери туризму або обслуговування населення.

Загальна побутова пральна машина має багато спільного з промисловими. Але, якщо покласти на неї професійні обсяги прання, то вона швидко вийде з ладу. В промислових об'ємах прання може тривати тижнями без відпочинку, в основному це залежить від розмірів виробництва. Тому промислові пральні машини мають значні переваги перед побутовими, такі як:

- використання більш дорогих та надійних деталей, в наслідок чого збільшується час надійної експлуатації;
- особливості конструкції таких машин забезпечують можливість для пральної машини витримувати довготривалі перенавантаження;
- електроніка більш складна, тому можливо гнучко налаштувати режими роботи;
- деякі пральні машини оснащені високоточними системами зважування одягу;
- мають більше можливостей підключення до комунікацій (подача холодної та гарячої води, а також пару).

Також, для зменшення затрат на підготовку води існує декілька способів нагрівання води для промислового прання.

- нагрівання води за допомогою потужних внутрішніх нагрівальних елементів;
- підключення гарячої води напряму від зовнішнього джерела;
- підключення пару, як основного джерела нагрівання води.

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Дрк.	№ докум.	Підпис	Дат		

1.2 Конструкція пральної машини

За останні декілька десятиків років технологія прання не змінилася. Тому основна конструкція пральних машин значних змін не при терпіла. Кожна пральна машина складається з таких основних механічних компонентів як: верхній противаг, верхня кришка, бак, шків, барабан, ремінь, люк, нижній противаг, електричний двигун, опори, кріпильний палець, зливний насос, нижня панель. На рис.1 зображено схему основних механічних компонентів та їх розташування в середині корпусу.

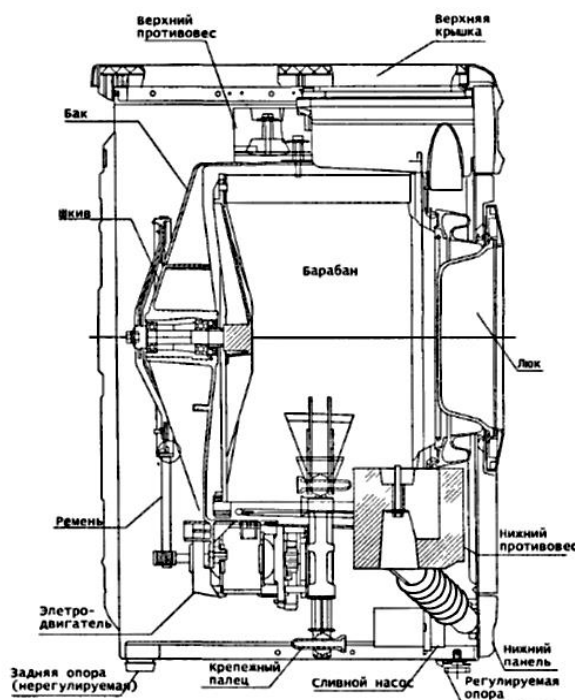


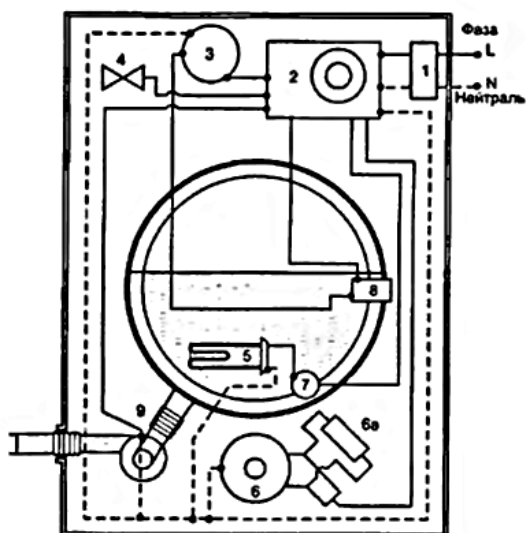
Рис. 1.1 – Розміщення механічних елементів.

Електрична частина пральної машинки складається з ряду енергетичних, механічних та електронних компонентів, які зображені на рис. 2. Їх розташування в конструкції виконано із рахуванням раціональності монтажу та ергономічної придатності для споживача.

У складі системи задіяно механічний програмний блок (командо-апарат), сутність роботи якого - переключення електричних сигналів. З погляду користувача програмований логічний контролер є блоком

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Дрк.	№ докум.	Підпис	Дат		9

організації вибору режиму прання. Інші компоненти виконують окремі технологічні завдання.



- 1 – клемна колодка,
- 2 – командо-апарат,
- 3 – реле рівня води,
- 4 – електроклапан,
- 5 – термо-нагрівач,
- 6 – електродвигун,
- 7 – термостат,
- 8 – блокувач дверей,
- 9 – зливний насос.

Рис. 1.2 – Підключення електричних компонентів.

1.3 Відомості про механізм приводу активатора

Побутові пральні машини довгий час використовували активатори дискового типу, який зазвичай розташовували на боковій стінці або на дні баку. Сучасні автоматичні пральні машини мають активатори виключно барабанного типу (рис.3) із горизонтальною або вертикальною загрузкою білизни. Така конструкція отримала своє розповсюдження із-за виконання ним одразу декілька функцій. До них слід віднести – прання, укладку, віджим, а іноді і сушку. Барабанний активатор має на внутрішніх стінках уявні лопаті –перемішувачі, які розташовані по всій довжині барабану, призначення яких покращання перемішування, що тим самим, поліпшить якість прання. Поверхня барабану виконується перфорованою для вільного перетікання вологи. Барабан із горизонтальним завантаженням зазвичай монтується на консольно встановлених підшипникових вузлах.

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						10
Зм.	Дрк.	№ докум.	Підпис	Дат		



Рис. 1.3 – Барабанний активатор.

1.4 Кінематика приводу пральних машин

Кінематичні схеми приводу пральних машин досить різноманітні. Як відомо, під час прання та віджиму барабан пральної машини обертається з різними швидкостями. В деяких пральних машинах ця зміна швидкості забезпечена суто електричними методами (тиристорні приводи, двошвидкісні або з використанням двох двигунів). В інших, зміна швидкості забезпечується суто механічними методами, наприклад, за допомогою муфт і т.д.

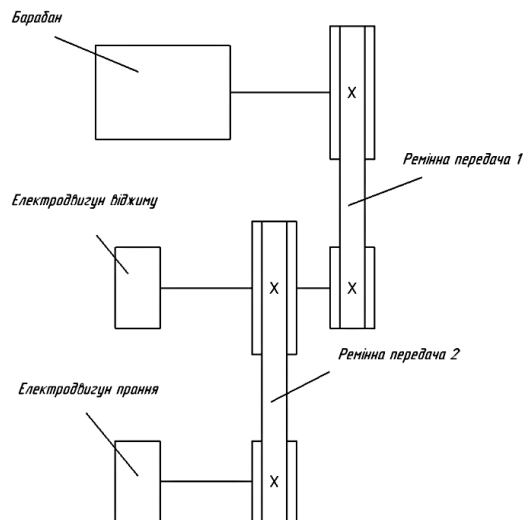


Рис. 1.4 – Дводвигунова роз'єднана кінематика

На рис.4 зображена кінематична схема приводу пральної машини з центральним баком. Вона складається з двох двигунів та ремінних передач. У якості привідних двигунів для прання, зазвичай, використовують коротко замкнуті асинхронні двигуни. А синхронна швидкість обертання дорівнює

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						11
Зм.	Дрк.	№ докум.	Підпис	Дат		

1000 або 1500 об/хв. У двигуна віджиму швидкість обертання, зазвичай 3000 об/хв.

Перевагами такого способу підключення являється його відносно невелика вартість, за рахунок використання простих по конструкції, відносно дешевих та робастних асинхронних двигунів. Основним і найбільшим недоліком даної системи є швидкість зношення підшипникового вузла електродвигуна.

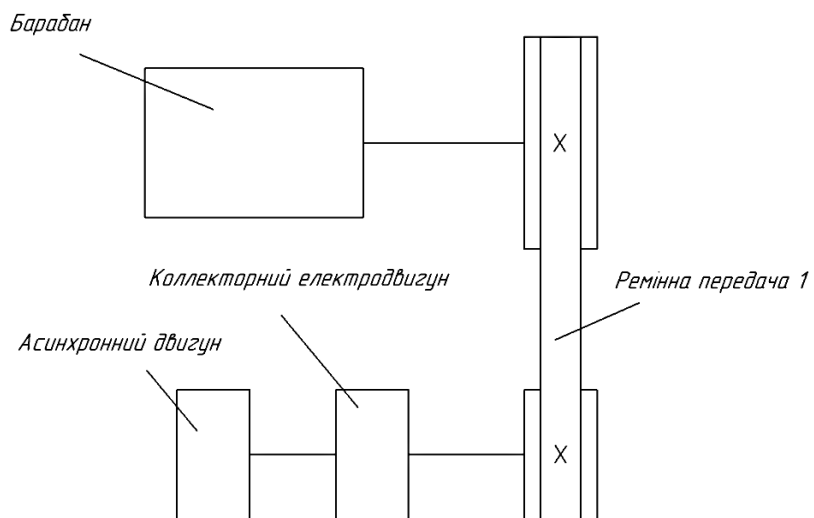


Рис. 1.5 – Кінематична схема поєднаного приводу

У систему з поєднаним приводом входять барабан, асинхронний та колекторний двигуни. Як видно зі схеми Рис. 5, двигуни розташовані на одному валу. У режимі прання працює асинхронний двигун, а у режимі віджиму – колекторний. В порівнянні від вищеописаного способу дводвигунової роз'єднаної кінематичної схеми, поєднаний має значно менші масогабаритні показники. Але, значним недоліком цієї системи є наявність колекторно-щіткового вузла, який зменшує надійність електричного приводу.

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						12
Зм.	Дрк.	№ докум.	Підпис	Дат		

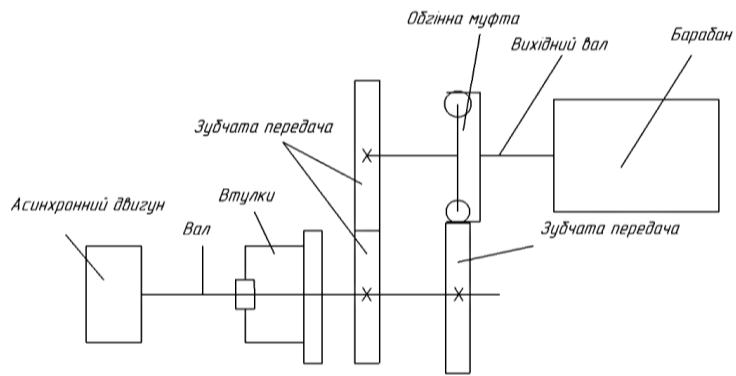


Рис. 1.6 – Схема поєданого приводу із фрикційно-зубчастою кінематикою

На рис. 6 зображена кінематична схема приводу пральної машини з боковим баком. Вал двигуна підключений до баку через зубчаті передачі. А зміна швидкості обертання валу реалізовано за допомогою обгінної муфти.

Як видно зі схеми, така система складається з великої кількості компонентів. А чим складніша система тим більший шанс виходу зі строю окремих її елементів.

На жаль продемонстровані вище кінематичні схеми вже давно застарілі. На теперішній час, найнадійнішим та найдешевшим варіантом виконання пральної машини являється двошвидкісний асинхронний двигун підключений до барабану через ремінну передачу рис. 7, а) або електродвигун з'єднаний з баком безпосередньо через вал рис. 7, б).

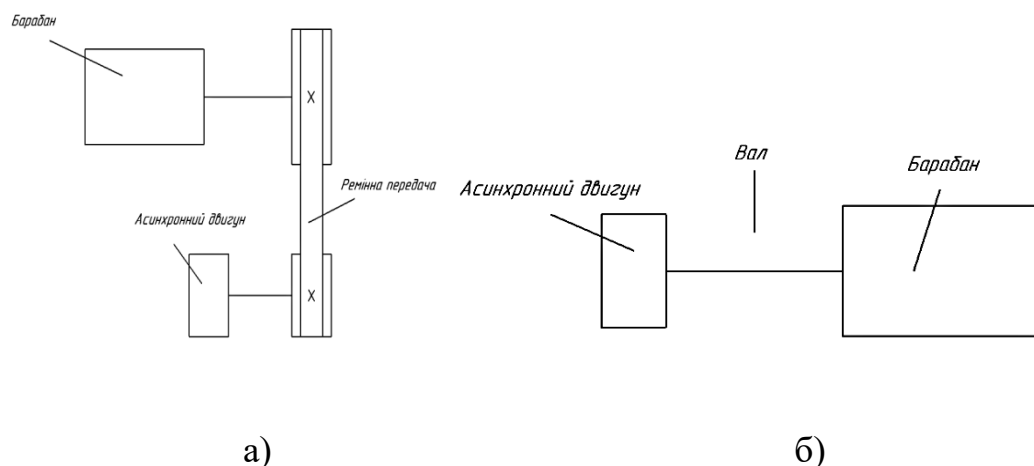


Рис. 1.7 – Кінематична схема а) – бокового та б) – центрального приводу.

1.5 Вимоги до електроприводу пральної машини

Як описувалося вище, головною вимогою для електропривода промислової пральної машинки являється надійність. Приймаючи до уваги те, що пральна машина в основному працює майже безупинно, питання економічності вибраного типу приводу є безумовно актуальним.

Зазвичай пральна машина завантажується об'ємом білизни, який протягом прання є незмінним. Як наслідок, момент навантаження, що прикладається до валу двигуна змінюється не суттєво. Тому статичний момент навантаження двигуна у сталому режимі роботи пральної машини змінюється не суттєво та без значних ударних навантажень.

Для промислових пральних машин швидкість активатора під час прання становить приблизно 50 об/хв., а під час вижиму – приблизно 500 об/хв. Тому електромеханічна система повинна за допомогою редуктору забезпечувати перетворення швидкості двигуна у меншу швидкість механізму. Вибір редукторного електроприводу забезпечить систему зниженням кінематичної енергії обертових частин електропривода. Це зменшить час перехідних процесів та динамічних навантажень в механізмі машини.

Для пральних машин DANUBE WEN потужність двигуна складає від 0.75кВт для максимальної маси білизни в 10 кг, та до 5.5кВт двигуна який розраховано на 60 кг сухої білизни. Тому потужність обраного двигуна повинна забезпечувати надійну роботу з обраною потужністю (кількість кг сухої білизни) пральної машини.

Система електропривода пральної машини повинна підтримувати відповідну швидкість обертання барабану для обраного режиму. Барабан повинен плавно розвивати максимальну швидкість обертання та

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						14
Зм.	Дрк.	№ докум.	Підпис	Дат		

підтримувати її з похибкою $\pm 5\%$ від максимальної швидкості. Так як це просте прання білизни і точність тут не являється особливим пріоритетом.

Для кращої якості прання електропривод пральної машини повинен мати наявність системи реверсного руху. Таким чином, активатор буде обертатися у прямому та реверсному режимах згідно вибраного режиму прання.

Промислові пральні машини в загальній масі будують, як моноблочні механізми. Приміщення з пральними машинами мають декілька підвищений рівень вологи, тому потрібен двигун із спеціальним рівнем захисту, який спеціально призначений для роботи в приміщеннях з підвищеним рівнем вологи.

Зазвичай малопотужні пральні машини підключатися до мережі 220 В, яка формується відповідно шляхом приєднання дротів живлення до фази та нуля промислової мережі. Більш потужні пральні агрегати потребують наявності 3-х фазної мережі, а автоматика системи живлення повинна витримувати струм навантаження до 15А.

Таким чином, при проектуванні електроприводу промислової пральної машини слід враховувати наступні фактори:

- надійність системи керування;
- частоту обертання активатора та наявність реверсного руху для зміни напрямку обертання активатора;
- зможу підключитися до трьох фазної системи живлення;
- забезпечувати безпеку людини яка працює з агрегатом, при всіх видах несправностей.

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						15
Зм.	Дрк.	№ докум.	Підпис	Дат		

2. Автоматизований електропривод

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		16

2 АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД

2.1 Технічне завдання на проектування

Для попередньо визначеного переліку вимог до електроприводу в проекті прийнята кінематична схема із боковим приводом (рис.7, а), як така, що є найбільш раціональною для систем головних механізмів промислових пральних машин. Виходячи із конструкції механізму розробки, до складу якого входять двигун, клиноремінна передача з ведучим та привідним шківками, активатор барабанного типу із боковим способом завантаження, потрібно для розрахунку задатися основними геометричними та ваговими параметрами електромеханічної системи. Одночасно необхідно врахувати і те, що максимальна маса білизни завантаження повинна становити не менше 9 кг. Таким чином, за відомого промислового досвіду і попереднього аналізу в проекті прийняті наступні вхідні параметри.

Таблиця 2.1.

Технічні параметри для проектування.

Параметр	Позначення	Одиниці вимірювання	Значення
Активатор: діаметр, маса	d1	м	0.45
	m1	кг	9
Шків активатора: діаметр, маса	d2	м	0.4
	m2	кг	0.5
Ведучий шків: діаметр, маса	d3	м	0.4
	m3	кг	0.35
Центр ваги завантаження: барабану та її маса	L _{ap}	м	0.25
	M4	кг	12

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						17
Зм.	Дрк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Технологія роботи активатора суттєво впливає на розрахунок потужності його привідного двигуна. Є очевидним, що машина повинна працювати у повторно короткочасному режимі. Для правильного здійснення визначення потужності двигуна зазвичай користуються навантажувальними діаграмами та тахограмами швидкості. Загальний вигляд таких діаграм мають вигляд рис.2.1.

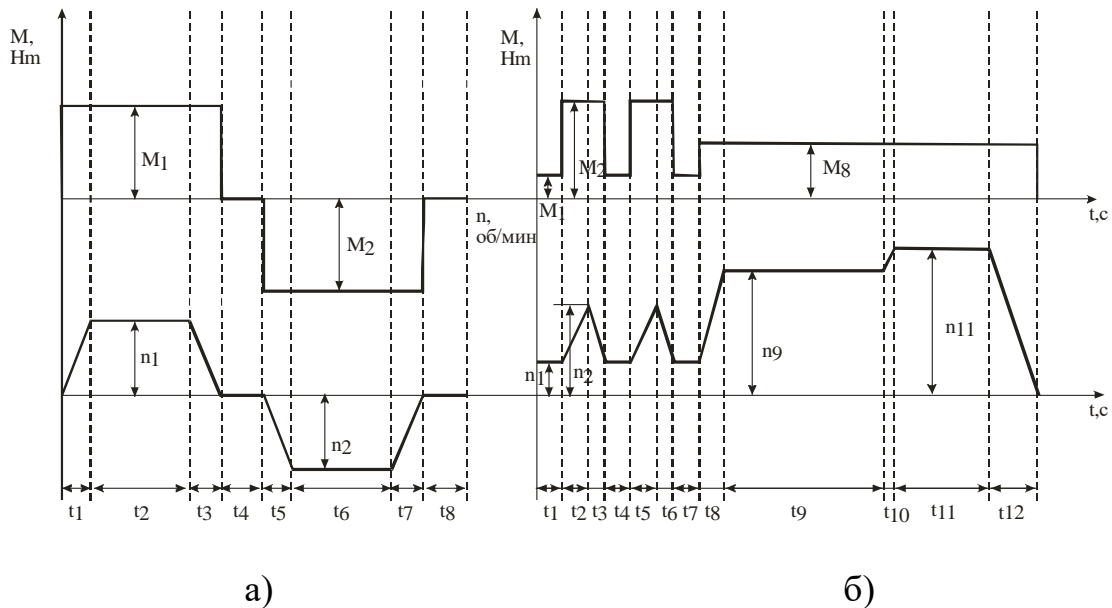


Рис.2.1 – Вхідна тахограма навантаження механізму, де режим а) прання, б) вижиму

2.2. Приведення моментів інерції до валу двигуна.

Традиційно рівняння для визначення моменту інерції циліндричних тіл обертання здійснюється за рівнянням

$$j_a = m_1 \cdot \left(\frac{d_1}{2}\right)^2 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \quad 2.1$$

Скористаємося виразом (2.1) та даними таблиці 2.1 для розрахунку моментів інерції механічної частини системи електроприводу активатора:

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						18
Зм.	Дрк.	№ докум.	Підпис	Дат		

$$j_a = m_1 \cdot \left(\frac{d_1}{2}\right)^2 = 0.456 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$j_{ah} = m_2 \cdot \left(\frac{d_2}{2}\right)^2 = 0.02 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$j_{vh} = m_3 \cdot \left(\frac{d_3}{2}\right)^2 = 0.014 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$j_z = m_4 \cdot L_{pr}^2 = 0.75 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Відомо, що передатне число реміневої передачі розраховується як:

$$j_a = \frac{d_1}{d_2} \quad 2.2.$$

Звідки значення розрахункових передатних коефіцієнтів механізмів системи мають наступні величини:

$$j_a = \frac{d_1}{d_3} = 1.125$$

$$j_{ah} = \frac{d_2}{d_3} = 1$$

$$j_z = \frac{2L_{pr}}{d_3} = 1.25$$

Власне розрахунок приведенного моменту інерції системи до валу двигуна у режимі прання визначається:

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						19
Зм.	Дрк.	№ докум.	Підпис	Дат		

$$i_{cm11} = j_a \left(\frac{1}{j_a} \right)^2 + j_{ah} \left(\frac{1}{j_a} \right)^2 + j_a \left(\frac{1}{j_z} \right)^2 \quad 2.3$$

$$i_{cm11} = 1.25 \left(\frac{1}{1.25} \right)^2 + 1.75 \left(\frac{1}{1.75} \right)^2 + 0.75 \left(\frac{1}{0.75} \right)^2 = 0.874 \text{кГ} \cdot \text{м}^2$$

Для розрахунку приведенного моменту інерції до валу двигуна режиму вижиму додатково слід скористатися відстанню до центру ваги завантаження барабану даного режиму: $L_{vg} = 0.1 \text{м}$.

$$i_z = m_4 L_{vg}^2 = 0.12 \text{кГ} \cdot \text{м}^2 \dots \dots \dots 2.4$$

$$i_{cm11} = j_a \left(\frac{1}{j_a} \right)^2 + j_{ah} \left(\frac{1}{j_a} \right)^2 + j_a \left(\frac{1}{j_z} \right)^2 + j_{vh} + j_d = 0.471 \text{кГ} \cdot \text{м}^2 \dots \dots 2.5$$

2.3 Приведення моментів навантаження до валу двигуна.

При пранні пральна машинка працює з постійним навантаженням. При пранні момент навантаження двигуна при прямому та інверсному рухах дорівнюють, для прямого та інверсного руху відповідно:

$$M_1 = 17 \text{Н} \cdot \text{м}$$

$$M_2 = -17 \text{Н} \cdot \text{м}$$

Коефіцієнт корисної дії клино-ремінної передачі: $\eta = 0.93$

Приведені моменти розраховуються за рівнянням (2.5):

$$M = M \cdot \frac{\eta}{i_{ah}}$$

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						20
Зм.	Дрк.	№ докум.	Підпис	Дат		

$$M_{pr1} = M_1 \cdot \frac{\eta}{i_{ah}} = 15.81H \cdot m$$

$$M_{pr2} = M_2 \cdot \frac{\eta}{i_{ah}} = -15.81H \cdot m$$

Для прямого та інверсного руху режиму вижиму моменти навантажень відповідно дорівнюють:

Таблиця 2.2.

Вхідні моменти навантажень режиму вижиму.

Змінна	Значення	Одиниці вимірювання
<i>M1</i>	3	Н·м
<i>M1</i>	20	Н·м
M3	20	Н·м
M4	3	Н·м
M5	20	Н·м
M6	20	Н·м
M7	3	Н·м
M8	7	Н·м
M9	7	Н·м
M10	7	Н·м
M11	7	Н·м
M12	7	Н·м

Приведені моменти розраховуються за допомогою рівняння (2.5).

Таблиця 2.3.

Приведені моменти навантажень режиму вижиму.

Змінна	Значення	Одиниці вимірювання
Mpr1	2.79	Н·м
Mpr2	18.6	Н·м
Mpr3	18.6	Н·м
Mpr4	2.79	Н·м
Mpr5	18.6	Н·м
Mpr6	18.6	Н·м
Mpr7	2.79	Н·м
Mpr8	6.51	Н·м
Mpr9	6.51	Н·м
Mpr10	6.51	Н·м
Mpr11	6.51	Н·м
Mpr12	6.51	Н·м

2.4 Розрахунок еквівалентного моменту двигуна.

Частота обертання барабану в режимі прання:

$$n_{pr1} = 45 \text{ об/хв}$$

$$n_{pr2} = -45 \text{ об/хв}$$

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Дрк.	№ докум.	Підпис	Дат		22

Час циклу прання та вижиму дорівнює:

$$T_{\text{ц}} = 30 \text{ хв}$$

а час тривання інтервалів режиму наведений в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4.

Інтервали тривання режиму прання.

Змінна	Значення	Одиниці вимірювання
trp1	2	с
Trp2	60	с
Trp3	2	с
Trp4	6	с
Trp5	2	с
Trp6	60	с
Trp7	2	с
Trp8	6	с

Вхідне рівняння визначення частоти обертання двигуна має вигляд.

$$n_{pr} = j_{ah} \cdot n_{pr} \quad 2.6$$

Потрібну швидкість обертання двигуна отримано шляхом підстановки частоти обертання активатора в (2.6) із врахуванням передатного числа шківів

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						23
Зм.	Дрк.	№ докум.	Підпис	Дат		

$$n_{pr1} = j_{ah} \cdot n_{pr1} = 45 \text{об/хв}$$

$$n_{pr2} = j_{ah} \cdot n_{pr2} = -45 \text{об/хв}$$

Частота обертання активатора в режимі вижиму:

$$n_{vg1} = 15 \text{об/хв}, n_{vg2} = 45 \text{об/хв}, n_{vg9} = 400 \text{об/хв}, n_{vg11} = 650 \text{об/хв}, \quad .92.$$

Таблиця 2.5.

Тривання інтервалів режиму вижиму.

Змінна	Значення	Змінна	Значення
Tvg1	7 с	Tvg7	7 с
Tvg2	3 с	Tvg8	3 с
Tvg3	2 с	Tvg9	210 с
Tvg4	7 с	Tvg10	2 с
Tvg5	3 с	tvgl1	70 с
Tvg6	2 с	tvgl2	3 с

Визначимо діапазон регулювання:

$$P_{роз} = \frac{n_{vg11}}{n_{vg1}} = 43 \quad 2.9$$

Із отриманих даних побудовано вхідну швидкісну діаграму механізму.

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						24
Зм.	Дрк.	№ докум.	Підпис	Дат		

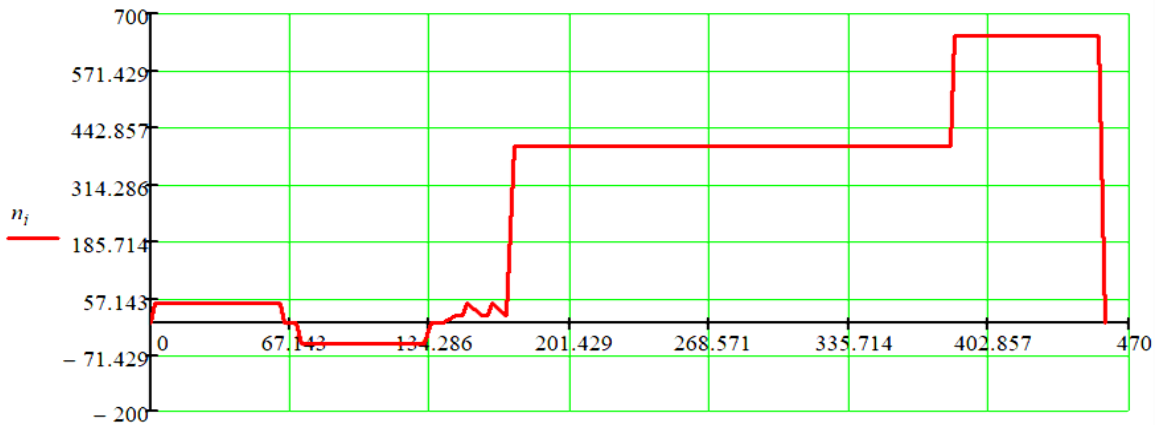


Рис. 2.2 – Швидкісна діаграма барабану.

2.5 Розрахунок еквівалентного моменту двигуна.

Класичне рівняння для визначення еквівалентного моменту двигуна

(2.7):

$$M_{ekv} = \sqrt{\frac{M_{pr1} \cdot (t_{pr1} + t_{pr2} + t_{pr3}) + M_{pr2}^2 (t_{pr5} + t_{pr6} + t_{pr7}) + M_{vg1}^2 \cdot t_{vg1} + \dots + M_{vg12}^2 \cdot t_{vg12} + \dots}{t_{vg1} + \dots + t_{vg12}}} =$$

2.7

$$M_{ekv} = 10.2 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Час циклу без урахування часу вижиму:

$$T_{цпр} = T_{ц} \cdot 60 - (t_{vg1} + t_{vg2} + \dots + t_{vg12}) = 1481 \text{ с}$$

$$T_1 = t_{pr1} + t_{pr2} + \dots + t_{pr8} = 140 \text{ с}$$

Одною із основних характеристик двигунів працюючих у повторно короткочасному режимі являється тривалість включення (ТВ). Тривалість включення описує цикл тривалості включення і відключення електродвигуна.

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						25
Зм.	Дрк.	№ докум.	Підпис	Дат		

При проектуванні електродвигуна враховується температурний показник, який повинен залишатися в робочому діапазоні температур. Електродвигун нагрівається при подачі на нього електричної енергії, яка переходить в тепло, щоб електродвигун не перегрівся необхідно його вимикати на час, щоб він встиг охолонути до температури навколишнього середовища. Стандартний ряд ТВ%: 15, 25, 40, 60, 100.

$$TB_{роз} = \frac{100 \cdot T_1}{T_{цпр}} = 9.45\% \quad 2.8$$

$$TB_{станд} = 15\%$$

2.6 Розрахунок потужності електродвигуна

Для попереднього розрахунку приймемо коефіцієнт запасу електродвигуна рівня $k_z = 1.2$.

Розрахункова потужність електродвигуна:

$$P_{роз} = k_z \frac{M_{ekv} \cdot n_{vg11}}{9550 \cdot \eta} = 0.12 \text{ кГ} \cdot \text{м} \quad 2.9$$

Потужність електродвигуна за урахування ТВ:

$$P_{станд} = P_{роз} \sqrt{\frac{TB_{роз}}{TB_{станд}}} = 0.71 \text{ кВт} \quad 2.10$$

Потужність обраного двигуна повинна бути більше ніж (2.10).

Виходячи із розрахованої мінімальної потужності обирається серійний двигун, який відповідає встановленим вимогам. Із довідника [2], необхідний двигун є 4AM71B40,75, а його параметри наведено в таблиці 2.6.

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						26
Зм.	Дрк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Параметри електродвигуна.

Параметри	Значення
Потужність	0.75 кВт
Напруга живлення статора	220/380 В
Частота живлячої мережі	50, 60 Гц
Коефіцієнт корисної дії	72 %
Коефіцієнт потужності	0,85
Ступінь захисту	IP54
Масса	9.4 кг
Номінальна швидкість	1500 об/хв
Момент інерції якоря	0.0019кгм ²

Перевагами обраного електродвигуна є відносна дешевизна ремонту та розповсюдженість замінних деталей, система захист IP54 дозволяє працювати в ускладнених умовах (бризки води та не струмопровідний пил). Номінальне ковзання двигуна становить $s_n = 0.1$, а критичного $s_{kr} = 0.4$.

Номінальна частота обертання асинхронного двигуна:

$$N_n = N_n (1 - s_n) = 1350 \text{ об/хв} \quad 2.11$$

Номінальний момент:

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						27
Зм.	Дрк.	№ докум.	Підпис	Дат		

$$M_n = 9550 \cdot \frac{P_n}{N_n} = 10.611 H \cdot m \quad 2.12$$

Критичний момент двигуна:

$$j_{cm2} = j_{cm11} + j = 0.4727 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \quad 2.13$$

Для розрахунку навантажувальних діаграм слід скористатись вхідною діаграмою механізму. В усталених режимах момент навантаження дорівнює моменту статичному. А для перехідних режимів, слід задіяти рівняння руху:

$$M_{дин} = \frac{\Delta \omega}{\Delta t} \quad 2.14$$

Динамічний момент режиму прання для пуску у прямому напрямку то гальмування напрямку відповідно:

$$M_{Dpr1} = j_{cm2} \cdot \left(\frac{\frac{\pi \cdot n_{pr1}}{30}}{t_{pr1}} \right) = 1.114 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{Dpr1} = j_{cm2} \cdot \left(-\frac{\frac{\pi \cdot n_{pr1}}{30}}{t_{pr3}} \right) = -1.114 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Момент двигуна режиму прання:

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						28
Зм.	Дрк.	№ докум.	Підпис	Дат		

$$M_{d1} = M_{pr1} + M_{Дpr1} = 16.924 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{d2} = M_{pr1} = 15.81 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{d3} = M_{pr1} + M_{Дpr11} = 14.696 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{d4} = 0 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Момент двигуна режиму Пуску та гальмування у зворотному напрямку відповідно:

$$M_{Дpr21} = j_{cm2} \cdot \left(\frac{\frac{\pi \cdot n_{pr2}}{30}}{t_{pr5}} \right) = 1.114 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{Дpr22} = -j_{cm2} \cdot \left(\frac{\frac{\pi \cdot n_{pr2}}{30}}{t_{pr7}} \right) = 1.114 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Момент двигуна режиму прання:

$$M_{d5} = M_2 + M_{Дpr21} = -16.924 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{d6} = M_{pr2} = -15.81 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{d7} = M_{pr2} + M_{Дpr22} = -14.696 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{d8} = 0 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Динамічний момент вижиму при пуску та укладці відповідно:

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

$$M_{Дvg2} = j_{cm2} \cdot \left(\frac{\frac{\pi \cdot n_{vg2}}{30} - \frac{\pi \cdot n_{vg1}}{30}}{t_{vg2}} \right) = 0.495 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{Дvg3} = j_{cm2} \cdot \left(\frac{\frac{\pi \cdot n_{vg1}}{30} - \frac{\pi \cdot n_{vg2}}{30}}{t_{vg3}} \right) = -0.743 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Момент двигуна у режимі вижиму та укладці:

$$M_{d9} = M_{vg1} = 2.79 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{d10} = M_{vg2} + M_{Дvg2} = 19.1 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{d11} = M_{vg2} + M_{Дvg3} = 17.858 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{d12} = M_{vg1} = 2.79 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{d13} = M_{vg2} + M_{Дvg2} = 19.1 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{d14} = M_{vg2} + M_{Дvg3} = 17.858 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{d15} = M_{vg1} = 2.79 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Режиму пуску та попереднього вижиму:

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						30
Зм.	Дрк.	№ докум.	Підпис	Дат		

$$M_{Двг8} = j_{cm2} \cdot \left(\frac{\frac{\pi \cdot n_{vg9}}{30} - \frac{\pi \cdot n_{vg1}}{30}}{t_8} \right) = 6.35 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{Двг10} = j_{cm2} \cdot \left(\frac{\frac{\pi \cdot n_{vg11}}{30} - \frac{\pi \cdot n_{vg9}}{30}}{t_{vg10}} \right) = 6.185 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Момент двигуна режиму вижиму, прискорення, попередній вижим та заключний вижим:

$$M_{d16} = M_{vg8} + M_{Двг8} = 12.86 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{d17} = M_{vg8} = 6.51 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{d18} = M_{vg8} + M_{Двг10} = 12.695 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{d19} = M_{vg8} = 6.51 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Режим гальмування та кінцевого вижиму:

$$M_{Двг12} = j_{cm} \cdot \left(\frac{-\frac{\pi \cdot n_{vg11}}{30}}{t_{vg12}} \right) = -10.721 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Момент двигуна режиму вижиму та гальмування:

$$M_{d18} = M_{vg8} + M_{Двг12} = -4.225 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						31
Зм.	Дрк.	№ докум.	Підпис	Дат		

На основі вище розрахованих значень можна побудувати діаграму моменту навантаження електричного двигуна.

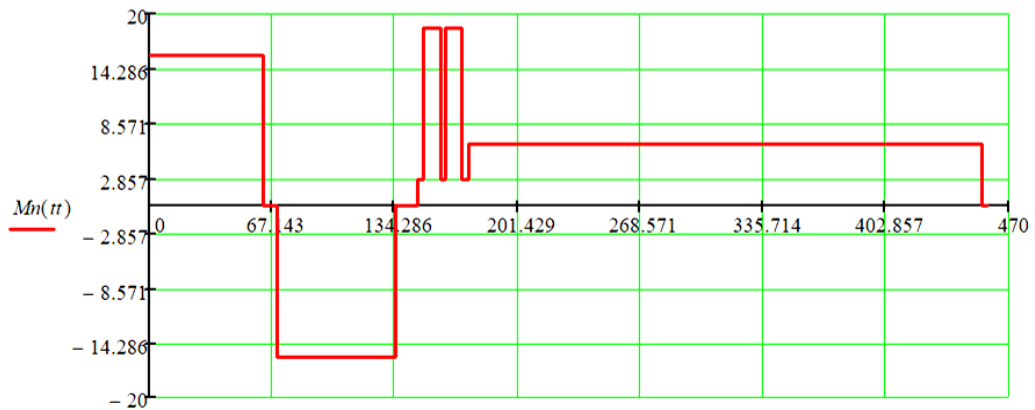


Рис.2.3 – Діаграма моменту навантаження.

Момент перевірки двигуна по теплу:

$$M_{ekv} = \sqrt{\frac{M_{pr1} \cdot (t_{pr1} + t_{pr2} + t_{pr3}) + M_{pr2}^2 (t_{pr5} + t_{pr6} + t_{pr7}) + M_{vg1}^2 \cdot t_{vg1} + \dots + M_{vg12}^2 \cdot t_{vg12} + \dots}{t_{vg1} + \dots + t_{vg12}}} =$$

$$M_{ekv} = 10.2 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$M_{ekv1} < M_n$, - це свідчить про повну відповідність обраного двигуна щодо використання його по теплу.

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						32
Зм.	Дрк.	№ докум.	Підпис	Дат		

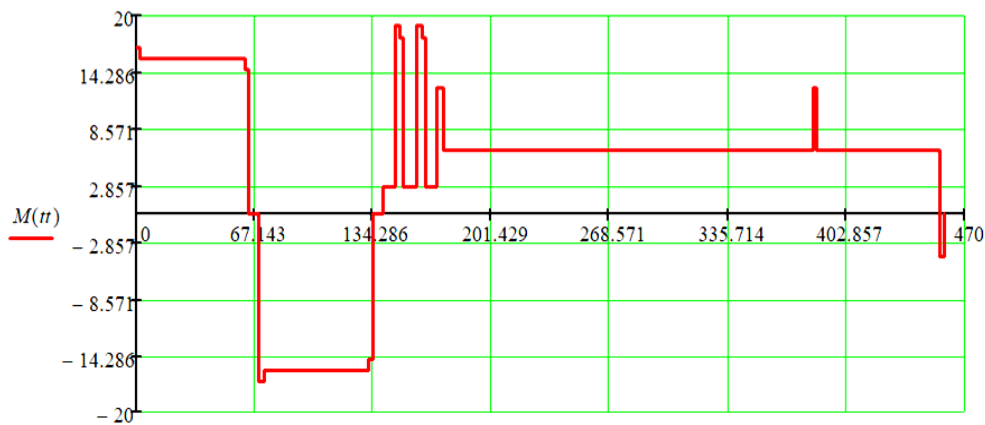


Рис.2.4 – Діаграма моменту двигуна із врахуванням динаміки.

2.7 Вибір комплектного електроприводу

Асинхронні двигуни майже повністю витіснили інші типи електричних двигунів завдяки своїм перевагам, таким як:

- простота конструкції, та зумовлена цим, простота ремонту;
- простота підключення до мережі;
- точне керування завдяки перетворювачу частоти.

Всі системи керування асинхронним двигуном можливо класифікувати по апаратній частині це: релейно-контакторні схеми та мікропроцесорні. Швидкий темп розвитку мікропроцесорної техніки призвів до появи перетворювача частоти. Завдяки перетворювачу частоти можливо відносно легко керувати моментом та швидкістю електродвигуна. Завдяки цьому можливо вести точне керування майже будь-якого параметра асинхронного двигуна.

Застосування пристроїв перетворювання частоти для керування асинхронних двигунів дає ряд додаткових переваг, а саме:

- відносна легкість впровадження модернізації;
- обмеження пускового струму двигуна на рівні номінального значення. Це знижує вимоги до живлячої мережі та підвищує термін

експлуатації двигуна;

- плавний пуск та зупинку двигуна;

Тому, для системи електроприводу пральної машинки доцільно використовувати перетворювачі частоти з можливістю керування швидкістю двигуна.

Перетворювачі частоти мають мікроконтролери, котрі дозволяють з простотою сконфігурувати перетворювач частоти, та запрограмувати його на вимагає мий технологічний процес.

Компанія Schneider Electric має серії перетворювачів частоти, котрі можуть використовуватися у будь-якій сфері людської діяльності. Серія перетворювачів частоти Altivar12 відповідає найсуворішим вимогам застосувань завдяки використанню різноманітних законів керування двигуном і численним функціональними можливостями, такими як:

- перемикання між локальним управлінням і керуванням через клемник;
- закони управління двигуном: скалярний, векторний і квадратичний;
- пропуск частот резонансу;
- завдання швидкості;
- ПД-регулятор;
- S- і U-образні криві розгону-гальмування, перемикання темпів розгону-гальмування;
- зупинка на вибігу і швидка зупинка;
- покрокова робота (JOG);
- конфігурація аналогових і дискретних входів;
- контроль недовантаження і перевантаження;
- відображення стану дискретних входів на екрані ПЧ;
- конфігурація відображення параметрів;
- хронологія несправностей і т. д.

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						34
Зм.	Дрк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Розрахунок мінімальної потужності перетворювача частоти по повній потужності двигуна.

$$S_{\text{дв}} = \frac{U \cdot I \cdot \sqrt{3}}{1000} = 1,023 \text{ кВА} \quad 2.15$$

Із 2.15 видно, що повна потужність обраного перетворювача частоти не може бути менше ніж 1.023 кВА.

Таблиця 2.7

Параметри перетворювача частоти ATV 12P075M3

Параметр	Одиниця вимірювання	Одиниця вимірювання
Тип		ATV 12P075M3
Номінальна потужність	кВт	0.75
Повна потужність	кВА	2.2
Вихідна напруга	В	220В
Максимальний струм в усталеному режимі	А	10
Маса	Кг	1

Як видно із табл. 2.7, перетворювач частоти повністю задовольняє вимоги технологічного процесу прання. Його маса всього 1 кг, що додає компактності та зменшує загальні габарити пральної машини.

На Рис. 25 зображено спрощену схему підключення Перетворювач частоти – асинхронний двигун. Так як пускові струми асинхронного двигуна

в декілька раз більші від номінального, застосовують плавкі запобіжники. Вибір яких здійснюється з урахуванням відстройки від пускових струмів. При цьому, максимальний струм плавкого запобіжника більший за номінальний струм самого двигуна. Плавкі запобіжники вибираються за часом таким чином, щоб вони не зруйнувалися до моменту повного завершення процесу запуску двигуна. Вхідні дроселі служать як фільтр для зменшення вхідних пульсацій струму, та для обмеження швидкості наростання струму.

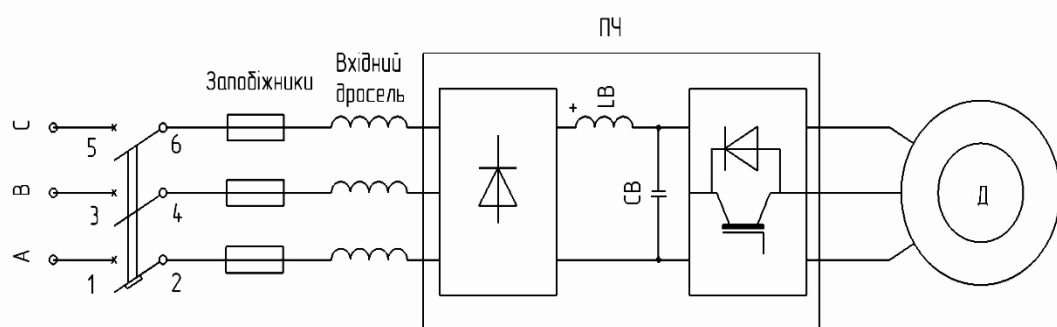


Рис. 2.5 – Спрощена схема ПЧ - АД.



Рис. 2.6 – Товарний вигляд перетворювача частоти ATV 12P075M3.

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

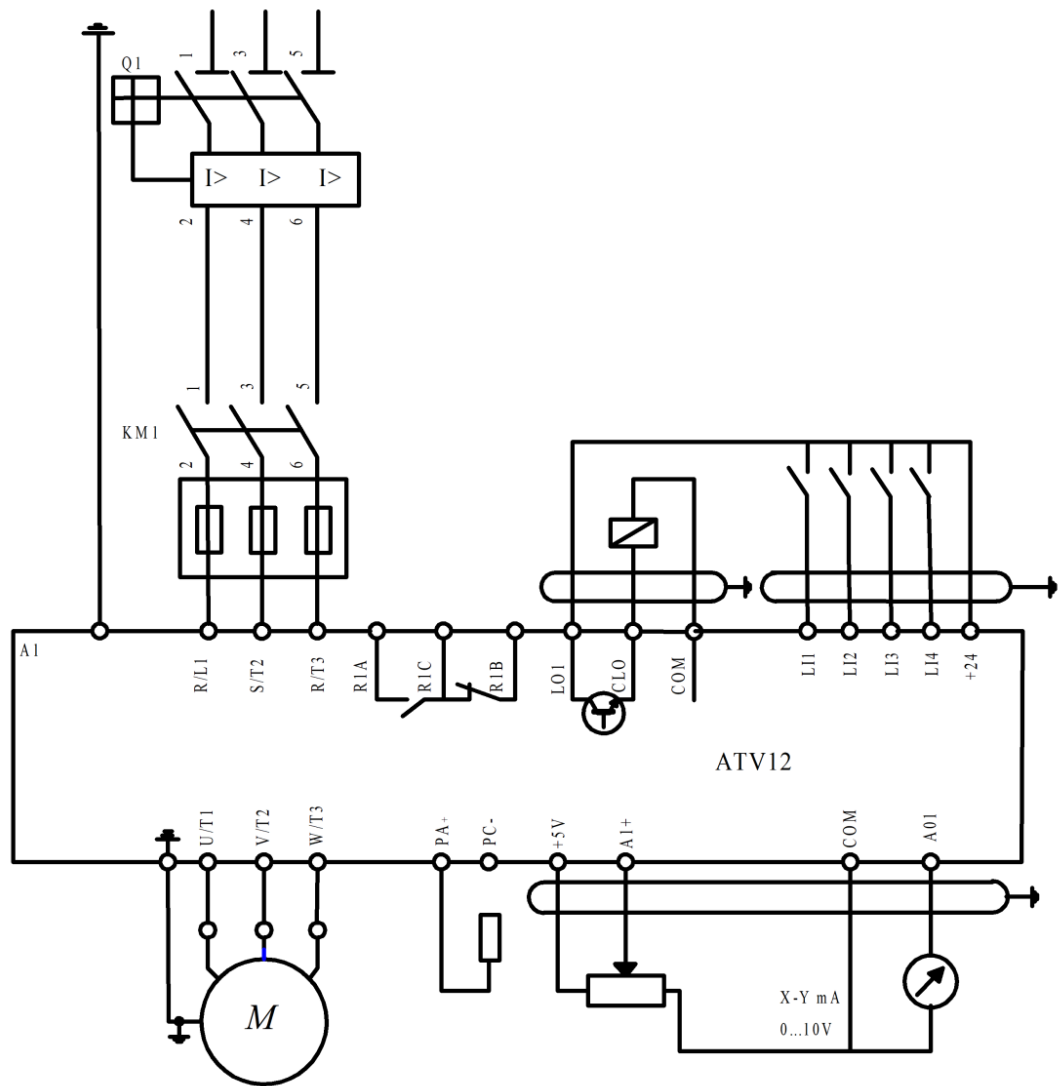


Рис. 2.7 – Електрична схема з'єднань перетворювача з двигуном змінного струму.

На Рис. 2.7 зображено електрична схема з'єднання перетворювача з двигуном змінного струму взяту із посібника для налаштування перетворювачів частоти Altivar. Як видно зі схеми, перетворювач частоти має вбудований АС/DC перетворювач для живлення ланцюгів керування. А аналогові сигнали мають діапазон 0...10 вольт якщо вхід налаштований на напругу, та 4...20 мілі ампер, якщо вхід сконфігуровано як струмовий.

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		37

3. Динаміка електропривода

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Дрк.	№ докум.	Підпис	Дат		38

3. ДИНАМІКА ЕЛЕКТРОПРИВОДА.

3.1 Загальні відомості

Принцип роботи асинхронного двигуна базується на обертанні магнітного поля, яке створюється за допомогою трьохфазного струму який протікає по обмоткам двигуна. Для регулювання моменту та швидкості обертання сучасних асинхронних двигунів використовують скалярний або векторний способи керування.

Векторне керування це тип керування електричним двигуном при якому контроль двигуна відбувається по зворотному зв'язку по величині магнітного потоку. Так було до моменту коли обчислювальні пристрої не мали сучасних потужностей. Тому, на сьогоднішній день частіше використовують математичну модель електричного двигуна для векторного керування. Вона дозволяє в реальному часі розраховувати поточні величини електричного двигуна. Це дозволяє використовувати принципи бездатчикового керування електричним двигуном, при якому, похибка керування становить всього $\pm 2\%$.

Суть векторного регулювання полягає в незалежному управлінні двома складовими струму статора, орієнтованими по осях d , q ротора. Складова по осі d являється потокостворюючою, по осі q - моментостворюючою. Характеристики векторного асинхронного електроприводу, таким чином, по точності і швидкодії наближаються до характеристик двозонного електроприводу постійного струму.

Перевагами векторного керування можна назвати:

- високий ККД;
- плавне обертання ротора двигуна навіть при малих швидкостях,
- плавне обертання ротора навіть в умовах динамічно змінюваного навантаження на валу електродвигуна.

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						39
Зм.	Дрк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Єдиним недоліком векторного керування є його вартість. За рахунок важких обчислювальних навантажень, потрібно використовувати потужні мікропроцесорні системи.

Скалярне керування набуло більшого поширення із-за відносної простоти. Цей принцип керування застосовується в механізмах, де потрібно підтримувати постійну швидкість обертання двигуна. Для цього потрібно знати величину керованої величини, яку можливо отримати за допомогою датчика зворотного зв'язку. Принцип скалярного керування заключається в тому, що амплітуда напруги живлення є функцією частоти. Та для впровадження скалярного керування треба дотримуватися відношення $\frac{U}{f} = const.$

Скалярне керування має більше недоліків ніж векторне, наприклад:

- точність керування на малих швидкостях;
- наявність датчика зворотного зв'язку;
- менша точність регулювання.

З урахуванням усіх вище описаних недоліків та переваг, для системи керування пральною машиною найбільш доречним є спосіб скалярного керування із датчиком зворотного зв'язку по швидкості.

3.2 Математична модель електропривода

На Рис.3.1 зображено функціональну схему системи перетворювач частоти – двигун із зворотнім зв'язком за швидкістю. Структурна схема складається з таких елементів як: перетворювач частоти, асинхронний двигун, тахогенератор, датчики струму та система керування.

На Рис.3.2 зображено структурну схему системи перетворювач частоти – двигун із зворотнім зв'язком за швидкістю. Структурна схема складається з математичних ланок, таких як: регулятор швидкості, перетворювач частоти, асинхронний двигун та коефіцієнт передачі датчика струму. У систему

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						40
Зм.	Дрк.	№ докум.	Підпис	Дат		

подається завдання на максимальну швидкість ($U_3 = 10V$), та двигун переходить у режим розгону, а його швидкість починає зростати. Швидкість буде зростати до того моменту, поки не досягне заданого значення. Коли швидкість двигуна досягла заданої, завдання на швидкість компенсується зворотнім від'ємним зв'язком.

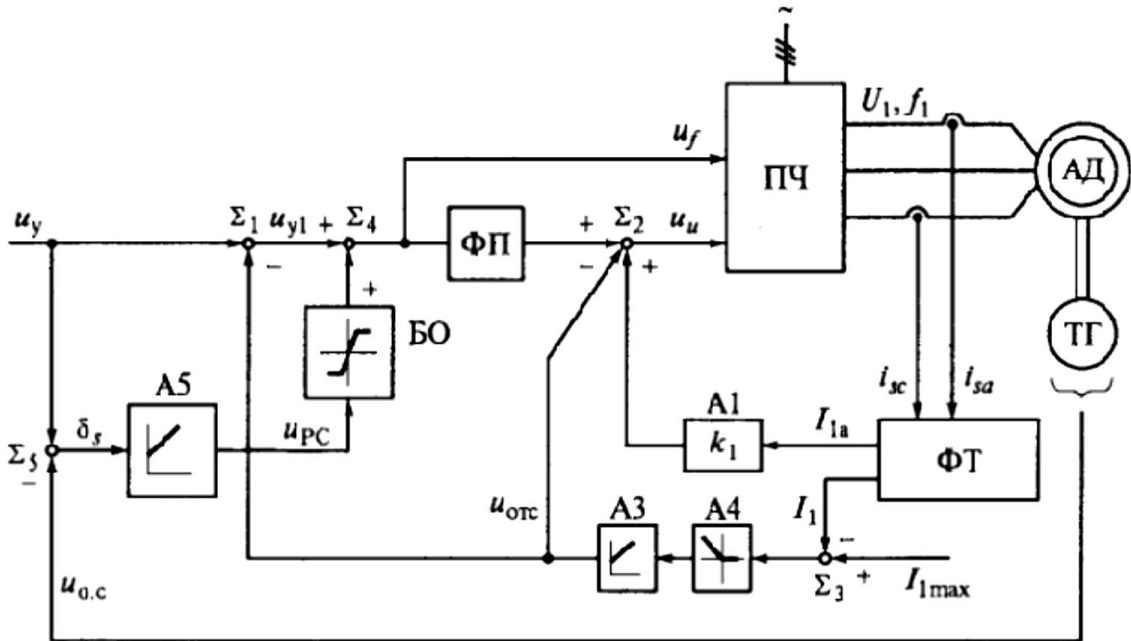


Рис. 3.1 – Функціональна схема системи перетворювач частоти – двигун із зворотнім зв'язком за швидкістю

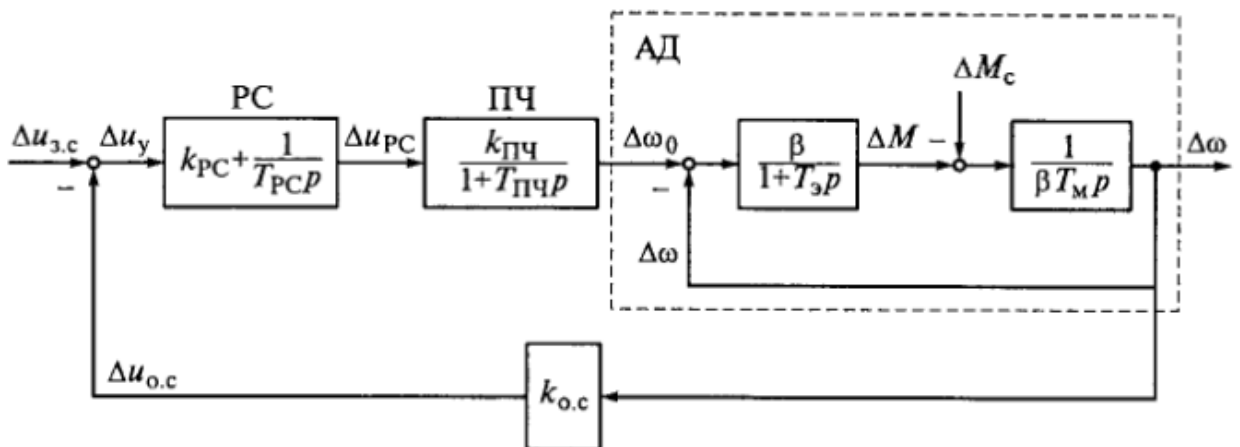


Рис. 3.2 – Структурна схема системи перетворювач частоти – двигун із зворотнім зв'язком за швидкістю

Якщо внести збурення у систему (підвищити момент навантаження двигуна), швидкість зменшиться, що призведе до зменшення величини зворотного зв'язку. Тому двигун знову почне розгін, поки не досягне заданого значення.

Якщо момент навантаження на валу двигуна навпаки, зменшиться. Це призведе до збільшення швидкості обертання. Що, в свою чергу, призведе до збільшення значення зворотного зв'язку за швидкістю. Завдання за швидкістю стане від'ємним, та двигун почне зменшення швидкості.

3.3 Розрахунок параметрів системи скалярного управління

Розрахунок коефіцієнту задавача інтенсивності. Задавач інтенсивності (ЗІ) призначений для обмеження швидкості зміни завдання на швидкість, для чого стрибкоподібний вхідний сигнал $U_z = 10V$ перетворюється у вихідний сигнал, що плавно змінюється. Час розгону двигуна до заданої максимальної швидкості та коефіцієнт задавача інтенсивності відповідно:

$$t = \frac{\omega_0}{M_n} \cdot J = 0.028 \text{ c} \quad 3.1$$

$$K_{zi} = \frac{U_z}{t} = 355.549 \quad 3.2$$

де $U_z = 10$ – максимальна напруга завдання.

Мала некомпенсована постійна часу перетворювача частоти:
 $T_{nc} = 0.005$.

Коефіцієнт підсилення ланки перетворювача частоти:

$$k_{nc} = \frac{1.2 \cdot \omega_0}{U_z} = 18.85 \quad 3.3$$

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						42
Зм.	Дрк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Коефіцієнт жорсткості механічної характеристики асинхронного електродвигуна:

$$\beta = \frac{2M_{kr}}{\omega_0 \cdot s_{kr}} = 0.743, \alpha_\mu = 4 \quad 3.4$$

Електромагнітна постійна часу асинхронного двигуна:

$$T_E = \frac{1}{\omega_0 \cdot s_{kr}} = 0.016 \quad 3.5$$

Електромеханічна постійна часу асинхронного двигуна:

$$T_M = 4T_E = 0.064 \quad 3.6$$

Коефіцієнт підсилення датчика швидкості:

$$k_{oc} = \frac{U}{\omega_0} = 0.064 \quad 3.7$$

Коефіцієнт підсилення механічної частини двигуна:

$$\frac{U}{T_M \cdot \beta} = 21.139 \quad 3.8$$

$$T_\mu = \frac{2T_E}{1 - \sqrt{1 - \frac{4T_E}{T_M}}} = 0.037 \quad 3.9$$

Коефіцієнт підсилення інтегральної частини регулятора швидкості:

$$T_{pc} = \frac{1}{k_{oc} \cdot k_{нч} \cdot T_\mu \cdot \alpha_\mu} = 5.656 \quad 3.10$$

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						43
Зм.	Дрк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Коефіцієнт підсилення пропорціональної частини регулятора швидкості:

$$k_{pc} = \frac{T_{\mu}}{T_{pc}} = 0.18 \quad 3.11$$

3.4 Моделювання

Підставивши розраховані вище коефіцієнти системи скалярного керування асинхронного двигуна, отримаємо замкнуту систему керування за швидкістю. Математичне моделювання здійснюється за допомогою програмного забезпечення Matlab, в середовищі Simulink. Він дозволяє за допомогою математичних блоків синтезувати модель автоматичного керування швидкістю. Та змодельовати всі необхідні перехідні процеси в електроприводі, такі як: миттєві значення струму, магнітного потоку, швидкості, напруги, моменту і так далі. Рис. 3.3 демонструє синтезовану математичну модель системи перетворювач частоти – двигун із зворотнім зв'язком за швидкістю.

Синтезована математична модель складається із головних частин, таких як: задатчик інтенсивності, регулятор швидкості, зворотного зв'язку за швидкістю, механічної частини привода, перемикачів завдання на швидкість, суматорів, множите лей та осцилографа. Після подачі скачкоподібного максимального завдання на швидкість, задатчик інтенсивності забезпечує плавне наростання цього сигналу, що дозволяє отримати плавний пуск та розгін асинхронного двигуна. Так як описувалося раніше, сигнал завдання перетворювача частоти змінюється у діапазоні 0...10В.

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

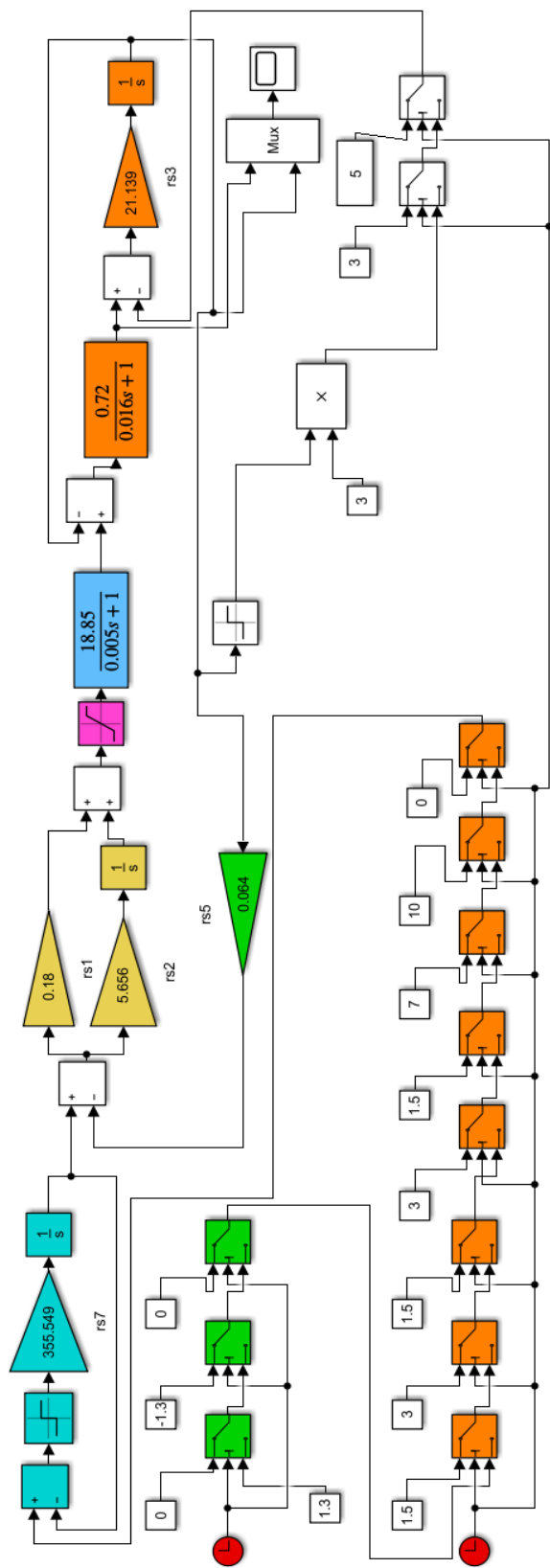


Рис. 3.3 – Синтезована математична модель системи перетворювач частоти – двигун із зворотнім зв'язком за швидкістю в середовищі Matlab/Simulink.

Зм.	Дрк.	№ докум.	Підпис	Дат

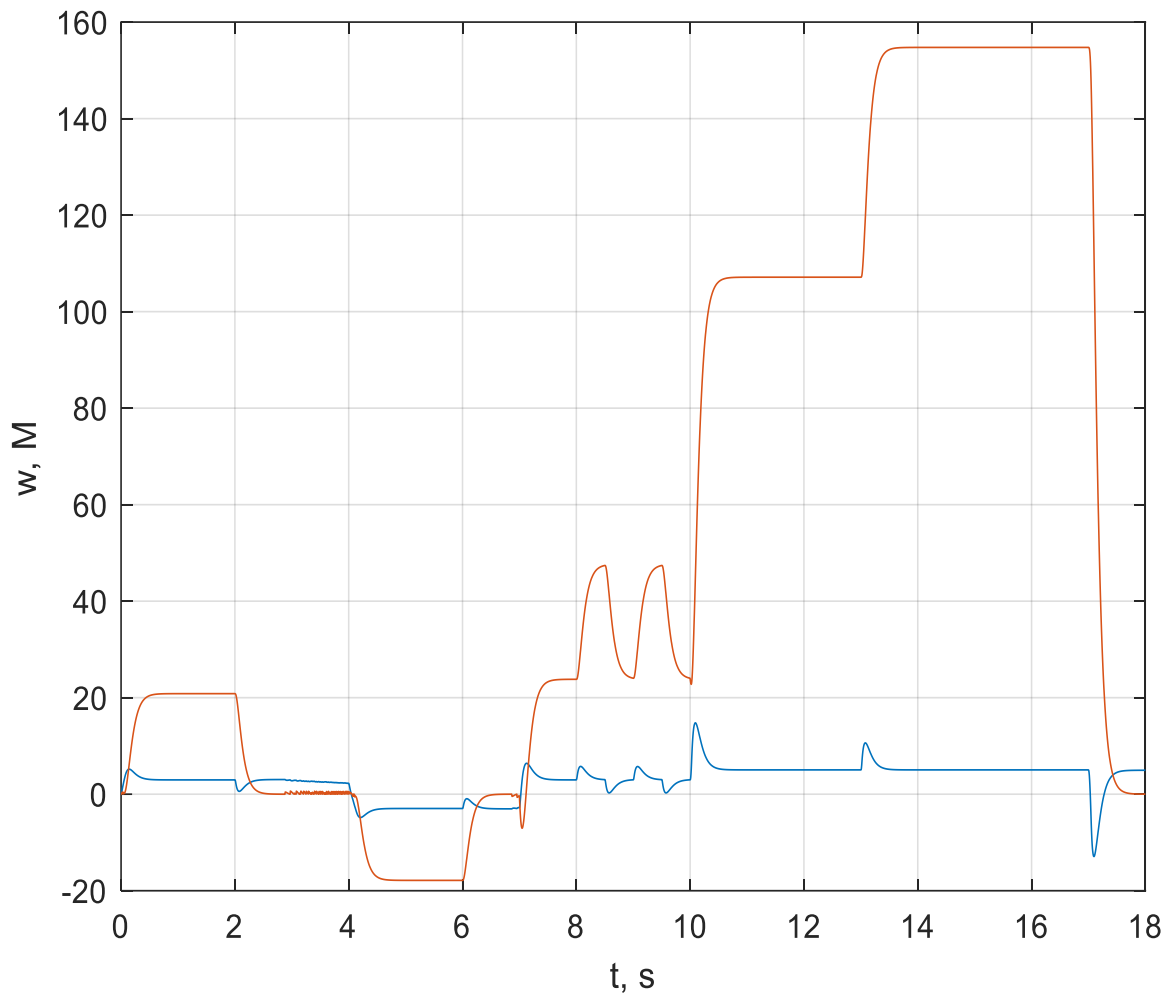


Рис. 3.4 – Перехідні процеси в змодельованому електроприводі.

Рис. 3.4 демонструє перехідні процеси в синтезованій математичній моделі системи перетворювач частоти – двигун із зворотнім зв'язком за швидкістю Рис.3.3. Головними показниками системи автоматичного керування являються швидкість (активатора) та електромеханічний момент на валу двигуна. Як видно із наведених графіків перехідних процесів Рис. 3.4, система успішно відпрацьовує повний цикл прання з реверсом електричного двигуна.

4. Охорона праці

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дат</i>		47

4. ОХОРОНА ПРАЦІ

Вступ

Головними задачами данного розділу є опис та усунення шкідливих факторів, які впливають на життя та здоров'я людини працюючої із пральною машиною. А також, розрахунок захисного заземлення пральної машини.

Головними задачами охорони праці на будь-якому підприємстві є зведення до мінімуму ймовірності ураження або захворювання працюючої людини з одночасним забезпеченням комфорту при максимальній продуктивності праці. Вона відіграє важливу роль у трудовому житті. Правильна та точна організація праці завжди підвищує продуктивність роботи працюючого. Це призводить до збільшення виконаної роботи та зменшення травм та аварійних ситуацій на виробництві або в будь-якій іншій сферах людської діяльності. Це у свою чергу, призводить до економічного ефекту на зменшення виплат на лікування, за рахунок уникнення аварійних ситуацій.

4.1 Описання шкідливих та небезпечних факторів

До основних шкідливих факторів, що впливають на здоров'я людей працюючих в місцях де розташовані промислові пральні машини (пральні, хімчистки і то що) , відносяться:

- підвищена температура і вологість;
- електробезпека;
- підвищений рівень шуму;
- недостатнє освітлення робочої зони;
- пожежна безпека;
- розігріті поверхні з високою температурою;
- обертові частини;
- висока напруга;

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						48
Зм.	Дрк.	№ докум.	Підпис	Дат		

- підвищені рівні шуму і вібрації;
- мокрі та слизькі поверхні;
- технологічні трубопроводи гарячої води або пара;
- підвищений рівень вібрацій;

При роботі людини з високою напругою завжди присутня ймовірність дотику до устаткування, та ураження людини високою напругою. У свою чергу, електричний струм, який проходить крізь тіло людини викликає термічне, біологічне та електролітичну дію на організм людини. Ці дії впливають на нормальне функціонування людського організму. Та можуть призвести до значних змін в людському організмі, та навіть, призвести до смерті.

Нестача світла на робочому місці людини призводить до послаблення та нервово-емоційної напруги. Наслідком роботи людини при нестачі світла підвищують шанс виникнення небезпечних та аварійних ситуацій.

Збільшений рівень шуму, також несприятливо впливає на організм людини. При роботі людини у приміщенні із пральними машинками, де рівень шуму значно вищий за нормальний, людина відчуває дискомфорт та напруженість.

Крім того, для працівників які займаються пранням є небезпека інфікування різного роду захворюваннями. Які можуть передаватися від однієї людини до іншої. Тому всі працівники повинні дотримуватись правил безпеки під час виконання робіт.

4.2 Заходи по усуненню шкідливих факторів

Захисними мірами для забезпечення електробезпеки являються: електричне розділення мереж, захисне заземлення, захисне занулення та ізоляція струмоведучих частин електроустаткування.

Захисним заземленням називають умисне з'єднання земляного контакту або корпусу пральної машини із відповідним провідником розетки.

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						49
Зм.	Дрк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Завдяки цьому при пробі ізоляції струм витіку надходить до землі, та не зашкодить здоров'ю людини. Захисним зануленням називають умисне підключення нульового провідника із металевими частинами пральної машини, які під дією тих чи інших причин можуть опинитися під високою напругою.

Для відключення пральної машини від мережі, у разі виникнення пробі ізоляції використовують диференційні автомати. Вони моніторять зміну струму фази або нуля, щоб безпечно відключити пральну машину від мережі.

Для захисту від вібрації застосовують наступні методи: вібродемпфування, віброгасіння, віброізоляція, та уникнення резонансних частот. Для зменшення вібрацій пральної машини, вона встановлюється на спеціальні резинові підставки.

Людина, яка виконує роботу за пральною машиною повинна переконатися в тому що:

- вентиляція працює у нормальному режимі і забезпечую вентиляцію повітря у приміщенні;
- технологічні трубопроводи гарячої води та пари мають якісну та незруйновану ізоляцію;
- електроприлади справні, та підключені до захисного заземлення;
- відкриті обертові частини приладів захищені від стороннього впливу та знаходяться за спеціальними огорожами;
- робота може виконуватися тільки на справному обладнанні з дотриманням всіх норм і правил з охорони праці для даного технологічного процесу.

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						50
Зм.	Дрк.	№ докум.	Підпис	Дат		

4.3 Протипожежний захист

У разі виникнення пожежі або ознак загоряння (задимлення, запах диму, підвищення температури тощо.) в приміщенні де відбувається прання працівники повинні:

- припинити всі роботи та знеструмити приміщення;
- спробувати загасити загоряння за допомогою первинних засобів пожежогасіння та негайно повідомити про пожежу особу відповідальну за пожежну безпеку;
- сповістити про пожежу за допомогою пожежної сигналізації або оповістити голосом;
- повідомити про пожежу за телефоном пожежної служби.

Правила розміщення та використання вогнегасників.

Вогнегасники, що знаходяться в приміщенні, повинні розташовуватися так, щоб не перешкоджати безпечній евакуації людей. Первинні засоби вогнегасіння необхідно розташовувати на відкритих місцях поруч з виходом з приміщення на місцях їх постійного розташування та на висоті не більше 150см. Вогнегасники повинні бути в необхідній кількості та готові до роботи у будь-який момент. Всі вогнегасники в обов'язковому порядку в повинні мати паспорт, нумерацію бути зареєстрованими в журналі первинних засобів пожежогасіння. Для гасіння твердих горючих речовин і рідин, електричної проводки, згідно з інструкцією з пожежної безпеки, необхідно застосовувати наявні порошкові і вуглекислотні вогнегасники.

Загальні рекомендації для гасіння пожежі за допомогою вогнегасників:

- горючу вертикальну поверхню потрібно тушит знизу вгору;
- використаний вогнегасник замінюється новим, готовим до використання;
- використаний вогнегасник здається людині, котра відповідальна за пожежну безпеку на об'єкті, для перезарядки речовини для гасіння

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						51
Зм.	Дрк.	№ докум.	Підпис	Дат		

полум'я. Кожна перезарядка вогнегасника повинна бути записана в журналі обліку первинних засобів пожежогасіння.

Правила використання порошкових вогнегасників:

- підійти з вогнегасником до осередку пожежі (загоряння);
- зірвати пломбу вогнегасника;
- висмикнути чеку за допомогою кільця;
- натиснути на важіль і привести вогнегасник в дію направивши струмінь у вогнище.

4.4 Розрахунок захисного заземлення пральної машини

Розрахунок захисного заземлення здійснюється для того щоб розрахувати форму та розмір контура заземлення. Контури заземлення складається із заземлюючого провідника, горизонтальних та вертикальних заземлювачів. Вертикальні заземлювачі розміщуються в землі на деякій відповідній глибині, та з'єднуються за допомогою горизонтальних заземлювачів, та з електрощитом за допомогою заземлюючого провідника.

Початкові дані для розрахунку захисного заземлення:

$d = 70$ мм – діаметр заземлюючого стержня;

$\rho_{\text{екв}} = 50$ Ом·м - еквівалентний питомий опір ґрунту;

$L=2$ м – довжина стержня;

$T = 1$ м – відстань від поверхні землі до середини стержня;

$\psi = 4$ – сезонний кліматичний коефіцієнт;

$R_H=30$ Ом – нормований опір розтікання струму заземлювального пристрою;

$t = 0,9$ м – заглиблення вертикального заземлювача;

$L_r = 14$ мм – довжина заземлювача;

$b = 3$ мм – ширина заземлювача;

$n_r = 0.55$ – коефіцієнт попиту горизонтальних заземлювачів

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						52
Зм.	Дрк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Опір розтікання струму R_0 одного вертикального заземлювача (стержня) знайдемо за наступною формулою:

$$R_0 = \frac{\rho_{\text{зкв}}}{2\pi \cdot L} (\ln(\frac{2L}{d}) + 0.5 \ln(\frac{4T+L}{4T-L})) \quad (4.1)$$

$$R_0 = \frac{50}{2 \cdot 2 \cdot 1.5} (\ln(\frac{2 \cdot 2}{50 \cdot 10^{-6}}) + 0.5 \ln(\frac{4 \cdot 1 + 2}{4 \cdot 1 - 2})) = 13 \text{ Ом}$$

Розрахуємо кількість стрижнів заземлення, без урахування опору горизонтального заземлення, за формулою:

$$n_0 = \frac{R_0 \cdot \psi}{R_n} = 2, \text{шт} \quad (4.2)$$

$$n_0 = \frac{13 \cdot 4}{30} = 2, \text{шт} \dots$$

Знайдемо опір розтікання струму для горизонтального заземлювача:

$$R_r = 0.366 (\frac{\rho_{\text{зкв}} \cdot \psi}{L_r \cdot \eta_r}) \cdot \lg(\frac{2L_r^2}{b \cdot t}) = 56, \text{ Ом} \dots \quad (4.3)$$

$$R_r = 0.366 (\frac{50 \cdot 4}{12 \cdot 10^{-6} \cdot 0.55}) \cdot \lg(\frac{2 \cdot (12 \cdot 10^{-6})^2}{4 \cdot 10^{-6} \cdot 0.8}) = 56, \text{ Ом} \dots$$

Визначимо опір вертикального заземлювача з урахуванням опору розтікання струму горизонтальних заземлювачів:

$$R_6 = \frac{R_r \cdot R_n}{(R_r - R_n)}, \text{ Ом} \dots \quad (4.4)$$

$$R_6 = \frac{56 \cdot 30}{(56 - 30)} = 64, \text{ Ом} \dots$$

Загальна кількість вертикальних заземлювачів визначається за формулою:

$$n = \frac{R_0}{R_6 \cdot \eta_6}, \text{шт} \dots \quad (4.5)$$

$$n = \frac{13}{64 \cdot 0.78} = 1, \text{шт} \dots$$

Стрижні заземлювача знаходяться не в приміщенні, тому ми підключаємося до нього з вулиці.

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						53
Зм.	Дрк.	№ докум.	Підпис	Дат		

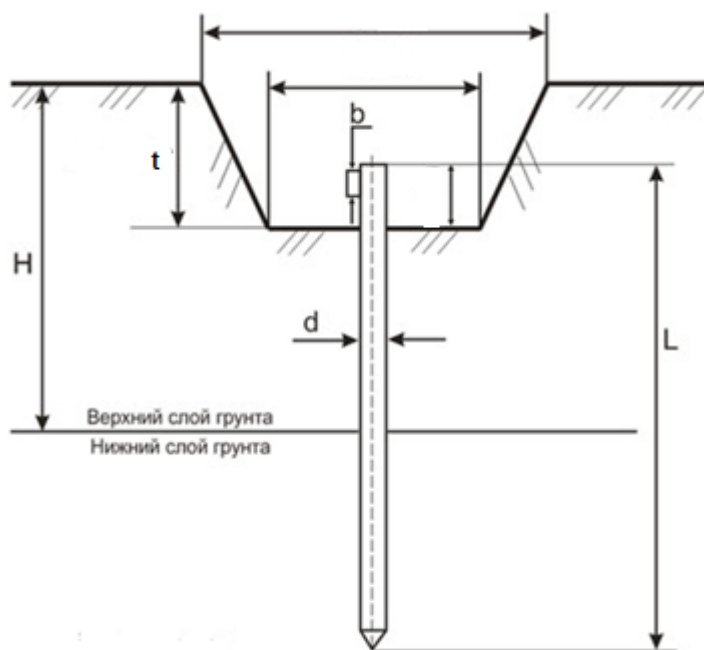


Рис. 4.1 Схема захисного заземлення пральної машини.

Висновок

У даному розділі було описано небезпечні фактори, котрі впливають на здоров'я та життя людини.

Такими факторами являються: підвищений рівень вібрацій, підвищений рівень шуму, висока напруга недостатнє освітлення робочої зони,. Надано рекомендації щодо усунення небезпечних факторів впливаючих на роботу людини. Описано способи захисту людини від ураження електричним струмом. Та розраховано систему захисного заземлення пральної машини. Описано правила пожежної безпеки, та надано порядок дій яких потрібно дотримуватися у разі виникнення загрози пожежі.

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						54
Зм.	Дрк.	№ докум.	Підпис	Дат		

5. Техніко-економічне обґрунтування

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		55

5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

Вступ

Метою даного розділу є розрахунок економічних показників від впровадження модернізації електропривода промислової пральної машини. Суть технічного рішення полягає у заміні релейно – контакторної системи керування на систему ПЧ – АД.

Для цього необхідно розрахувати загальні капіталовкладення, які складаються із: витрат на придбання нового устаткування та його доставку, на монтажні і налагоджувальні роботи. Розрахувати річні експлуатаційні витрати, вартість електроенергії, споживаної об'єктом проектування впродовж року, витрат на поточний ремонт апаратури автоматики і систем автоматизації.

Впровадження частотного регулювання електроприводів (ЧРП) дозволяє:

- значно підвищити точність регулювання заданої величини;
- автоматизувати окремі ділянки виробництва.
- покращити надійність системи;
- зменшити обсяги споживання електроенергії;
- зменшити витрати на технічне обслуговування.

Як вже згадувалося раніше, частотне регулювання ефективно застосовується, у системах де потрібно регулювати швидкість двигуна. Впровадження частотного регулювання пральної машини забезпечить плавне, без ударне управління за допомогою системи адаптації потужності. Так як момент навантаження пральної машини може змінюватись в залежності від об'єму завантаженої білизни.

Очікується, що заміна системи керування на систему ПЧ – АД призведе до:

- зменшення обсягу споживання електроенергії;

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						56
Зм.	Дрк.	№ докум.	Підпис	Дат		

- зменшення витрат на технічне обслуговування;
- покращити якість прання;
- збільшити термін експлуатації пральної машини.

5.1 Розрахунок капітальних витрат

Для визначення капітальних витрат можна скористатися формулою

$$K_{pr} = K_{об}(\sum Ci) + Z_{тзс} + Z_m + Z_n + Z_{pr} \text{ грн.}$$

де $K_{об}(\sum Ci)$ - вартість придбання електроустаткування (електричний двигун та перетворювач), необхідного для реалізації прийнятого технічного рішення.

$Z_{тзс}$ - транспортно-заготівельні і складські витрати;

Z_m - витрати на монтажні витрати;

Z_n - витрати на налагоджувальні витрати;

Z_{pr} - інші одноразові вкладення грошових коштів.

Список капітальних витрат занесена до таблиці 5.1.

Таблиця 5.1. Зведення капітальних витрат

№п/п	Найменування технічних засобів (комплектуючих виробів)	Кількість	Ціна за одиницю, грн	Сума, грн.
1	Асинхронний двигун	1	1425	1425
2	Перетворювач частоти Altivar 12	1	4427	4427

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						57
Зм.	Дрк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Таблиця 5.1 - Продовження

3	Кабель	6м	245	1 470
4	Інші витрати		2000	2000
	ВСЬОГО			9 322

Базовий варіант комплектації коштує на порядок менше від запропонованого. Це обумовлено відсутністю перетворювача частоти та використанням простих релейно-контакторних схем які підключають асинхронний двигун безпосередньо до мережі. Такі керовані релейно-контакторні блоки коштують від 300 до 500 грн за одиницю. Так як двигун в основному двошвидкісний, то буде потрібно 2 блоки, ціною 1000 грн. Потужність асинхронного двигуна базового варіанта складає 1.1 кВт. А його ціна складає 1625 грн. Двигуни більшої потужності споживають більше електроенергії, вимагають допоміжної апаратури з більшими номінальними параметрами, та працюють в режимах не відповідаючим номінальним показанням ККД. Це все в купі, підвищує ціну механізму в цілому, та ціну експлуатації.

Вартість транспортно-заготівельних і складських витрат ($З_{тзс}$) визначається виходячи з:

1. Відстані доставки устаткування від місця придбання до місця експлуатації;
2. Кількості, маси і габаритів устаткування;
3. Виду транспортних засобів;
4. Транспортних тарифів;
5. Розцінок на навантажувально-розвантажувальні роботи;
6. Витрат на складську обробку.

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Дрк.	№ докум.	Підпис	Дат		58

Перетворювач частоти має відносно не великі габарити та масу, тому, при покупці в онлайн магазині електротехніки, доставка у Дніпро вже включена у вартість. Асинхронний двигун можливо доставити у Дніпро при доплаті 1000 грн. Тому, витрати на доставку складають $Z_{mzc} = 1000$ грн.

Витрати на монтажні (Z_M) і налагоджувальні роботи (Z_H) можна визначити таким чином:

$$Z_M = \sum (C_i \cdot a_i \cdot t_i) \cdot K_D \cdot K_{CЗ} \cdot K_i = 1 \cdot 68,93 \cdot 16 \cdot 1,2 \cdot 1,22 \cdot 1,1 = 1\ 776 \text{ грн.}$$

де C_i - чисельність працівників i -го розряду, необхідних для виконання певного об'єму монтажних (налагоджувальних) робіт, чол.

a_i - часова тарифна ставка 4-го розряду.

t_i - час, необхідний для виконання певного об'єму монтажних (налагоджувальних) робіт, години

K_D - коефіцієнт, що враховує розмір доплат;

$K_{CЗ}$ - коефіцієнт, що враховує відрахування на соціальні заходи;

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

Інші одноразові вкладення грошових коштів (Z_{np}) можуть включати витрати на:

- 1) демонтаж застарілого устаткування;
- 2) проведення проектно-конструкторських робіт;
- 3) підготовку персоналу;

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						59
Зм.	Дрк.	№ докум.	Підпис	Дат		

4) придбання готового програмного забезпечення.

Капітальні витрати проектного варіанту:

$$K_{np} = 9\,322 + 1000 + 1\,776 = 12\,097 \text{ грн.}$$

Як видно із розрахунків, розраховані капітальні витрати являються малоцінними матеріальними активами. Так як сума капітальних витрат менша за 20 тис. гривень.

5.2 Розрахунок експлуатаційних витрат

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:

1. Амортизаційні відрахування (C_a);
2. Заробітна плата обслуговуючого персоналу (C_z);
3. Відрахування на соціальні заходи від заробітної плати (C_c);
4. Витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт устаткування (C_t);
5. Вартість електроенергії, споживаної об'єктом проектування (C_e);
6. Інші експлуатаційні витрати (C_i).

Таким чином, річні експлуатаційні витрати складуть:

$$C = C_a + C_z + C_c + C_t + C_e + C_{np}$$

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						60
Зм.	Дрк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Розрахунок експлуатаційних витрат ведеться по проектному і базовому варіанту паралельно.

5.3 Розрахунок амортизаційних відрахувань

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

$$C_a = 50\% \text{ від } K_{np}$$

$$C_a = \frac{K_{np} \cdot 50\%}{100\%} = \frac{12\,097 \cdot 50}{100} = 6\,048 \text{ грн}$$

5.4 Визначення річних витрат 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 робітником і можуть визначатися за фактичними даними підприємства.

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

$$Z_{m.p.} = \sum_{i=1}^n R_i \cdot T_i \cdot m_i \cdot R_{\sum i} + \frac{s_i \cdot \Pi_i}{T_i} \cdot T_{\Phi}$$

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Дрк.	№ докум.	Підпис	Дат		61

де: n - число пристроїв автоматики, що підлягають ремонту;

R_i - годинна ставка робочих, виконуючих ремонт, грн. (68,93 грн);

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

m_i - число ремонтів за рік;

R_{Σ} - сумарна категорія складності ремонту залежно від виду електроустаткування :

S_i - вартість однотипних замінюваних елементів, грн.;

Π - кількість однотипних замінюваних елементів;

T - середній термін служби деталей цього типу, ч.;

T_f - число годин роботи апаратури в рік, ч.

$$Z_{m.p.np} = 68,93 \cdot 7 \cdot 1 \cdot 2,5 + \frac{630 \cdot 3}{1100} \cdot 1920 = 4\,504 \text{ грн.}$$

5.5 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 по формулі:

$$C_{e.np} = W_p \cdot C_e = 2\,160 \cdot 2,7 = 5\,832 \text{ грн.}$$

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

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						62
Зм.	Дрк.	№ докум.	Підпис	Дат		

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

2,7 грн./кВт год - вартість електроенергії для підприємств станом на 11.05.21;

Кількість електроенергії яку споживатиме промислова пральна машинка за рік, розраховуємо за наступною формулою:

$$W_{з.пр.} = t_d \cdot t_h \cdot t_n \cdot P_n = 30 \cdot 8 \cdot 12 \cdot 0.75 = 2160 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

де: $t_d = 30$ - кількість робочих днів в місяць ;

$t_h = 8$ - кількість робочих годин пральної машинки;

$t_n = 12$ - кількість місяців на рік;

$P_n = 0.75$ - потужність електродвигуна.

5.6 Розрахунок втрат електроенергії у двигуні

Повна потужність електродвигуна дорівнює:

$$S_1 = U_1 \cdot I_1 \cdot \sqrt{3} = 380 \cdot \sqrt{3} \cdot 1.4 = 905 \text{ ВА}$$

де: U_1 – лінійне значення напруги на виводах двигуна;

I_1 – лінійне значення струму двигуна.

Активну потужність електродвигуна позначають на шильнику. Вона дорівнює:

$$P_1 = U_1 \cdot I_1 \cdot \sqrt{3} \cdot \cos \varphi = 380 \cdot \sqrt{3} \cdot 1.4 \cdot 0.85 = 760 \text{ Вт} = 0.76 \text{ кВт}$$

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						63
Зм.	Дрк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Корисна потужність на валу асинхронного двигуна дорівнює:

$$P_2 = U_1 \cdot I_1 \cdot \sqrt{3} \cdot \cos \varphi \cdot \eta = 380 \cdot \sqrt{3} \cdot 1.4 \cdot 0.85 \cdot 0.74 = 568 \text{ Вт} = 0.57 \text{ кВт}$$

Втрати в асинхронному двигуну являються суммою магнітних та електричних втрат у статорі. Енергія що залишилася, за допомогою магнітного поля передається до ротора, який у свою чергу, має втрати на тертя в підшипниках, та додаткові втрати в роторі. Енергія що залишилася і являється корисною потужністю електродвигуна. Втрати в данному двигуні дорівнюють:

$$P_1 - P_2 = 0.76 - 0.57 = 0.19 \text{ кВт}$$

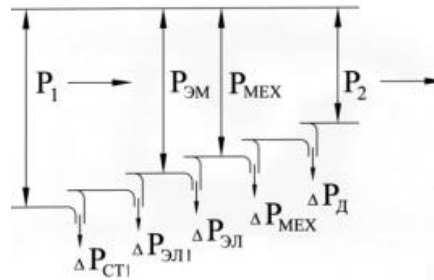


Рис. 5.1 – діаграма втрат в асинхронному двигуні.

Висновки

У розрахунках техніко – економічного розділу були отримані значення проектних витрат - 12097 грн, які складаються із: витрат на придбання нового устаткування та його доставку, на монтажні і налагоджувальні роботи. Також, розраховано річні експлуатаційні витрати які складаються із: вартості електроенергії 5832 грн, споживаної об'єктом проектування впродовж року та витрат на поточний ремонт апаратури автоматики і систем автоматизації – 4504 грн. Розраховано втрати електроенергії в двигуні. Розраховані капітальні витрати являються малоцінними матеріальними активами. Так як сума капітальних витрат менша за 20 тис. гривень.

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						64
Зм.	Дрк.	№ докум.	Підпис	Дат		

ВИСНОВКИ

					ЕП.ПД. 00.00.Д.ПЗ	Арк.
						65
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дат</i>		

ВИСНОВКИ

Головною задачею дипломного проекту була розробка електроприводу промислової пральної машини. А саме, заміна нерегульованого електроприводу регульованим.

У проекті було описано головні типи конструкцій промислових пральних машин, описано їх недоліки та переваги. Обрано найбільш надійний та робастний метод прямого з'єднання електричного двигуна та активатора. Успішно розраховано навантажувальні діаграми та мінімальну потужність електричного двигуна. Підбрано підходящий асинхронний двигун який відповідає сучасним стандартам та перетворювач частоти.

У проекті була розрахована система автоматичного керування швидкістю промислової пральної машини. На основі розрахунків створена модель електропривода у пакеті Matlab/Simulink. Змодельована схема дала змогу дослідити поведінку головних параметрів асинхронного двигуна в різних режимах роботи. Зняті характеристики перехідних процесів досліджено та описано.

У розділі економіки шляхом розрахунків встановлена доцільність використання керованого електроприводу у пральних промислових машинах, яке являється більш відповідним до сучасних стандартів регульованого електропривода.

У розділі охорони праці описано небезпечні та шкідливі фактори які впливають на життя та стан здоров'я людини. Описано методи їх вирішення. Так як електрична пральна машинка підключається до мережі, описано та надано рекомендації щодо захисного заземлення. Надано рекомендації щодо пожежної безпеки.

Аналізуючи все вищезазначене можна сказати, що в дипломі була доведена доцільність використання перетворювачів частоти для покращення якості прання, перехідних характеристик електроприводу та надійності.

					ЕП.ПД. 00.00.Д.ПЗ	Арк.
						66
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. В. Коляда «Современные стиральные машины».
2. Кравчик А. Е. «Асинхронні двигуни серії 4А» (1982)
3. Терехов В. М., «Системы управления электроприводов» 2005
4. Колб А.А., Колб А.А. Теорія електроприводу: Навч. посібник. Д.: НГУ. – 2006.
5. Altivar 12. Каталог.
6. Altivar 12. Керівництво користувача.
7. Народицкий А.Г. Современное и перспективное алгоритмическое обеспечение частотно-регулируемых электроприводов, М.: Энергия. 2004. 224 с.
8. Спосіб симетрування активного навантаження в чотирипровідних мережах змінного струму / В.А. Бородай, О.Ю. Нестерова, О.Р. Ковальов // XVI Міжнародна конференція з проблем використання інформаційних технологій в освіті, науці та промисловості. НТУ «ДП», Дніпро, 15–17 грудня 2020 р. – С.165-167.
9. Техніко-економічна еволюція головного привода промислових пральних машин / Д.Ю. Макуха, В.А. Бородай // XVI Міжнародна конференція з проблем використання інформаційних технологій в освіті, науці та промисловості. НТУ «ДП», Дніпро, 15–17 грудня 2020 р. – С.170-172.
10. Методичні вказівки до виконання економічної частини кваліфікаційної роботи для студентів напряму підготовки 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / Укладач: Л.В. Тимошенко - Дніпро: НТУ «ДП», 2019. - 18 с.
11. ГОСТ 12. 1. 030–81. ССБТ. Электробезопасность, защитное заземление, зануление. – М.: Издательство стандартов, 1982. – 9 с.
12. Методичні вказівки до виконання розділу „Охорона праці“ в дипломних проектах (роботах) бакалаврів інституту електроенергетики / В.І. Голінько, В.Ю. Фрундін, Ю.І. Чеберячко, М.Ю. Іконніков. – Д.: Державний ВНЗ «Національний гірничий університет», 2012. – 8 с.
13. Кирьянов Д. В. Mathcad 15/Mathcad Prime 1.0. — СПб.: БХВ-Петербург, 2012. — 432 с.: ил.
14. Дьяконов В. П. MATLAB. Полный самоучитель. – М.: ДМК Пресс, 2012. – 768 с.: ил.

					ЕП.ПД. 00.00.Д.ПЗ	Арк.
						67
Зм.	Дрк.	№ докум.	Підпис	Дат		

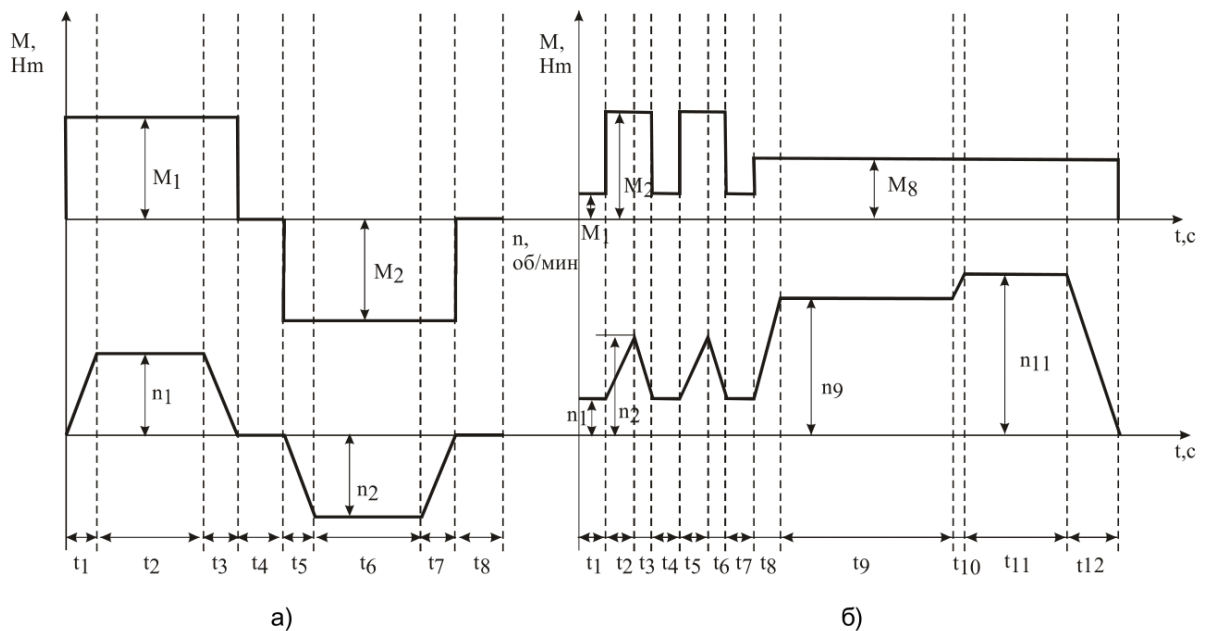
Додаток А1

Автоматизований електропривод активатора барабанного типу промислової пральної машини

Дані для розрахунку режиму прання:

діаметр активатора, та його маса	$d_1 := 0.45$	м	$m_1 := 9$	кг
діаметр шківа активатора і його маса	$d_2 := 0.4$	м	$m_2 := 0.5$	кг
діаметр ведучого шківа та його маса	$d_3 := 0.4$	м	$m_3 := 0.35$	кг
центр ваги завантаження барабану та її маса	$L_{pr} := 0.25$	м	$m_4 := 12$	кг

Вхідна тахограма навантаження механізму, де а) режим прання, б) режим вижиму



1. Приведення моментів інерції до валу двигуна.

Момент інерції активатора $j_a := m_1 \cdot \left(\frac{d_1}{2}\right)^2$ $j_a = 0.456$

Момент інерції шківа активатора $j_{ah} := m_2 \cdot \left(\frac{d_2}{2}\right)^2$ $j_{ah} = 0.02$

Момент інерції завантаження $j_z := m_4 \cdot L_{pr}^2$ $j_z = 0.75$

Момент інерції ведучого шківа $j_{vh} := m_3 \cdot \left(\frac{d_3}{2}\right)^2$ $j_{vh} = 0.014$

Передатне число клино-ріменевої передачі

активатора

$$i_a := \frac{d_1}{d_3} \quad i_a = 1.125$$

					ЕП.ПД. 00.00.Д.ПЗ	Арк. 68
Зм.	Дрк.	№ докум.	Підпис	Дат		

$$\begin{array}{lll} \text{шківа активатора} & i_{ah} := \frac{d_2}{d_3} & i_{ah} = 1 \\ \text{завантаження} & i_z := \frac{2 \cdot L_{pr}}{d_3} & i_z = 1.25 \end{array}$$

Розрахунок приведенного моменту інерції до валу двигуна **режиму прання**

$$j_{cm} := j_a \cdot \left(\frac{1}{i_a}\right)^2 + j_{ah} \cdot \left(\frac{1}{i_{ah}}\right)^2 + j_z \cdot \left(\frac{1}{i_z}\right)^2 + j_{vh} \quad j_{cm} = 0.874$$

Розрахунок приведенного моменту інерції до валу двигуна **режиму вижиму**

$$\begin{array}{l} \text{центр ваги завантаження барабану} \\ \text{при вижимі} \end{array} \quad L_{vg} := 0.1 \quad \text{м}$$

$$\text{Момент інерції завантаження} \quad j_{z_{зав.}} := m_4 \cdot L_{vg}^2 \quad j_z = 0.12$$

$$j_{cm11} := j_a \cdot \left(\frac{1}{i_a}\right)^2 + j_{ah} \cdot \left(\frac{1}{i_{ah}}\right)^2 + j_z \cdot \left(\frac{1}{i_z}\right)^2 + j_{vh} \quad j_{cm11} = 0.4708$$

Сумарний момент інерції системи після вибору двигуна слід збільшити на значення моменту інерції ротору двигуна.

2. Приведення моментів навантаження до валу двигуна.

Дані для розрахунку режиму прання:

$$M_1 := 17 \quad \text{Нм} \quad M_2 := -17 \quad \text{Нм} \quad \begin{array}{l} \text{Моменти навантаження для прямого та} \\ \text{інверсного руху} \end{array}$$

$$\eta := 0.93 \quad \text{Коефіцієнт корисної дії клино-ремінєвої передачі}$$

Приведення моментів

$$M_{pr1} := M_1 \cdot \frac{\eta}{i_{ah}} \quad M_{pr1} = 15.81 \quad M_{pr2} := M_2 \cdot \frac{\eta}{i_{ah}} \quad M_{pr2} = -15.81$$

Дані для розрахунку режиму вижиму:

$$M_{1'} := 3 \quad M_{2'} := 20 \quad M_{7'} := M_{1'} \quad \begin{array}{l} \text{Моменти навантаження для прямого та інверсного руху, Нм} \end{array}$$

$$M_{3'} := M_{2'} \quad M_{4'} := M_{1'} \quad M_{8'} := 7$$

$$M_{5'} := M_{2'} \quad M_{6'} := M_{2'} \quad M_{9'} := M_{8'} \quad M_{12'} := M_{8'} \quad M_{10'} := M_{8'} \quad M_{11'} := M_{8'}$$

Приведення моментів

$$M_{vg1} := M_{1'} \cdot \frac{\eta}{i_{ah}} \quad M_{vg1} = 2.79 \quad M_{vg2} := M_{2'} \cdot \frac{\eta}{i_{ah}} \quad M_{vg2} = 18.6$$

					ЕП.ПД. 00.00.Д.ПЗ	Арк.
						69
Зм.	Дрк.	№ докум.	Підпис	Дат		

$$M_{vg3} := M_3 r \frac{\eta}{i_{ah}} \quad M_{vg3} = 18.6$$

$$M_{vg4} := M_4 r \frac{\eta}{i_{ah}} \quad M_{vg4} = 2.79$$

$$M_{vg5} := M_5 r \frac{\eta}{i_{ah}} \quad M_{vg5} = 18.6$$

$$M_{vg6} := M_6 r \frac{\eta}{i_{ah}} \quad M_{vg6} = 18.6$$

$$M_{vg7} := M_7 r \frac{\eta}{i_{ah}} \quad M_{vg7} = 2.79$$

$$M_{vg8} := M_8 r \frac{\eta}{i_{ah}} \quad M_{vg8} = 6.51$$

$$M_{vg9} := M_9 r \frac{\eta}{i_{ah}} \quad M_{vg9} = 6.51$$

$$M_{vg10} := M_{10} r \frac{\eta}{i_{ah}} \quad M_{vg10} = 6.51$$

$$M_{vg11} := M_{11} r \frac{\eta}{i_{ah}} \quad M_{vg11} = 6.51$$

$$M_{vg12} := M_{12} r \frac{\eta}{i_{ah}} \quad M_{vg12} = 6.51$$

Параметри для побудови графіка $M_0 := 0 \quad M_1 := M_{pr1} \quad M_2 := M_{pr1} \quad M_3 := 0 \quad M_4 := 0$

$M_5 := M_{pr2} \quad M_6 := M_{pr2} \quad M_7 := M_{pr2} \quad M_8 := 0 \quad M_9 := 0 \quad M_{10} := M_{vg1} \quad M_{11} := M_{vg2} \quad M_{12} := M_{vg2}$

$M_{13} := M_{vg1} \quad M_{14} := M_{vg2} \quad M_{15} := M_{vg2} \quad M_{16} := M_{vg1} \quad M_{17} := M_{vg8} \quad M_{18} := M_{vg8} \quad M_{19} := M_{vg8}$

$M_{20} := 0$

3. Розрахунок еквівалентного моменту двигуна.

Дані для розрахунку:

частота обертання барабану в режимі прання

$T_{ц} := 30$ час циклу прання та вижиму, хвил

$n_{pr1} := 45$ об/хвил $n_{pr2} := -45$ об/хвил

час тривання режиму, сек

$t_{pr1} := 2 \quad t_{pr2} := 60 \quad t_{pr3} := 2 \quad t_{pr4} := 6 \quad t_{pr5} := 2 \quad t_{pr6} := 60 \quad t_{pr7} := 2 \quad t_{pr8} := 6$

частота обертання двигуна

$n_{pr1v} := n_{pr1} \cdot i_{ah}$ об/хвил $n_{pr1} = 45$ об/хвил

$n_{pr2v} := n_{pr2} \cdot i_{ah}$ об/хвил $n_{pr2} = -45$ об/хвил

Параметри для побудови графіка

$n_0 := 0 \quad n_1 := n_{pr1} \quad n_2 := n_{pr1} \quad n_8 := 0 \quad n_4 := 0 \quad n_5 := n_{pr2}$

$n_6 := n_{pr2} \quad n_7 := 0$

частота обертання барабану в режимі вижиму

$n_{vg1} := 15$ об/хвил $n_{vg9} := 400$ об/хвил

$n_{vg2} := 45$ об/хвил $n_{vg11} := 650$ об/хвил

час тривання режиму

$t_{vg1} := 7 \quad t_{vg2} := 3 \quad t_{vg3} := 2 \quad t_{vg4} := 7 \quad t_{vg5} := 3 \quad t_{vg6} := 2 \quad t_{vg7} := 7 \quad t_{vg8} := 3$

$t_{vg9} := 210 \quad t_{vg10} := 2 \quad t_{vg11} := 70 \quad t_{vg12} := 3$

Параметри для побудови графіка

$i := 0..20$

					ЕП.ПД. 00.00.Д.ПЗ	Арк.
						70
Зм.	Дрк.	№ докум.	Підпис	Дат		

$$\begin{aligned}
t_0 &:= 0 & t_1 &:= t_{pr1} & t_2 &:= t_1 + t_{pr2} & t_3 &:= t_2 + t_{pr3} & t_4 &:= t_3 + t_{pr4} & t_5 &:= t_4 + t_{pr5} & t_6 &:= t_5 + t_{pr6} & t_7 &:= t_6 + t_{pr7} \\
t_8 &:= t_7 + t_{pr8} & t_9 &:= t_8 + t_{vg1} & t_{10} &:= t_{vg2} + t_9 & t_{11} &:= t_{vg3} + t_{10} & t_{12} &:= t_{vg4} + t_{11} & t_{13} &:= t_{vg5} + t_{12} \\
t_{14} &:= t_{vg6} + t_{13} & t_{15} &:= t_{vg7} + t_{14} & t_{16} &:= t_{vg8} + t_{15} & t_{17} &:= t_{vg9} + t_{16} & t_{18} &:= t_{vg10} + t_{17} & t_{19} &:= t_{vg11} + t_{18} \\
t_{20} &:= t_{vg12} + t_{19}
\end{aligned}$$

частота обертання двигуна

$$n_{vg1} := n_{vg1} \cdot i_{ah} \quad \text{об/хвил} \quad n_{vg1} = 15 \quad \text{об/хвил}$$

$$n_{vg2} := n_{vg2} \cdot i_{ah} \quad \text{об/хвил} \quad n_{vg2} = 45 \quad \text{об/хвил}$$

$$n_{vg9} := n_{vg9} \cdot i_{ah} \quad \text{об/хвил} \quad n_{vg9} = 400 \quad \text{об/хвил}$$

$$n_{vg11} := n_{vg11} \cdot i_{ah} \quad \text{об/хвил} \quad n_{vg11} = 650 \quad \text{об/хвил}$$

Параметри для побудови графіка

$$\begin{aligned}
n_9 &:= n_{vg1} & n_{10} &:= n_{vg1} & n_{11} &:= n_{vg2} & n_{12} &:= n_{vg1} & n_{13} &:= n_{vg1} \\
n_{14} &:= n_{vg2} & n_{15} &:= n_{vg1} & n_{16} &:= n_{vg9} & n_{17} &:= n_{vg9} & n_{18} &:= n_{vg11} & n_{19} &:= n_{vg11} & n_{20} &:= 0
\end{aligned}$$

$$tt := 0, 0.01 .. t_{20}$$

$$Mn(tt) := \text{if}(tt \leq t_1, M_1, \text{if}(t_1 \leq tt \leq t_2, M_2, \text{if}(t_2 \leq tt \leq t_3, M_3, \text{if}(t_3 \leq tt \leq t_4, M_4, \text{if}(t_4 \leq tt \leq t_5, M_5, \text{if}(t_5 \leq tt \leq t_6, M_6, \text{if}(t_6 \leq tt \leq t_7, M_7, \text{if}(t_7 \leq tt \leq t_8, M_8, \text{if}(t_8 \leq tt \leq t_9, M_9, \text{if}(t_9 \leq tt \leq t_{10}, M_{10}, \text{if}(t_{10} \leq tt \leq t_{11}, M_{11}, \text{if}(t_{11} \leq tt \leq t_{12}, M_{12}, \text{if}(t_{12} \leq tt \leq t_{13}, M_{13}, \text{if}(t_{13} \leq tt \leq t_{14}, M_{14}, \text{if}(t_{14} \leq tt \leq t_{15}, M_{15}, \text{if}(t_{15} \leq tt \leq t_{16}, M_{16}, \text{if}(t_{16} \leq tt \leq t_{17}, M_{17}, \text{if}(t_{17} \leq tt \leq t_{18}, M_{18}, \text{if}(t_{18} \leq tt \leq t_{19}, M_{19}, M_{20}))$$

Розрахунок еквівалентного моменту

$$M_{ekv} := \sqrt{\frac{M_{pr1}^2 \cdot (t_{pr1} + t_{pr2} + t_{pr3}) + M_{pr2}^2 \cdot (t_{pr5} + t_{pr6} + t_{pr7}) + M_{vg1}^2 \cdot t_{vg1} + M_{vg2}^2 \cdot t_{vg2} + M_{vg3}^2 \cdot t_{vg3} + M_{vg9}^2 \cdot t_{vg9} + M_{vg11}^2 \cdot t_{vg11} + M_{vg12}^2 \cdot t_{vg12}}{t_{pr1} + t_{pr2} + t_{pr3} + t_{pr4} + t_{pr5} + t_{pr6} + t_{pr7} + t_{pr8} + t_{vg1} + t_{vg2} + t_{vg3} + t_{vg4} + t_{vg5} + t_{vg6} + t_{vg7} + t_{vg8} + t_{vg9} + t_{vg10} + t_{vg11} + t_{vg12}}}$$

$$M_{ekv} = 10.207$$

Час циклу без урахування часу вижиму

$$T_{цпр} := T_u \cdot 60 - (t_{vg1} + t_{vg2} + t_{vg3} + t_{vg4} + t_{vg5} + t_{vg6} + t_{vg7} + t_{vg8} + t_{vg9} + t_{vg10} + t_{vg11} + t_{vg12})$$

$$T_{цпр} = 1481$$

$$T_1 := t_{pr1} + t_{pr2} + t_{pr3} + t_{pr4} + t_{pr5} + t_{pr6} + t_{pr7} + t_{pr8} \quad T_1 = 140$$

Стандартний ряд ПВ, % - 15, 25, 40, 60, 100

Розрахунковий ПВ

$$PВ_{роз} := \frac{100 \cdot T_1}{T_{цпр}} \quad PВ_{роз} = 9.453$$

$$PВ_{станд} := 15$$

4. Вибір двигуна.

Для попереднього розрахунку коефіцієнт запасу слід прийняти 1.2

$$k_3 := 1.2$$

					ЕП.ПД. 00.00.Д.ПЗ	Арк.
						71
Зм.	Дрк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Розрахункова потужність двигуна $P_{раз} := k_3 \cdot \frac{M_{екв} \cdot n_{vg11}}{9550 \cdot \eta}$ $P_{раз} = 0.896$

Потужність двигуна з урахуванням ПВ $P_{станд} := P_{раз} \cdot \sqrt{\frac{ПВ_{роз}}{ПВ_{станд}}}$ $P_{станд} = 0.7116408$

Двигун обрано виходячи із умови $P_{станд} \leq P_{\delta}$

Двигун: 4AM80A4

Потужність, кВт	$P_n := 0.75$	
Напруга живлення якорного кола, В	$U_{\phi} := 220$	
Синхронна частота обертання, хвил ⁻¹	$N_{sn} := 1500$	
Коефіцієнт корисної дії	$\eta := 72$	
Момент інерції якоря, кг м ²	$j := 0.0019$	
Номінальне ковзання	$s_n := 0.1$	
Критичне ковзання	$s_{kr} := 0.4$	
Номінальна частота обертання, хвил ⁻¹	$N_n := N_{sn} \cdot (1 - s_n)$	$N_n = 1350$
Номінальний момент, Нм	$M_n := 9550 \cdot \frac{P_n}{N_n}$	$M_n = 5.306$
Перевантажна здатність $M_n \setminus M_n$	$\kappa := 2.2$	
Критичний й момент, Нм	$M_{kr} := \kappa \cdot M_n$	$M_{kr} = 11.672$

5. Розрахунок навантажувальних діаграм двигуна.

Момент інерції системи - $J_{см2} := j_{см11} + j$ $J_{см2} = 0.4727$

Для розрахунку навантажувальних діаграм слід скористатись вхідною діаграмою механізму. Зрозуміло, що в усталених режимах навантажувальний момент дорівнює моменту статичному. Щодо перехідних режимів, слід задіяти рівняння руху $M_{дин} := \frac{\Delta \omega}{\Delta t}$.

Динамічний Момент режиму прання -

пуску у прямому напрямку

гальмування у прямому напрямку

					ЕП.ПД. 00.00.Д.ПЗ	Арк.
						72
Зм.	Дрк.	№ докум.	Підпис	Дат		

$$M_{Дпр1} := j_{cm2} \cdot \frac{\frac{\pi \cdot n_{pr1}}{30}}{t_{pr1}} \quad M_{Дпр1} = 1.114 \quad M_{Дпр11} := j_{cm2} \cdot \frac{-\frac{\pi \cdot n_{pr1}}{30}}{t_{pr3}} \quad M_{Дпр11} = -1.114$$

Момент двигуна режиму прання +

$$Md_1 := M_{pr1} + M_{Дпр1} \quad Md_1 = 16.924 \quad Md_2 := M_{pr1} \quad Md_2 = 15.81$$

$$Md_3 := M_{pr1} + M_{Дпр11} \quad Md_3 = 14.696 \quad Md_4 := 0$$

пуску у зворотному напрямку

гальмування у зворотному напрямку

$$M_{Дпр21} := j_{cm2} \cdot \frac{\frac{\pi \cdot n_{pr2}}{30}}{t_{pr5}} \quad M_{Дпр21} = -1.114 \quad M_{Дпр22} := -j_{cm2} \cdot \frac{\frac{\pi \cdot n_{pr2}}{30}}{t_{pr7}} \quad M_{Дпр22} = 1.114$$

Момент двигуна режиму прання -

$$Md_5 := M_{pr2} + M_{Дпр21} \quad Md_5 = -16.924 \quad Md_6 := M_{pr2} \quad Md_6 = -15.81$$

$$Md_7 := M_{pr2} + M_{Дпр22} \quad Md_7 = -14.696 \quad Md_8 := 0$$

Динамічний Момент режиму вижиму -

пуск укладка

гальмування укладка

$$M_{Дvg2} := j_{cm2} \cdot \frac{\frac{\pi \cdot n_{vg2}}{30} - \frac{\pi \cdot n_{vg1}}{30}}{t_{vg2}} \quad M_{Дvg2} = 0.495 \quad M_{Дvg3} := j_{cm2} \cdot \frac{\frac{\pi \cdot n_{vg1}}{30} - \frac{\pi \cdot n_{vg2}}{30}}{t_{vg3}} \quad M_{Дvg3} = -0.743$$

Момент двигуна режиму вижиму + укладка

$$Md_9 := M_{vg1} \quad Md_{10} := M_{vg2} + M_{Дvg2} \quad Md_{10} = 19.095 \quad Md_{11} := M_{vg2} + M_{Дvg3} \quad Md_{11} = 17.857$$

$$Md_{12} := M_{vg1} \quad Md_{13} := M_{vg2} + M_{Дvg2} \quad Md_{13} = 19.095 \quad Md_{14} := M_{vg2} + M_{Дvg3} \quad Md_{14} = 17.857$$

$$Md_{15} := M_{vg1} \quad M_{vg1} = 2.79 \quad Md_9 = 2.79$$

режиму пуску попереднього вижиму

$$M_{Дvg8} := j_{cm2} \cdot \frac{\frac{\pi \cdot n_{vg9}}{30} - \frac{\pi \cdot n_{vg1}}{30}}{t_{vg8}} \quad M_{Дvg8} = 6.353 \quad M_{Дvg10} := j_{cm2} \cdot \frac{\frac{\pi \cdot n_{vg11}}{30} - \frac{\pi \cdot n_{vg9}}{30}}{t_{vg10}} \quad M_{Дvg10} = 6.188$$

Момент двигуна режиму вижиму + прискорення, попередній вижим, заключний вижим

$$Md_{16} := M_{vg8} + M_{Дvg8} \quad Md_{16} = 12.863 \quad Md_{17} := M_{vg8} \quad Md_{18} := M_{vg8} + M_{Дvg10} \quad Md_{18} = 12.698$$

$$M_{vg8} = 6.51 \quad Md_{19} := M_{vg8}$$

режиму гальмування кінцевого вижиму

					ЕП.ПД. 00.00.Д.ПЗ	Арк.
						73
Зм.	Дрк.	№ докум.	Підпис	Дат		

$$M_{Двг12} := j_{cm2} \cdot \frac{\pi \cdot n_{vg11}}{30} \cdot \frac{1}{t_{vg12}} \quad M_{Двг12} = -10.725$$

Момент двигуна режиму вижиму +гальмування

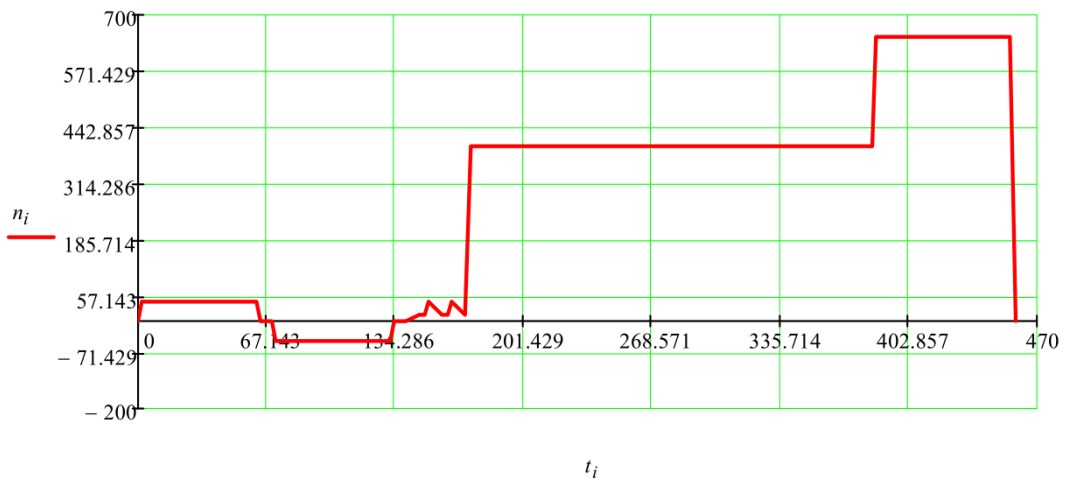
$$Md_{20} := M_{vg8} + M_{Двг12}$$

$$Md_{20} = -4.215$$

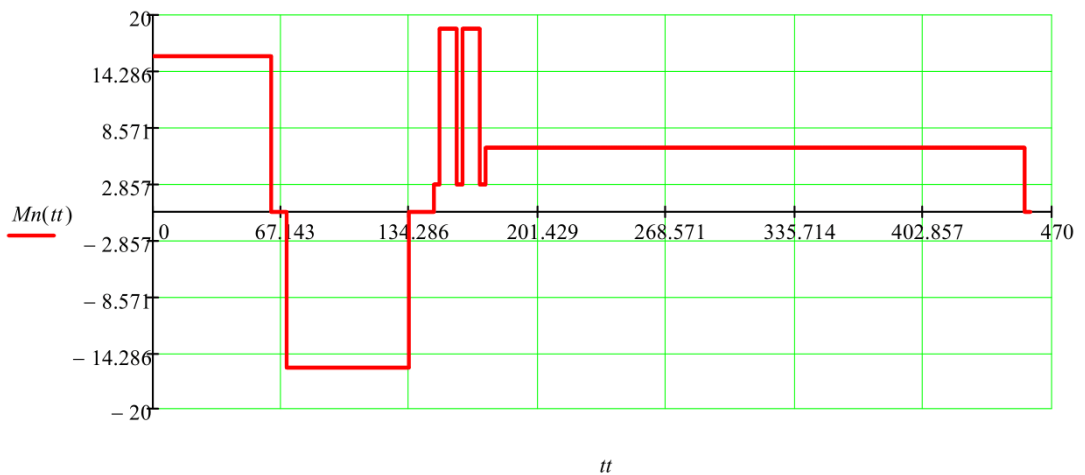
Будувати навантажувальну діаграму двигуна необхідно по блокам, які заліті голубим копіром.

$$M(tt) := \text{if}(tt \leq t_1, Md_1, \text{if}(t_1 \leq tt \leq t_2, Md_2, \text{if}(t_2 \leq tt \leq t_3, Md_3, \text{if}(t_3 \leq tt \leq t_4, Md_4, \text{if}(t_4 \leq tt \leq t_5, Md_5, \text{if}(t_5 \leq tt \leq t_6, \dots$$

Діаграма швидкості

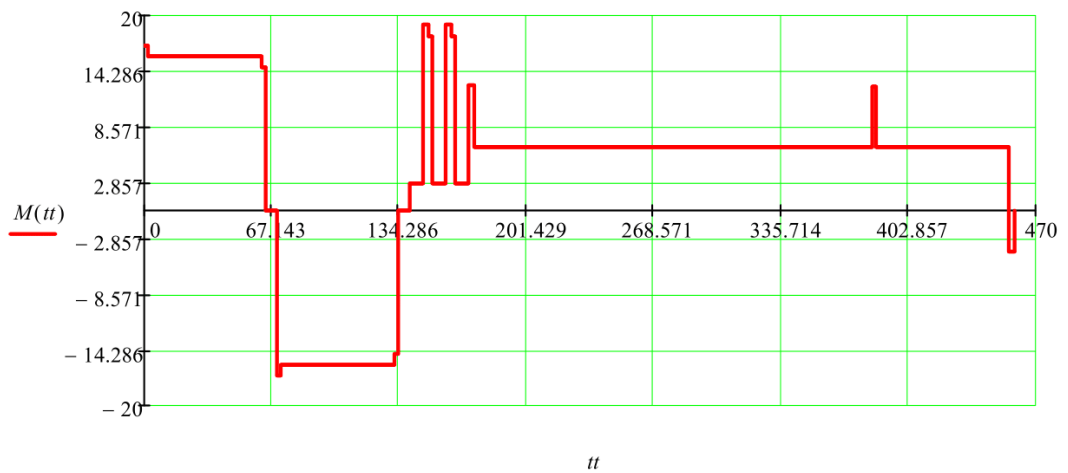


Діаграма моменту навантаження



Діаграма моменту двигуна

					ЕП.ПД. 00.00.Д.ПЗ	Арк.
Зм.	Дрк.	№ докум.	Підпис	Дат		74



$$M_{ekv1} := \sqrt{\frac{(Md_1)^2 \cdot t_{pr1} + (Md_2)^2 \cdot t_{pr2} + (Md_3)^2 \cdot t_{pr3} + (Md_4)^2 \cdot t_{pr4} + (Md_5)^2 \cdot t_{pr5} + (Md_6)^2 \cdot t_{pr6} + (Md_7)^2 \cdot t_{pr7}}{t_{pr1} + t_{pr2} + t_{pr3}}}$$

$$M_{ekv1} = 10.265$$

$$M_n = 5.306$$

Еквівалентний момент менше номінального моменту двигуна, що свідчить про повну відповідність обраного двигуна щодо використання його по теплу.

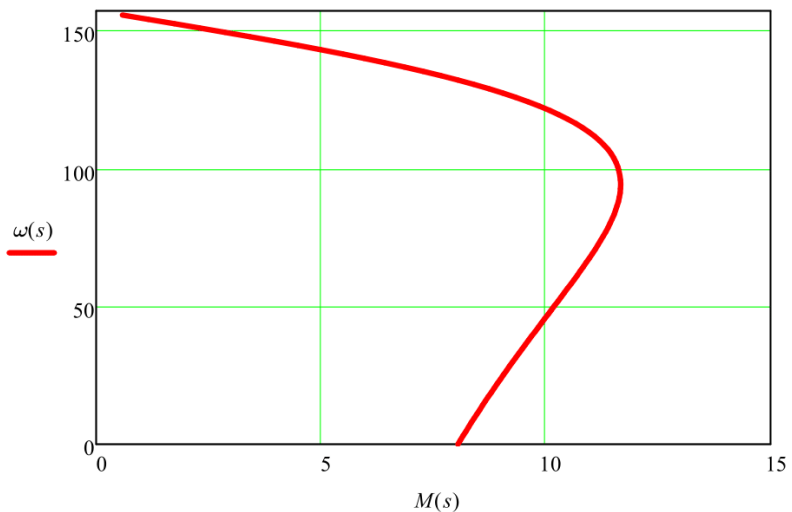
6. Розрахунок параметрів системи підпорядкованого керування двигуном постійного струму

1

$$\omega(s) := \omega_0 \cdot (1 - s)$$

$$\frac{s}{s_{kr}} := 0.01, 0.02 \dots 1 \quad \frac{M(s)}{M_{kr}} := \frac{2 \cdot M_{kr}}{\frac{s}{s_{kr}} + \frac{s_{kr}}{s}} \quad \omega_0 := \frac{\pi \cdot N_{sn}}{30} \quad \omega_0 = 157.08$$

$M(s) =$	$\omega(s) =$
0.583	155.509
1.164	153.938
1.741	152.367
2.311	150.796
2.873	149.226
3.425	147.655
3.964	146.084
4.489	144.513
4.999	142.942
5.493	141.372
5.968	139.801
6.425	138.23
6.862	136.659
7.279	135.088
7.675	133.518
...	...



Зм.	Дрк.	№ докум.	Підпис	Дат
-----	------	----------	--------	-----

ЕП.ПД. 00.00.Д.ПЗ

Арк.

75

$$t := j \cdot \frac{\omega_0}{M_n} \quad K_{zi} := \frac{10}{t} \quad K_{zi} = 177.77 \quad \text{Задавач інтенсивності}$$

$$T_{nc} := 0.005 \quad k_{nc} := \frac{\omega_0 \cdot 1.2}{10} \quad k_{nc} = 18.85 \quad \text{Постійна часу та коефіцієнт підсилення ПЧ}$$

$$\beta := \frac{2 \cdot M_{kr}}{\omega_0 \cdot s_{kr}} \quad \beta = 0.372 \quad \alpha_\mu := 4 \quad \text{Коефіцієнт жорсткості мех. характеристики}$$

$$T_\vartheta := \frac{1}{\omega_0 \cdot s_{kr}} \quad T_\vartheta = 0.016 \quad \text{Електромагнітна постійна часу двигуна, с}$$

$$T_M := 4T_\vartheta \quad T_M = 0.064 \quad \text{Електромеханічна постійна часу двигуна, с}$$

$$k_{oc} := \frac{10}{\omega_0} \quad k_{oc} = 0.064 \quad \text{Коефіцієнт підсилення негативного зворотнього зв'язку швидкості}$$

$$\frac{1}{\beta \cdot T_M} = 42.278 \quad \text{Коефіцієнт підсилення механічної частини двигуна}$$

$$T_\mu := \frac{2T_\vartheta}{1 - \sqrt{1 - 4 \frac{T_\vartheta}{T_M}}} + T_{nc} \quad T_\mu = 0.037 \quad T_{0I} := \frac{2T_\vartheta}{1 + \sqrt{1 - 4 \frac{T_\vartheta}{T_M}}}$$

$$T_{pc} := k_{oc} \cdot k_{nc} \cdot T_\mu \cdot \alpha_\mu \quad T_{pc} = 0.177 \quad \frac{1}{T_{pc}} = 5.656 \quad \text{Коефіцієнт підсилення інтегральної частини регулятора швидкості}$$

$$k_{pc} := \frac{T_{0I}}{T_{pc}} \quad k_{pc} = 0.18 \quad \text{Коефіцієнт підсилення пропорційної частини регулятора швидкості}$$

					ЕП.ПД. 00.00.Д.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		77

					ЕП.ПД. 00.00.Д.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		78