

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 _____ бакалавр _____
(бакалавра, спеціаліста, магістра)

студента _____ **Семенова Володимира Сергійовича**
(ПІБ)

академічної групи _____ **141-16ск-3**
(шифр)

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

спеціалізації¹

за освітньо-професійною програмою Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

на тему: Автоматизований електропривод механізму подачі фрезерного верстата
(назва за наказом ректора)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи	Колб А.А.			
розділів:				
Технологічна частина	Колб А.А.			
Автоматизований електропривод	Колб А.А.			
Дослідження динаміки електропривода	Колб А.А.			
Охорона праці	Лутс І.О			
Техніко-економічне обґрунтування	Дементьєва Н.В			

Рецензент				
------------------	--	--	--	--

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

Дніпро
2019

ЗАТВЕРДЖЕНО:
завідувач кафедри
електропривода
(повна назва)

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

« _____ » _____ 20__ року

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

студенту _____ Семенову В.С. _____ академічної групи 141-16ск-3
(прізвище та ініціали) (шифр)

спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

спеціалізації¹

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

на тему Автоматизований електропривод механізму подачі фрезерного верстата,
затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від _____ № _____

Розділ	Зміст	Термін виконання
1. Технологічна частина 2. Автоматизований електропривод	Характеристика технологічного процесу та опис механізму верстата. Обґрунтування системи електроприводу.	14.01.2019-20.01.2019, 13.05.2019 – 19.05.2019
3. Дослідження динаміки електроприводу	Характеристика статичних режимів роботи електроприводу. Енергетичні характеристики електроприводу.	20.05.2019-02.06.2019
4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Аналіз шкідливих та небезпечних факторів, що впливають на роботу персоналу. Формулювання рекомендацій, що до усунення безпеки.	03.06.2019-09.06.2019
5. Техніко-економічне обґрунтування проекту	Здійснення розрахунку смітної вартості складових системи автоматизованого електроприводу	03.06.2019-09.06.2019

Завдання видано _____
(підпис керівника)

Колб А.А.
(прізвище, ініціали)

Дата видачі 15 жовтня 2018

Дата подання до екзаменаційної комісії _____

Прийнято до виконання _____
(підпис студента)

Семенов В.С.
(прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Проект складається з с. пояснювальної записки, малюнків, таблиць, 4 аркушів креслення.

Об'єкт детальної розробки: електропривод повздовжньої подачі шпинделя.

Мета роботи: розробити автоматизований електропривод, що відповідає технологічним вимогам і технічним завданням.

Вибрані елементи силової частини (двигун ДК 1-5,2, Комплектний електропривод ЕТУ 2-2 П УХЛ4).

Розрахункові параметри однозонної системи регулювання швидкості.

Здійснено розрахунок перехідних процесів у режимах пуск, пуску з навантаженням та реверс з використанням пакета MATLAB.

Розраховані параметри апаратів захисту мереж і узгоджені параметри селективності.

Розраховано освітлення приміщення та проаналізовані небезпечні та шкідливі фактори в цеху.

Також розрахований економічний ефект від впровадження проектованої системи електроприводу і термін її окупності.

ЕЛЕКТРОПРИВОД ПОСТІЙНОГО СТРУМУ, ОДНОЗОННА СИСТЕМА РЕГУЛЮВАННЯ ШВИДКОСТІ, ВИБІР СИЛОВИХ ЕЛЕКТРОУСТАТКУВАННЯ, РОЗРАХУНОК САР, ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ.

					<i>ЄП.ПД.19.23.Р.</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

Вступ

1. Технологічна частина
 - 1.1 Призначення верстата
 - 1.2 Технічна характеристика верстата
 - 1.3 Опис основних вузлів верстата
 - 1.3.1 Станина
 - 1.3.2 Передня стійка
 - 1.3.3 Шпиндельна бабка
 - 1.3.4 Стол
 - 1.4 Привод подачі шпинделя, шпиндельної бабки
 - 1.5 Кінематика нарізання різьблення
 - 1.6 Нарізання різьблення
 - 1.7 Порядок роботи при нарізанні різьблення
 - 1.8 Короткий опис послідовності операцій при роботі на верстаті
 - 1.9 Вихідні дані для проектування
 - 1.10 Варіатор подачі
 - 1.11 Запобіжні пристрої та блокування
2. Автоматизований електропривод
 - 2.1 Попередній вибір двигуна і передатного числа
 - 2.1.1 Двигун подачі
 - 2.2 Розрахунок навантажень приводу подачі фрезерного верстата
 - 2.3 Навантаження приводів подач
 - 2.4 Тривалість пуску та пусковий момент високомоментного двигуна
 - 2.5 Перевірка попередньо обраного двигуна
 - 2.6 Вибір елементів силового ланцюга електроприводу
 - 2.7 Розрахунок параметрів САР
 - 2.7.1 Параметри об'єкту управління
 - 2.7.2 Обмеження зони переривчастих струмів
 - 2.7.3 Згладжування пульсацій випрямленого струму
 - 2.7.4 Обмеження струму через вентилі при короткому замиканні на стороні постійного струму
 - 2.7.5 Обмеження струму при перекиданні інвентора
 - 2.7.6 Параметри САР однозонного електроприводу з високо вимірювальним двигуном
3. Дослідження динаміки електроприводу
 - 3.1 Дослідження динаміки електроприводу на ЄВМ
4. Охорона праці

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<i>ЄП.ПД.19.23.ВС.</i>				

- 4.1 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів на об'єкті
- 4.2 Інженерно-технічні засоби з охорони праці на об'єкті
 - 4.2.1 Обґрунтування класу приміщення по безпеці ураженням електричним струмом
 - 4.2.2 Обґрунтувати режим нейтралі живлених мереж на об'єкті
 - 4.2.3 Заходи щодо електробезпеки
 - 4.2.4 Заходи та способи захисту від вібрація
 - 4.2.5 Методи та способи захисту від шуму
 - 4.2.6 Заходи з охорони праці у спеціальній частині
 - 4.2.7 Заходи щодо пожежної безпеки
 - 4.2.8 Гасіння пожеж у електроустановках
- 4.3 Розрахунок штучного освітлення
- 5. Техніко – економічне обґрунтування проекту
 - 5.1 Вступ
 - 5.2 Капітальні витрати проекту
 - 5.3 Розрахунок експлуатаційних витрат
 - 5.3.1 Розрахунок амортизаційних відрахувань
 - 5.3.2 Визначення річних витрат на експлуатацію та обслуговування
 - 5.3.3 Розрахунок вартості споживчої електроенергії
 - 5.4 Визначення річної ефективності
 - 5.5 Визначення та аналіз показників економічної ефективності проекту
- Висновки
- Список використаної літератури.

					<i>ЄП.ПД.19.23.ВС.</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Технологічна частина

1.1 Призначення верстата

Горизонтально – розточувальні верстати призначені для обробки корпусних деталей. На верстатах можна виробляти свердління, розточування та розгортання отворів, зенкерування отворів, обточування торців, фрезерування площин, пазів, уступів та інше.

Горизонтально – розточувальний верстат 2А622Ф4 – це верстат з числовим програмним управлінням. Система цифрового програмного управління забезпечує автоматичну установку рухомих вузлів станка у задане положення з необхідною точністю послідовності переміщень.

Програмне управління використовується для переміщення наступних вузлів станка: шпindelної бабки (вертикальне переміщення); стола (поперечне переміщення); стола (поздовжнє переміщення); шпинделя (осьове переміщення).

На верстаті можливо проводити по заданій програмі наступні роботи:

- а) свердління, розточку або розгортання 25 отворів по автоматичному циклу;
- б) автоматичне торцове фрезерування площин;
- в) автоматичне отримання різних діаметрів отворів, що розточуються.

1.2 Технічна характеристика верстата

Тип стана	горизонтально – розточний 2А622Ф4
Точність за ГОСТ 8—2 (Н, П, В, А, С)	Н
Робоча поверхність стола, мм	1250x1250
Найбільше переміщення шпинделя, мм	710 710
Частота обертання шпинделя, об/хв.	10-1250
Частота обертання планшайби, об/хв.	10-250
Потужність електродвигуна головного руху, кВт	15
Габарит, маса, кг	6070x3970x3220

1.3 Опис основних вузлів верстата

					<i>ЄП.ПД.19.23.01.</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.3.1 Станина

Станина з чотирма направляючими має замкнутий коробчастий перетин з стінками, посиленою системою поздовжніх та поперечних ребер жорсткості. Три ряду башмаков дозволяють швидко та легко вивіряти напрямні станини з потрібною точністю.

Станина має широкі, плоскі шліфовні напрямні з телескопічним захистом, що забезпечує тривалість зберігання первісної точності.

На торці станини є редуктор – з електродвигуном приводу переміщення шпindelної бабки, шпинделя, радіального супорта та стола поздовжньо.

Розподіл руху проходить за рахунок електромагнітних муфт.

1.3.2 Передня стійка

Передня стійка, що несе шпindelну бабку, міцно закріплена на площині станини та має високу міцність та вібростійкість.

Передні напрямлені стійки – плоскі, шліфовані; бокові напрямлені являють собою загартовані накладні сталеві планки, по яким на роликах кочення переміщується сталеві бабка.

1.3.3 Шпindelна бабка

Шпindelна бабка являє собою вузол, що складається зв'язаних між собою механізмів, змонтованих всередині та зовні корпусу бабки: приводу механізму головного руху, шпindelного пристрою, механізмів переміщення пристроїв шпindelної бабки, разточного шпинделя; хвостової частини, механізмів управління та відліку переміщень разточного шпинделя та радіального сапорту планшайби.

Привод механізму головного руху шпindelної бабки здійснюється від фланцевого одношвидкісного електродвигуна трьохфазного струму за допомогою пружинної муфти змінної жорсткості через проміжний редуктор з двома електромагнітними муфтами, розташованими на боковій стінці корпусу шпindelної бабки.

Шпindelний пристрій складається з разточного та полого фрезерного шпинделів.

Разточний шпindel з азортируванної сталі переміщується усередині термічно обробленої втулки, запресованих у фрезерному шпинделі.

Фрезерний шпindel змонтований у прецизійних циліндричних та конічних роликових підшипників.

					<i>ЄП.ПД.19.23.01.</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.3.4 Стол

Поворотний стол верстату має прокольне та поперечне переміщення центрується в опорі з прецизійним циліндро – роликівим підшипником.

Блокові направляючі нижніх салазок стола являє собою загартовані сталеві планки, по яким на роликах кочення переміщуються верхні салаки стола.

Продольне переміщення стола здійснюється за рахунок електродвигуна постійного струму через редуктор, розташований на правому торці станини. Поперечне переміщення та поворот стола – від електродвигуна постійного струму через редуктор, розташований на задньому торці нижніх салазок. Розподіл руху проходить електромагнітними муфтами. Верстат має пристрій для точної установки стола через 90.

1.4 Привод подачі шпинделя, шпindelної бабки

Осьове переміщення шпинделю, радіальне переміщення сапорту планшайби, вертикальне переміщення шпindelної бабки та продольне переміщення стола здійснюється від загального електродвигуна постійного струму через редуктор який розташований на станині верстату.

Розподіл руху у ланцюзі переміщення шпинделю, шпindelної бабки продольно проводиться за рахунок електромагнітних муфт.

Осьове переміщення разточного шпинделя здійснюється шариковинтової передачі, розташованої у хвостовій частині шпindelної бабки.

Вертикальне переміщення шпindelної бабки здійснюється за рахунок гайки, що обертається, розташованої у редукторі на шпindelної бабки, та нерухомого шарикового винта, що закріплен на стойці.

На верстатах змонтований механізм запобігання падіння шпindelної бабки при обриві тросу противазі.

1.5 Кінематика нарізання різьблення

Верстат дозволяє нарізати метричну та дюймове різьблення.

Нарізка різьблення проводиться висувним шпинделем при його осьовому переміщенню або радіальним супортом планшайби при прокольному переміщенню стола.

Для нарізки різьблення, ланцюг подачі шпинделя з'єднується з приводом руху шпинделя за рахунок гітари з набором змінних зубчастих колес, розташованих на передньому торці шпindelної бабки.

					<i>ЄП.ПД.19.23.01.</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для нарізки лівих різьблень на гітарі встановлюється паразитна шестерня.

Для переміщення супорту планшайби від штурвалу при нарізанні різьблення подачей стола, потрібно ввімкнути рукоятку, що розташована на кришці шпindelної бабки.

1.6 Нарізання різьблення

Нарізання різьблення можливе тільки на верстатах, обладнаних різьблено-нарізним пристроєм.

У паспорті верстату приведені дані по набору змінних зубчатих колес.

Набір змінних зубчатих колес дозволить нарізання правих та лівих метричних та дюймових різьблень у заданих межах.

Нарізка різьблення проводиться прокольним переміщенням шпинделя та прокольним переміщенням шпинделя при русі шпинделя та прокольним переміщенням стола при русі планшайби. Переміщення шпинделя або стола здійснюється механізмом обертання шпинделя за допомогою змінних зубчатих колес, розташованих на передній стінці шпindelної бабки.

1.7 Порядок роботи при нарізанні різьблення

Потрібно встановити змінні колеса. При установці колес відведіть важіль блокувального кінцевого вимикача.

Виберіть на пульті кнопкою вибору органу шпindelю або столу продольно.

Осьове переміщення шпindelю або стола починається при включенні обертання шпинделя, а закінчується кнопкою “Стоп”. Відведення у осьовому напрямленні шпинделя або стола у сходне положення проводиться включенням зворотного обертання шпинделя.

1.8 Короткий опис послідовності операцій при роботі на верстаті

На столі горизонтально – розточного верстату вивіряють таким чином, щоб осі розміщених отворі були паралельні осям шпинделя. Після цього ось шпинделя поєднують з віссю першого розточувального отвору, а у шпindel верстата встановлюють консольну відправку з розточним інструментом та проводять розточку. Для обробки наступного отвору стол переміщують у горизонтальному напрямі, а шпindelну коробку – вертикально на задане межвісьову відстань. Похибка заданих переміщень стола та шпindelної коробки не повинна перевищувати 0,2...0,3 допуску на міжвісьовій відстані.

					<i>ЄП.ПД.19.23.01.</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При відліку переміщень на лінійці станка з ноніусом має похибку 0,3 мм, по лінійці з оптичним пристроєм – 0,1 мм, по індикатору – 0,05 мм.

1.9 Вихідні дані для проектування

Максимальна швидкість швидкого ходу V , м/с	0,06
Максимальна робоча швидкість подачі V_{pmax} , м/с	0,03
Крок винта, t_v , м/с	0,01
Робоче зусилля на винті F , Н	11000
Діаметр фрези D , мм	63
Глибина різання t , мм	8
Подача на зуб фрези S , мм/зуб	0,07
Ширина фрезерування B , мм	40
КПД редуктора	0,94
Умовний діаметр винта d_v , м	0,063
Маса поступально рухомих частин m , кг	200

1.10 Варіатор подачі

Варіатор подачі призначен для вибору величини подачі у мм на оборот шпинделя та змінення величини подачі у процесі різання.

Варіатор подачі представляє собою повзунковий перемикач, призначений для змінення швидкості двигуна подачі.

Варіатор подачі кінематично зв'язан з механізмом перемикання швидкостей. При зміні швидкості шпинделя автоматично змінюється швидкість обертання двигуна подачі, при цьому величина подачі на оборот шпинделя залишається не змінною.

При обертанні важеля варіатору подачі змінюється величина подачі на оборот шпинделя у межах обмежених упорами механізму варіатора подачі.

1.11 Запобіжні пристрої та блокування

Для захисту механізмів верстату від перезавантаження та виключенням поломок від помилкових включень, передбачен ряд запобіжних пристроїв та блокування:

- усі двигуни подач мають максимальний захист (максимальне реле);
- у всіх механізмах подач вбудовані муфти, які прослизують при перенавантаженні;
- переміщення усіх рухомих органів обмежені кінцевими електричними вимикачами;

					<i>ЄП.ПД.19.23.01.</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- одночасне включення двох рухомих органів (шпиндель та стол продольно, верхні сані поперечно та шпиндельна бабка вертикально) можливо тільки при включенні спеціальних кнопок на виборці;
- пуск рухомого органу до повного його віджимання неможливе;
- робоча подача можлива тільки при ввімкненому головному приводі;
- включення установочних переміщень за час подачі приводить до відключення подачі та ввімкнення установочних переміщень;
- при перемиканні швидкості обертання шпинделя запиняється на час перемикання, а потім вмикається у колишній напрямок;
- одночасне включення двох положень на виборці головного пульта неможливо, за виключенням шпинделя та стола – продольно;
- за час переміщення рухомого органу вибір другого органу на виборці головного пульта неможливе;
- при включенні подачі, штурвал на бабке вимикається, за виключення передбаченою конструкцією швидкого відводу та підводу шпинделя при робочій подачі столу “На шпиндель”;
- при знятих змінних колесах, но ввімкненому важелі для нарізання різьблення столом, переміщення шпинделя та радіального супорта неможливо;
- при встановлених змінних колесах для нарізки різьблення, ввімкнення подачі та штурвала неможливо.

					<i>ЄП.ПД.19.23.01.</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. Автоматизований електропривод

2.1 Попередній вибір двигуна і передатного числа

2.1.1 Двигун подачі

Двигун обирається виходячи з заданого зусилля на гвинті в момент різання, а так само максимальної робочої швидкості подачі та швидкості швидкого руху. Передатне відношення редуктора забезпечує відповідність максимальної частоти обертання двигуна і швидкості швидкого руху супорта. Перевіряємо двигун по довго допустимому моменту і перевіряємо умову забезпечення діапазону робочих швидкостей.

$$n_{max} = 1500 \text{ об/хв}$$

$$W_{\alpha i \sigma} = \frac{\pi * n_{max}}{30} = \frac{3.14 * 1500}{30} = 157.08 \text{ р/с} - \text{максимальна швидкість двигуна}$$

Передатне число редуктора для передачі «гвинт-гайка»:

$$i = \frac{W_{\partial max}}{V_{bx}} * \frac{t_v}{2 * \pi} = \frac{157.08 * 0.01}{0.06 * 2 * 3.14} = 4.167 \quad (2.1)$$

$V_{bx} = 0,06 \text{ м/с}$ – максимальна швидкість швидкого руху електроприводу;

$t_v = 0,01 \text{ м}$ – крок гвинт;

Момент двигуна:

$$M_{do} = \frac{1,2 * F_p * t_v}{2 * \pi * i} = \frac{1,2 * 11000 * 0,0}{2 * 3,14 * 4,167} = 5,042 \text{ Н * м} \quad (2.2)$$

$F_p = 11000 \text{ Н}$ – робоче зусилля на гвинті;

$$W_n = \frac{2 * \pi * V_{p max} * i}{t_v} = \frac{2 * 3.14 * 0,03 * 4,167}{0,01} = 78,54 \text{ р/с} \quad (2.3)$$

$V_{p max} = 0,03 \text{ м/с}$ – робоча швидкість подачі;

$$n_n = \frac{W_n * 30}{\pi} = \frac{78,54 * 30}{3,14} = 750 \text{ об/хв}$$

Обираємо двигун:

ДК1-5,2

$$M_{do} = 5,2 \text{ Н * м};$$

$$I_{do} = 6,5 \text{ А};$$

$$U_n = 110 \text{ В};$$

$$n_n = 1000 \text{ об/хв};$$

$$n_{max} = 2000 \text{ об/хв};$$

					<i>ЄП.ПД.19.23.02.</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$M_{max} = 38,2 \text{ Н} * \text{м};$$

$$J_{dv} = 0,0039 \text{ кгм}^2;$$

$$R_a = 2,1 \text{ Ом};$$

$$L_a = 11,2 * 10^{-3} \text{ Гн};$$

2.2 Розрахунок навантажень приводу подачі фрезерного верстата

Швидкість різання для переходу визначається за емпіричною формулою:

$$V = \frac{C_v * D^{qv}}{60 * T^m * t^{xv} * S_z^{yv} * B^{uv} * Z^p} = \frac{64,7 * 63}{60 * 180^{0,2} * 8^{0,1} * 0,07^{0,2} * 40^{0,15} * 14^0} = 0,855 \text{ м/с}, \quad (2.4)$$

Де $T=180$ хв – стійкість фрези;

$$C_v = 64,7;$$

$$qv = 0,25;$$

$$xv = 0,1;$$

$$m = 0,2;$$

$$yv = 0,2;$$

$$uv = 0,15;$$

$$p = 0;$$

$$B = 40;$$

$D = 63$ мм – діаметр фрези;

$t = 8$ мм – глибина різання;

$S_z = 0,07$ мм/об – подача на зуб фрези;

$B=40$ мм – ширина фрези;

Частота обертання фрези:

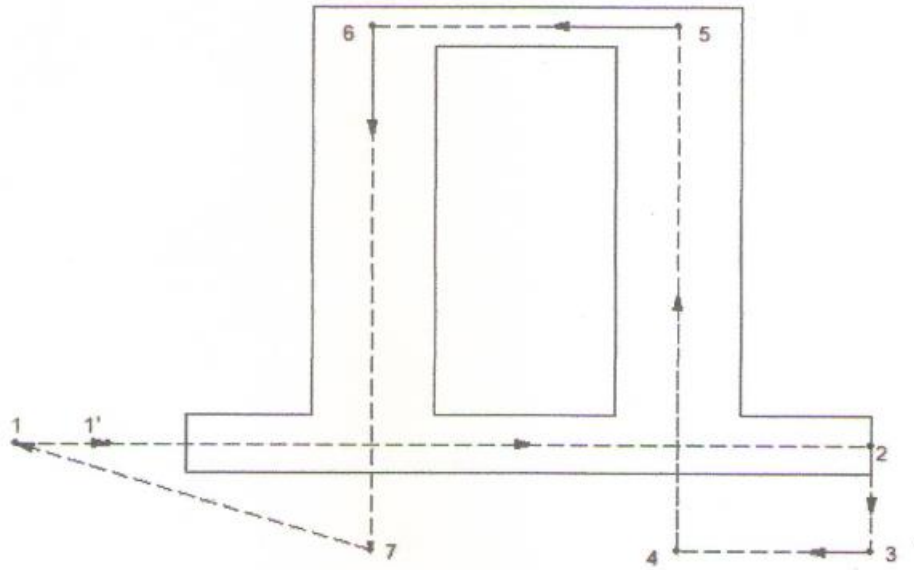
$$W_{\hat{0}} = \frac{2000 * 0,855}{63} = 27,14 \text{ с}^{-1} \quad (2.5)$$

$$n_{\hat{0}} = \frac{W_{\hat{0}} * 30}{3,14} = 259,153 \text{ об/хв}$$

Подача на оберт:

$$s = S_z * Z = 0,07 * 14 = 0,98 \text{ мм/об} \quad (2.6)$$

					<i>ЄП.ПД.19.23.02.</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Мал.2.1 Траєкторія руху фрези

Тривалість переходу:

$$t_i = \frac{2 \cdot \pi \cdot L_i}{s \cdot W_{\hat{o}}}, \quad (2.7)$$

Де L_i – шлях, шлях пройдений центром фрези на поточному переході, мм;

$L_1=L_1=13$ мм; $L_2=79$ мм; $L_3=60$ мм; $L_4=213$ мм; $L_5=170$ мм; $L_6=213$ мм;

$L_7=123$ мм;

$$t_1 = \frac{2 \cdot \pi \cdot L_1}{s \cdot W_{\hat{o}}} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 13}{0,98 \cdot 27,14} = 17,246 \text{ c}^{-1};$$

$$t_2 = \frac{2 \cdot \pi \cdot L_2}{s \cdot W_{\hat{o}}} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 79}{0,98 \cdot 27,14} = 17,246 \text{ c}^{-1};$$

$$t_3 = \frac{2 \cdot \pi \cdot L_3}{s \cdot W_{\hat{o}}} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 60}{0,98 \cdot 27,14} = 14,17 \text{ c}^{-1};$$

$$t_4 = \frac{2 \cdot \pi \cdot L_4}{s \cdot W_{\hat{o}}} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 213}{0,98 \cdot 27,14} = 50,321 \text{ c}^{-1};$$

$$t_5 = \frac{2 \cdot \pi \cdot L_5}{s \cdot W_{\hat{o}}} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 170}{0,98 \cdot 27,14} = 40,162 \text{ c}^{-1};$$

$$t_6 = \frac{2 \cdot \pi \cdot L_6}{s \cdot W_{\hat{o}}} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 213}{0,98 \cdot 27,14} = 50,321 \text{ c}^{-1};$$

Трангенціальна складова зусилля різання:

$$F_Z = \frac{10 \cdot C_F \cdot t^{X_F} \cdot S_Z^{Y_F} \cdot B^n \cdot Z}{D^{q_F} \cdot n_{\hat{o}}} \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad (2.8)$$

$$F_Z = \frac{10 \cdot 82,5 \cdot 8^{0,95} \cdot 0,07^{0,8} \cdot 40^1 \cdot 14}{63^{1,1} \cdot 25920^0} = 4,163 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

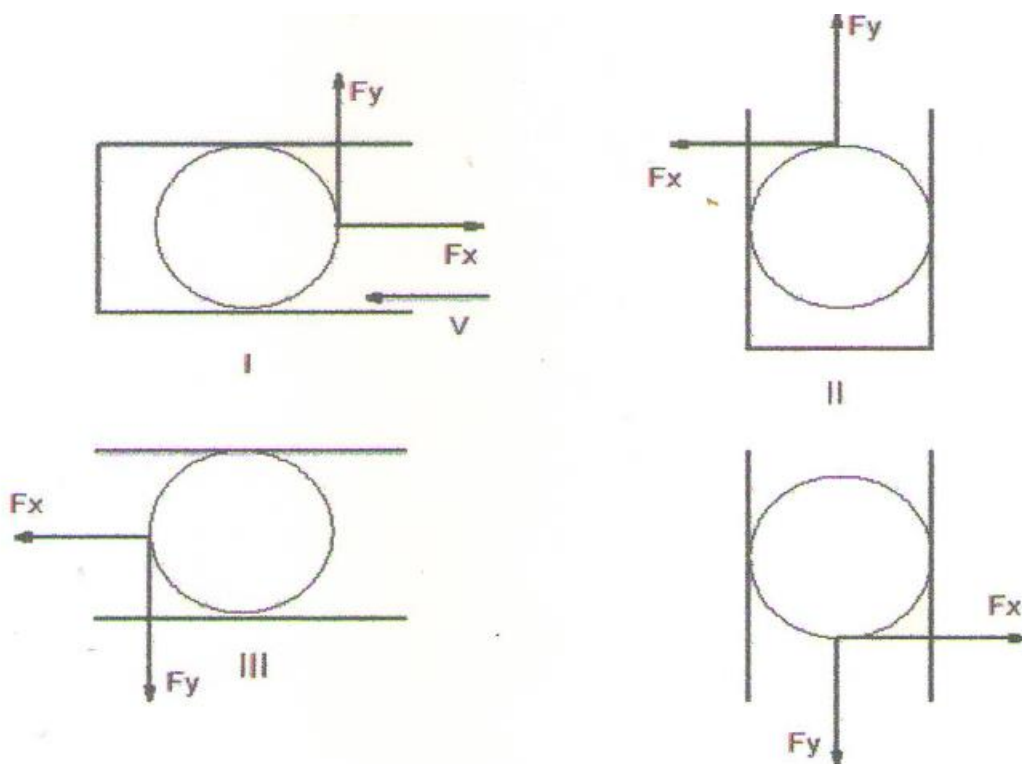
де емпіричні коефіцієнти для обробки конструкційних сталей дорівнюють:

					ЄП.ПД.19.23.02.	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$C_F = 82,5; X_F = 0,95; Y_F = 0,8; n = 1; q_F = 1,1; W = 0;$$

Так як в процесі фрезерування напрям обертання фрези лишається постійним, то за схемою обробки, зображеної на малюнку.2.2, на різних переходах характер фрезерування буде різним:

$$\begin{aligned} \text{I: } F_{x1} &= 0,4 * F_z & F_{x1} &= 1,66 * 10^3 \text{ H}; \\ F_{y1} &= 0,85 * F_z & F_{y1} &= 3,538 * 10^3 \text{ H}; \\ \text{II: } F_{x2} &= -0,85 * F_z & F_{x2} &= -3,358 * 10^3 \text{ H}; \\ F_{y2} &= 0,4 * F_z & F_{y2} &= 1,66 * 10^3 \text{ H}; \\ \text{III: } F_{x3} &= -0,4 * F_z & F_{x3} &= -1,66 * 10^3 \text{ H}; \\ F_{y3} &= -0,85 * F_z & F_{y3} &= -3,358 * 10^3 \text{ H}; \\ \text{IV: } F_{x4} &= 0,85 * F_z & F_{x4} &= 3,358 * 10^3 \text{ H}; \\ F_{y4} &= -0,4 * F_z & F_{y4} &= -1,66 * 10^3 \text{ H} \end{aligned}$$



Мал.2.2 Схема обробки на різних переходах

2.3 Навантаження приводів подач

Двигуни робочих подач працюють в трьох істотно різних режимах: швидкий хід (контакт інструменту з деталлю відсутній, двигун навантажений моментом тертя в передачі); точіння або робочий хід (двигун навантажений моментами від сил гуми і тертя); пуск і гальмування (момент двигуна

					ЄП.ПД.19.23.02.	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

визначається рівнем обмеження струму).

Під час швидкого ходу статичне навантаження визначається силами тертя:

$$M_{\text{шх}} = M_{\text{тр}} = M_{\text{трн}} + M_{\text{п}} + M_{\text{г}}, \quad (2.9)$$

Де $M_{\text{тр}}$, $M_{\text{п}}$, $M_{\text{г}}$ –моменти від сил тертя в направляючих опорах, від попереднього натягу в упорних підшипниках гвинту, від натягу гвинтової передачі.

Момент від сил тертя в направляючих опорах:

$$M_{\text{тер}} = \frac{F_{\text{тер}} * t_v}{2\pi * i * n * n_p} = \frac{9,81 * 0,01}{2 * 3,14 * 4,167 * 0,94 * 0,9} = 4,429 * 10^{-3} \text{ Н * м}; \quad (2.10)$$

$F_{\text{тер}} = \rho g m = 0,005 * 200 * 9,81 \text{ Н}$ –сила тертя в направляючих опорах;

$n_p = 0,94$ – КПД редуктора;

$n = 0,9$ –КПД гвинтової передачі;

$m = 200 \text{ кг}$ –маса поступально рухомих частин;

$\rho = 0,005$ –коефіцієнт тертя в направляючих опорах;

Момент попереднього натягу в опорних підшипниках гвинта:

$$M_{\text{п}} = n_{\text{п}} F_{\text{н}} f_{\text{п}} r / i n_p, \quad (2.11)$$

Де $n_p = 2$ –кількість підшипників;

$f_n = 0,005$ –коефіцієнт тертя;

r –радіус цапфи під підшипником;

$r = d_v / 2 = 0,063 / 2 = 0,032 \text{ м};$

$d_v = 0,063 \text{ м}$ –умовний діаметр гвинта;

$F_{\text{н}}$ –зусилля подачі на поточному переході;

$$F_{\text{н1}} = \frac{(F_{y1} + F_{\text{тер}})}{3} = \frac{(3,538 * 10^3 + 9,81)}{3} = 1,183 * 10^3 \text{ Н};$$

$$F_{\text{н2}} = \frac{(F_{y1} + F_{\text{тер}})}{3} = \frac{(1,66 * 10^3 + 9,81)}{3} = 558,3 * 10^3 \text{ Н};$$

$$F_{\text{н3}} = \frac{(F_{y1} + F_{\text{тер}})}{3} = \frac{(-3,538 * 10^3 + 9,81)}{3} = -1,176 * 10^3 \text{ Н};$$

$$M_{\text{н1}} = \frac{n_n * F_{\text{н1}} * f_n * r}{i * n_p} = \frac{2 * 1,183 * 10^3 * 0,005 * 0,032}{4,167 * 0,94} = 0,092 \text{ Н * м};$$

$$M_{\text{н2}} = \frac{n_n * F_{\text{н2}} * f_n * r}{i * n_p} = \frac{2 * 558,3 * 0,005 * 0,032}{4,167 * 0,94} = 0,045 \text{ Н * м};$$

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ЄП.ПД.19.23.02.				

$$M_{n3} = \frac{n_n * F_{n3} * f_n * r}{i * n_p} = \frac{2 * (-1,176 * 10^3) * 0,005 * 0,032}{4,167 * 0,94} = -0,095 \text{ Н * м};$$

$$M_{n4} = \frac{n_n * F_{n4} * f_n * r}{i * n_p} = \frac{2 * (-551,76) * 0,005 * 0,032}{4,167 * 0,94} = -0,044 \text{ Н * м};$$

Момент від натягу гвинтової передачі:

$$M_v = \frac{M_{xx}}{i * n_p} = \frac{1,8}{4,167 * 0,94} = 0,46 \text{ Н * м}; \quad (2.12)$$

Де $M_{xx} = 1,8 \text{ Н}$ – момент холостого руху гвинта;

Момент різання на швидкому русі равен:

- На першій ділянці:

$$M_{шх1} = M_{тр1} = M_{тр} + M_{n1} + M_r = 4,429 * 10^{-3} + 0,092 + 0,46 = 0,559 \text{ Н * м};$$

- На другій ділянці:

$$M_{шх2} = M_{тр2} = M_{тр} + M_{n2} + M_r = 4,429 * 10^{-3} + 0,045 + 0,46 = 0,509 \text{ Н * м};$$

- На третій ділянці:

$$M_{шх3} = M_{тр3} = M_{тр} + M_{n3} + M_r = 4,429 * 10^{-3} + 0,095 + 0,46 = 0,369 \text{ Н * м};$$

- На четвертій ділянці

$$M_{шх4} = M_{тр4} = M_{тр} + M_{n4} + M_r = 4,429 * 10^{-3} - 0,044 + 0,46 = 0,42 \text{ Н * м};$$

Під час працюючого руху статистичний момент рівняється:

$$M_{рх1} = M_{тр1} + M_{р1} = 0,559 + 1,598 = 2,157 \text{ Н * м};$$

$$M_{рх2} = M_{тр2} + M_{р2} = 0,509 + 0,752 = 1,261 \text{ Н * м};$$

$$M_{рх3} = M_{тр3} + M_{р3} = 0,369 + 1,598 = -1,228 \text{ Н * м};$$

$$M_{рх4} = M_{тр4} + M_{р4} = 0,42 - 0,752 = -0,332 \text{ Н * м};$$

Де момент від лис різання до відносної координати:

$$M_{р1} = \frac{F_{y1} * t_v}{2\pi * i * n * n_p} = \frac{3,535 * 10^3 * 0,01}{2 * 3,14 * 4,167 * 0,9 * 0,94} = 1,598 \text{ Н * м};$$

$$M_{р2} = \frac{F_{y2} * t_v}{2\pi * i * n * n_p} = \frac{1,66 * 10^3 * 0,01}{2 * 3,14 * 4,167 * 0,9 * 0,94} = 0,752 \text{ Н * м};$$

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ЄП.ПД.19.23.02.				

$$M_{p3} = \frac{F_{y3} * t_v}{2\pi * i * n * n_p} = \frac{-3,538 * 10^3 * 0,01}{2 * 3,14 * 4,167 * 0,9 * 0,94} = -1,598 \text{ Н * м};$$

$$M_{p4} = \frac{F_{y4} * t_v}{2\pi * i * n * n_p} = \frac{-1,66 * 10^3 * 0,01}{2 * 3,14 * 4,167 * 0,9 * 0,94} = -0,752 \text{ Н * м};$$

Момент інерції електроприводу, приведений до валу двигуна:

$$J_v = \frac{\pi D_v^4 L_v \gamma}{32} = \frac{3,14 * 0,063^4 * 0,5 * 7,8 * 10^3}{32} = 6,032 * 10^{-3} \text{ кгм}^2, \quad (2.13)$$

Де D_v, L_v – діаметр та довжина гвинту, м;

$\gamma = 7,8 * 10^3 \text{ кг/м}^3$ - удільна вага обробляючого матеріалу (сталі);

Момент інерції електроприводу приведений до валу двигуна:

$$J = 1,2 J_{дв} + \frac{J_v}{i^2} + \frac{m t_v^2}{4\pi^2 i^2}, \quad (2.14)$$

$$J = 1,2 * 0,0039 + \frac{6,032 * 10^{-3}}{4,167^2} + \frac{200 * 0,01^2}{4 * 3,14^2 * 4,167^2} = 0,005, \text{ кгм}^2$$

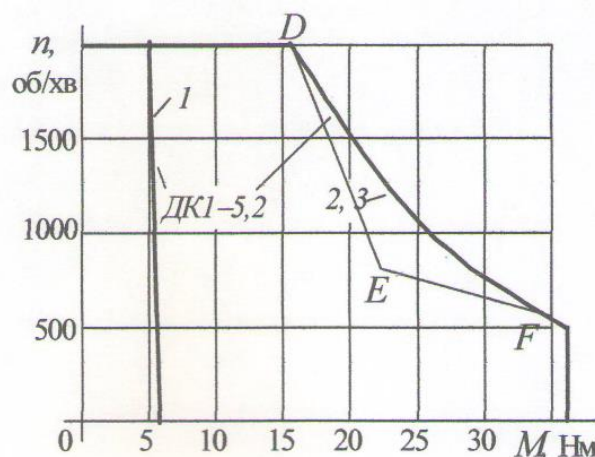
Де $J_{дв} = 0,0039 \text{ кгм}^2$ – момент інерції двигуна;

$M=200\text{кг}$ - маса поступально рушійних частин ;

$t_v = 0,01 \text{ м}$ – шрок гвинта;

2.4 Тривалість пуску та пусковий момент високомоментного двигуна

Перенавантажена можливість високомоментного двигуна залежить від швидкості. Зокрема, під час пуску та гальмування динамічна механічна характеристика не повинна виходити за межі області, обмеженої максимальним моментом M_{max} та комутаційної кривої. Для обмеження навантаження в динамічних режимах в САР швидкості вводять вузол залежного обмеження струму, котрий обмежує завдання та струм, апроксимуючи криву з ламаної FED (мал. 2.3).



Мал.2.3 До визначенню тривалості пуску ВМД

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ЄП.ПД.19.23.02.				

$$n_1 = 500 \text{ об/хв}; \quad M_c = 22H *M;$$

$$n_c = 750 \text{ об/хв}; \quad M_d = 16H *M;$$

$$n_a = 0 \text{ об/хв}; \quad M_h = 5H *M;$$

$$W_f = \frac{\pi * n_f}{30} = \frac{3,14 * 500}{30} = 52,36 \text{ рад/с};$$

$$W_e = \frac{\pi * n_e}{30} = \frac{3,14 * 750}{30} = 78,54 \text{ рад/с};$$

$$W_{bx} = \frac{2 * \pi * i * V_{bx}}{t_v} = \frac{2 * 3,14 * 4,167 * 0,06}{0,01} = 157,08 \text{ рад/с};$$

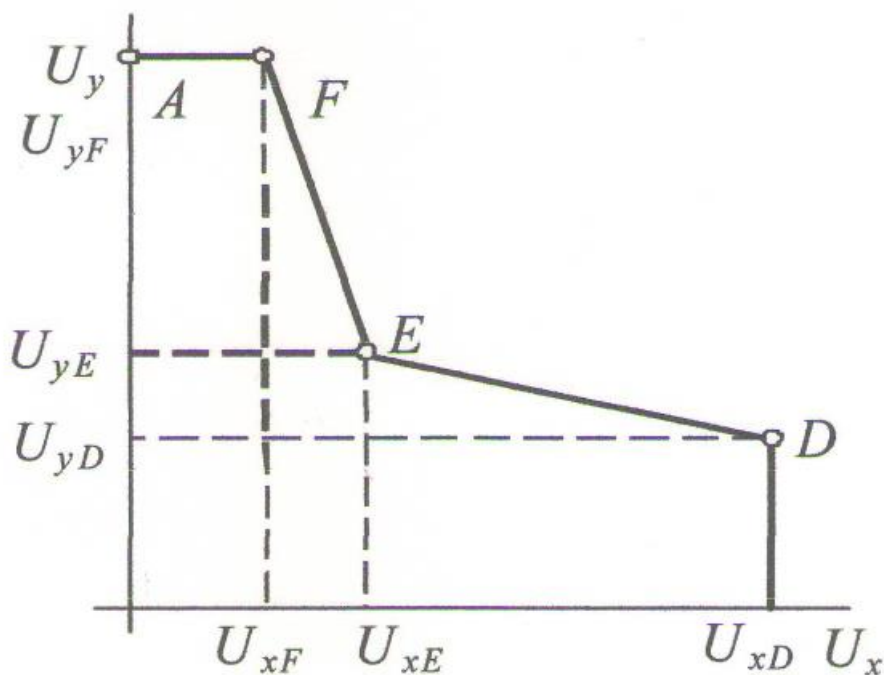
$$n_{bx} = \frac{30 * W_{bx}}{\pi} = \frac{30 * 157,08}{3,14} = 1,5 * 10^3 \text{ об/хв};$$

$$M_{c1} = M_{шх1} = 0,559;$$

$$M_{c2} = M_{шх2} = 0,509;$$

$$M_{c3} = M_{шх3} = 0,369;$$

$$M_{c4} = M_{шх4} = 0,42;$$



Мал.2.4 До розрахунку вузла залежного обмеження струму

Тривалість розгону на ділянки різання (AF,FE,ED)

$$\begin{cases} t_{AF} = J \frac{\omega_F - \omega_A}{M_{max} \mp M_c} \\ t_{FE} = T_{FE} \ln \frac{M_E \mp M_c}{M_D \pm M_c} \\ t_{ED} = T_{ED} \ln \frac{M_E \pm M_c}{M_D \pm M_c} \end{cases} \quad (2.15)$$

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЄП.ПД.19.23.02.

Арк.

$$\text{Де } T_{ED} = J \left| \frac{d\omega_D}{dM} \right| = J \left| \frac{\omega_E - \omega_F}{M_{max} - M_E} \right| \quad (2.16)$$

$$T_{ED} = J \left| \frac{\omega_{Dmax} - \omega_E}{M_E - M_D} \right| \quad (2.17)$$

$$T_{fe} = J \left| \frac{d\omega_a}{dM} \right| = J \left| \frac{W_e - W_f}{M_{max} - M_e} \right| = 0,005 * \left| \frac{78,54 - 52,36}{38,2 - 22} \right| = 8,172 * 10^{-3} c;$$

$$T_{ed} = J \left| \frac{\omega_a max - \omega_e}{M_e - M_d} \right| = 0,005 * \left| \frac{157,08 - 78,54}{22 - 16} \right| = 0,066 c;$$

$$t_{af11} = J * \frac{(W_f - W_a)}{M_{max} - M_{c1}} = 0,005 * \frac{(52,36 - 0)}{38,2 - 0,559} = 7,034 * 10^{-3} c;$$

$$t_{fe11} = T_{fe} * \ln \left(\frac{M_{max} - M_{c1}}{M_e - M_{c1}} \right) = 8,172 * 10^{-3} * \ln \left(\frac{38,2 - 0,559}{22 - 0,5559} \right) = 4,559 * 10^{-3} c;$$

$$t_{ed11} = T_{ed} * \ln \left(\frac{M_e - M_{c1}}{M_d - M_{c1}} \right) = 0,066 * \ln \left(\frac{22 - 0,559}{16 - 0,5559} \right) = 7,025 * 10^{-3} c;$$

- $t_{af12} = J * \frac{(W_f - W_a)}{M_{max} - M_{c2}} = 0,005 * \frac{(52,36 - 0)}{38,2 - 0,509} = 7,025 * 10^{-3} c;$

$$t_{fe12} = T_{fe} * \ln \left(\frac{M_{max} - M_{c2}}{M_e - M_{c2}} \right) = 8,172 * 10^{-3} * \ln \left(\frac{38,2 - 0,509}{22 - 0,509} \right) = 4,59 * 10^{-3} c;$$

$$t_{ed12} = T_{ed} * \ln \left(\frac{M_e - M_{c2}}{M_d - M_{c2}} \right) = 0,066 * \ln \left(\frac{22 - 0,509}{16 - 0,509} \right) = 0,022 c;$$

- $t_{af13} = J * \frac{(W_f - W_a)}{M_{max} - M_{c3}} = 0,005 * \frac{(52,36 - 0)}{38,2 - 0,369} = 6,99 * 10^{-3} c;$

$$t_{fe13} = T_{fe} * \ln \left(\frac{M_{max} - M_{c3}}{M_e - M_{c3}} \right) = 8,172 * 10^{-3} * \ln \left(\frac{38,2 - 0,369}{22 - 0,369} \right) = 4,59 * 10^{-3} c ;$$

$$t_{ed13} = T_{ed} * \ln \left(\frac{M_e - M_{c3}}{M_d - M_{c3}} \right) = 0,066 * \ln \left(\frac{22 - 0,369}{16 - 0,369} \right) = 0,022 c ;$$

- $t_{af14} = J * \frac{(W_f - W_a)}{M_{max} - M_{c4}} = 0,005 * \frac{(52,36 - 0)}{38,2 - 0,42} = 7,008 * 10^{-3} c$

$$t_{fe14} = T_{fe} * \ln \left(\frac{M_{max} - M_{c4}}{M_e - M_{c4}} \right) = 8,172 * 10^{-3} * \ln \left(\frac{38,2 - 0,42}{22 - 0,42} \right) = 4,576 * 10^{-3} c$$

$$t_{ed14} = T_{ed} * \ln \left(\frac{M_e - M_{c4}}{M_d - M_{c4}} \right) = 0,066 * \ln \left(\frac{22 - 0,42}{16 - 0,42} \right) = 0,022 c;$$

Загальна тривалість пуску гальмування при швидкому русі:

$$t_p = t_{AF} + t_{FE} + t_{ED} \quad (2.18)$$

Загальна тривалість пуску при швидкому русі:

					ЄП.ПД.19.23.02.	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\begin{aligned}
t_{p1} &= t_{af11} + t_{fe11} + t_{ed11} + (t_{af12} + t_{fe12} + t_{ed11}) + (t_{af13} + t_{fe13} + t_{ed13}) \\
&\quad + (t_{af14} + t_{fe14} + t_{ed14}) \\
&= 7,034 * 10^{-3} + 4,599 * 10^{-3} + 0,022 + 7,05 * 10^{-3} + 4,59 * 10^{-3} \\
&\quad + 0,022 + 6,99 * 10^{-3} + 4,56 * 10^{-3} + 0,022 + 7,004 * 10^{-3} + 4,576 \\
&\quad * 10^{-3} + 0,022 = 0,1
\end{aligned}$$

Тривалість гальмування на ділянках різання (AF,FE,ED):

- $t_{a21} = J * \frac{(W_f - W_a)}{M_{max} + M_{c1}} = 0,005 * \frac{(52,36 - 0)}{38,2 + 0,559} = 6,83 * 10^{-3} c;$
- $t_{fe21} = T_{fe} * \ln\left(\frac{M_{max} + M_{c1}}{M_e + M_{c1}}\right) = 8,172 * 10^{-3} * \ln\left(\frac{38,2 * 0,559}{22 + 0,559}\right) = 4,43 * 10^{-3} c;$
- $t_{ed21} = T_{ed} * \ln\left(\frac{M_e + M_{c1}}{M_d + M_{c1}}\right) = 0,066 * \ln\left(\frac{22 + 0,559}{16 + 0,559}\right) = 4,43 * 10^{-3} c;$
- $t_{af22} = J * \frac{(W_f - W_a)}{M_{max} + M_{c2}} = 0,005 * \frac{(52,36 - 0)}{38,2 + 0,509} = 6,84 * 10^{-3} c;$
- $t_{fe22} = T_{fe} * \ln\left(\frac{M_{max} + M_{c2}}{M_e + M_{c2}}\right) = 8,172 * 10^{-3} * \ln\left(\frac{38,2 * 0,509}{22 + 0,509}\right) = 4,43 * 10^{-3} c$
- $t_{ed22} = T_{ed} * \ln\left(\frac{M_e + M_{c2}}{M_d + M_{c2}}\right) = 0,066 * \ln\left(\frac{22 + 0,509}{16 + 0,509}\right) = 4,43 * 10^{-3} c$
- $t_{af23} = J * \frac{(W_f - W_a)}{M_{max} + M_{c3}} = 0,005 * \frac{(52,36 - 0)}{38,2 + 0,369} = 4,45 * 10^{-3} c;$
- $t_{fe23} = T_{fe} * \ln\left(\frac{M_{max} + M_{c3}}{M_e + M_{c3}}\right) = 0,066 * 10^{-3} * \ln\left(\frac{38,2 * 0,369}{22 + 0,369}\right) = 4,45 * 10^{-3} c$
- $t_{ed23} = T_{ed} * \ln\left(\frac{M_e + M_{c3}}{M_d + M_{c3}}\right) = 0,066 * \ln\left(\frac{22 + 0,369}{16 + 0,369}\right) = 0,021 c$
- $t_{af24} = J * \frac{(W_f - W_a)}{M_{max} + M_{c4}} = 0,005 * \frac{(52,36 - 0)}{38,2 + 0,42} = 6,85 * 10^{-3} c;$
- $t_{fe24} = T_{fe} * \ln\left(\frac{M_{max} + M_{c4}}{M_e + M_{c4}}\right) = 8,172 * 10^{-3} * \ln\left(\frac{38,2 * 0,42}{22 + 0,42}\right) = 4,44 * 10^{-3} c$
- $t_{ed24} = T_{ed} * \ln\left(\frac{M_e + M_{c4}}{M_d + M_{c4}}\right) = 0,066 * \ln\left(\frac{22 + 0,42}{16 + 0,42}\right) = 0,021 c$

Сумарна тривалість гальмування при швидкому русі:

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ЄП.ПД.19.23.02.				

$$\begin{aligned}
 t_{p2} &= t_{af21} + t_{fe21} + t_{ed21} + (t_{af22} + t_{fe22} + t_{ed22}) \\
 &\quad + (t_{af23} + t_{fe23} + t_{ed23}) + (t_{af24} + t_{fe24} + t_{ed24}) \\
 &= 6,83 * 10^{-3} + 4,43 * 10^{-3} + 0,02 + 6,84 * 10^{-3} + 4,43 \\
 &\quad * 10^{-3} + 0,021 + 6,86 * 10^{-3} + 4,45 * 10^{-3} + 0,021 + 6,85 \\
 &\quad * 10^{-3} + 0,021 = 0,127
 \end{aligned}$$

Момент при лінійної залежності від швидкості, є експоненційною функцією часу. Для спрощення розрахунків замінимо експоненти прямими. При цьому під час розгону дійсний момент буде менше розрахункового, а при гальмуванні - навпаки. Тоді еквівалентні моменти на окремих ділянках будуть:

$$\begin{cases} M_{AF} = M_{max} \\ M_{FE} = \sqrt{(M_{max}^2 + M_E^2 - M_{max}M_E)/3} \\ M_{ED} = \sqrt{(M_E^2 + M_D^2 - M_D M_E)/3} \end{cases} \quad (2.19)$$

$$M_{af} = M_{max} = 38,2H;$$

$$M_{af} = \sqrt{\frac{(M_{max}^2 + M_e^2 - M_{max}M_e)}{3}} = \sqrt{\frac{(38,2^2 + 22^2 - 38,2 * 22)}{3}} = 19,173 H * м;$$

$$M_{ed} = \sqrt{\frac{(M_e^2 + M_d^2 - M_e M_d)}{3}} = \sqrt{\frac{(22^2 + 16^2 - 22 * 16)}{3}} = 11,372 H * м;$$

Еквівалентний момент за час пуску:

$$\begin{aligned}
 &M_{ed} \\
 &= \sqrt{\frac{M_{af}^2 * (t_{af11} + t_{af12} + t_{af13} + t_{af14}) + M_{fe}^2 * (t_{fe11} + t_{fe12} + t_{fe13} + t_{fe14}) + M_{ed}^2 * (t_{ed11} + t_{ed12} + t_{ed13} + t_{ed14})}{3}} \\
 &= 4,43 H * м;
 \end{aligned}$$

Еквівалентний момент за час гальмування:

$$\begin{aligned}
 &M_{ne2} \\
 &= \sqrt{\frac{M_{af}^2 * (t_{af21} + t_{af22} + t_{af23} + t_{af24}) + M_{fe}^2 * (t_{fe21} + t_{fe22} + t_{fe23} + t_{fe24}) + M_{ed}^2 * (t_{ed21} + t_{ed22} + t_{ed23} + t_{ed24})}{3}} \\
 &= 4,46
 \end{aligned}$$

$$M_{ne} = M_{ne1} + M_{ne2} = 4,43 + 4,36 = 8,79 H * м; \quad (2.20)$$

Тривалість розгону та гальмування на ділянках різання:

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ЄП.ПД.19.23.02.				

$$t_{ppi} = \frac{2\pi i j v_{ni}}{(M_{max} - M_{px})t_r} \quad (2.21)$$

$$t_{rpi} = \frac{2\pi i j v_{ni}}{(M_{max} - M_{px})t_r} \quad (2.22)$$

$$n_{ш} = 500 \text{ об/ХВ};$$

$$W_{ш} = \frac{\pi * n_{ш}}{30} = 52,36 \text{ с}^{-1};$$

$$V_n = \frac{s * W_{ш}}{2000 * \pi} = \frac{0,98 * 52,36}{2000 * 3,14} = 8,167 * 10^{-3} \text{ м/с} \quad (2.23)$$

V_n – швидкість подачі при переході;

$$t_{pp1} = \frac{2\pi i j v_n}{(M_{max} - M_{px1})t_v} = \frac{2 * 3,14 * 4,167 * 8,167 * 10^{-3}}{(38,2 - 2,157) * 0,01} = 2,99 * 10^{-3} \text{ с};$$

$$t_{rp1} = \frac{2\pi i j v_n}{(M_{max} - M_{px1})t_r} = \frac{2 * 3,14 * 4,167 * 4,083 * 10^{-3}}{(38,2 - 2,157) * 0,01} = 2,679 * 10^{-3} \text{ с};$$

$$t_{pp2} = \frac{2\pi i j v_n}{(M_{max} - M_{px2})t_v} = \frac{2 * 3,14 * 4,167 * 4,083 * 10^{-3}}{(38,2 - 1,261) * 0,01} = 2,92 * 10^{-3} \text{ с};$$

$$t_{rp2} = \frac{2\pi i j v_n}{(M_{max} - M_{px2})t_r} = \frac{2 * 3,14 * 4,167 * 4,083 * 10^{-3}}{(38,2 - 1,261) * 0,01} = 2,74 * 10^{-3} \text{ с};$$

$$t_{pp3} = \frac{2\pi i j v_n}{(M_{max} - M_{px3})t_v} = \frac{2 * 3,14 * 4,167 * 4,083 * 10^{-3}}{(38,2 - 1,228) * 0,01} = 2,74 * 10^{-3} \text{ с};$$

$$t_{rp3} = \frac{2\pi i j v_n}{(M_{max} - M_{px2})t_r} = \frac{2 * 3,14 * 4,167 * 4,083 * 10^{-3}}{(38,2 - 1,228) * 0,01} = 2,92 * 10^{-3} \text{ с};$$

$$t_{pp4} = \frac{2\pi i j v_n}{(M_{max} - M_{px4})t_v} = \frac{2 * 3,14 * 4,167 * 4,083 * 10^{-3}}{(38,2 - 0,332) * 0,01} = 2,99 * 10^{-3} \text{ с};$$

$$t_{rp4} = \frac{2\pi i j v_n}{(M_{max} - M_{px4})t_r} = \frac{2 * 3,14 * 4,167 * 4,083 * 10^{-3}}{(38,2 - 0,332) * 0,01} = 2,855 * 10^{-3} \text{ с};$$

$$t_{pp} = t_{pp1} + t_{pp2} + t_{pp3} + t_{pp4} = (2,99 + 2,92 + 2,74 + 2,8) * 10^{-3} = 0,011 \text{ с};$$

$$t_{rp} = t_{rp1} + t_{rp2} + t_{rp3} + t_{rp4} = (2,679 + 2,74 + 2,92 + 2,855) * 10^{-3} = 0,011 \text{ с};$$

Необхідні для будування діаграми навантажень тривалості періодів швидкого руху:

$$t_{1r} = \frac{L_{11}}{V_{bx}} = \frac{0,063}{0,06} = 1,05 \text{ с};$$

$V_{bx} = 0,06 \text{ м/с}$ - швидкість швидкого руху;

$L_{11} = 0,063 \text{ м}$ – відстань між точками 1 та 1;

$L_{71} = 0,123 \text{ м}$ – відстань між точками 1 та 7;

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ЄП.ПД.19.23.02.				

Тривалість кожного з переходів швидкого руху:

$$L_1 = 0,313 \text{ м}; L_2 = 0,073 \text{ м}; L_3 = 0,06 \text{ м}; L_4 = 0,213 \text{ м}; L_5 = 0,17 \text{ м}; L_6 = 0,213 \text{ м}; L_7 = 0,123 \text{ м}.$$

$$t_{bx1} = \frac{L_1}{V_{bx}} = \frac{0,313}{0,06} = 5,217 \text{ с};$$

$$t_{bx2} = \frac{L_2}{V_{bx}} = \frac{0,073}{0,06} = 1,217 \text{ с};$$

$$t_{bx3} = \frac{L_3}{V_{bx}} = \frac{0,06}{0,06} = 1 \text{ с};$$

$$t_{bx4} = \frac{L_4}{V_{bx}} = \frac{0,213}{0,06} = 3,55 \text{ с};$$

$$t_{bx5} = \frac{L_5}{V_{bx}} = \frac{0,17}{0,06} = 2,833 \text{ с};$$

$$t_{bx6} = \frac{L_6}{V_{bx}} = \frac{0,213}{0,06} = 3,55 \text{ с};$$

$$t_{bx7} = \frac{L_7}{V_{bx}} = \frac{0,123}{0,06} = 2,05 \text{ с};$$

$$T_{bx} = t_{bx1} + t_{bx2} + t_{bx3} + t_{bx4} + t_{bx5} + t_{bx6} + t_{bx7} = 5,217 + 1,217 + 1 + 3,55 + 2,833 + 3,55 + 2,833 + 3,55 + 2,05 = 19,417 \text{ с};$$

Тривалість циклу обробки деталі:

$$\begin{aligned} \sum t_i &= t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6 \\ &= 73,946 + 17,246 + 14,17 + 50,321 + 40,126 + 50,321 = 246,17 \end{aligned}$$

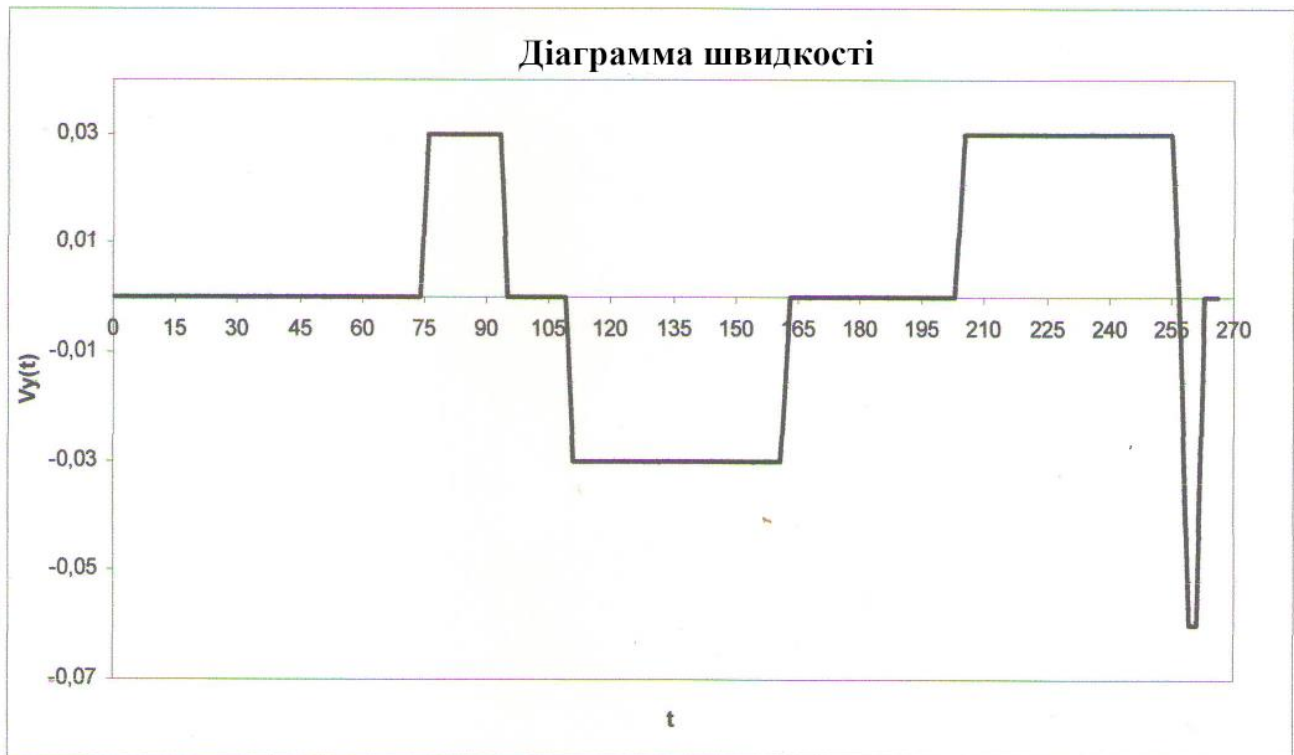
$$t_{ц} = \sum t_i + t_0 + t_{11} + t_{71} = 246,17 + 3 + 1,05 + 2,05 = 252,27 \text{ с}; \quad (2.24)$$

$t_0 = 3\text{с}$ – тривалість паузи;

Еквівалентний момент:

$$\begin{aligned} M_{cos} &= \\ &= \sqrt{\frac{M_{ne}^2 * [(t_{p1} + t_{p2}) + (t_{pp} + t_{rp})] + (M_{px1}^2 + M_{px2}^2 + M_{px3}^2 + M_{px4}^2) * \sum t_i + (M_{bx1}^2 + M_{bx2}^2 + M_{bx3}^2 + M_{bx4}^2) * T_{bx}}{t}} \\ &= 2,795 \end{aligned}$$

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ЄП.ПД.19.23.02.				



Мал.2.5. Діаграма швидкості приводу подачі у час фрезерування



Мал.2.6. Діаграма навантаження приводу подачі у час фрезерування

2.5 Перевірка попередньо обраного двигуна

Критеріями перевірки двигуна подачі є нагрівання, перенавантажувальна можливість та довготривалість пуску. Двигун не перегрівається, так як

$$M_{СКВ} \leq M_{d0} \quad (2.25)$$

					<i>ЄП.ПД.19.23.02.</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$2,795 \leq 5,2 \text{ Н} * \text{ м};$$

Двигун не перенавантажений, так як на кожному з переходів точка з координатами (n_i, M_{ci}) лежить ліворуч кривої допустимого статистичного перенавантаження двигуна. Крім того, виконується умова $M_{bx} \leq M_h (0,512 \leq 5)$.

2.6 Вибір елементів силового ланцюга електроприводу

Для верстатів ЧПУ вітчизняною промисловістю випускається безліч комплектних тиристорних електроприводів постійного струму, до складу яких входять тиристорні випрямлячі (ТВ) для ланцюга якоря, необхідний набір регуляторів і датчиків, силові трансформатори, згладжує дросель (якщо необхідно), блок захистів, блокувань і сигналізації.

Комплектний електропривід з ВМД оберають після вибір двигуна по номінальному струму і напруги якоря.

$$I_{dH} \geq I_{d0};$$

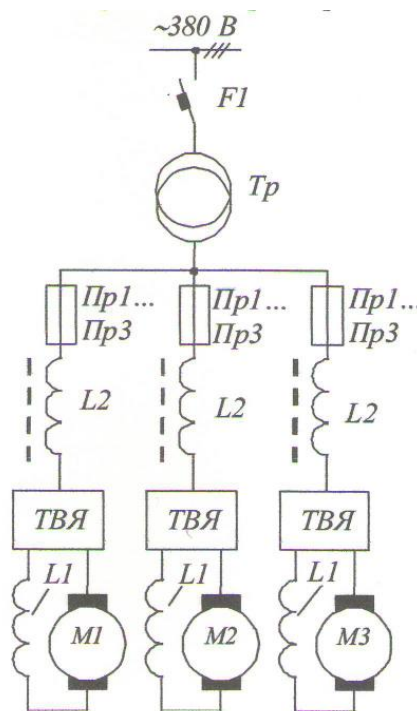
$$U_{dH} \geq U_n n_{max} / n_n; \tag{2.26}$$

$$U_{di} \geq \frac{110 * 2000}{1000} = 220 \text{ В};$$

Комплектний тиристорний електропривод серії ЕТУ2-2 УХЛ4.

Обираємо номінальний струм тиристорного електропривода: $I_{dH} = 50 \text{ А};$

Обираємо номінальну напругу тиристорного електропривода: $U_{dH} = 230 \text{ В};$



Мал.2.7 Схема включення тиристорних електроприводів постійного струму приводу подачі

					<i>ЄП.ПД.19.23.02.</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Силовий трансформатор для насичення тиристорних електроприводів подач обирається а напругою його вторинної обмотки $U_{2л}$ та потужності S_T :

$$U_{2л} \geq \frac{U_{dn}}{1,35} = \frac{230}{1,35} = 170,37 \text{ В}; \quad (2.27)$$

$$S_T = 1,4n_{п}k_{п}U_{л}I_{дн} = 1,4 * 3 * 0,67 * 170,37 * 50 = 2,326 * 10^4 \text{ ВА}, \quad (2.28)$$

Де $n_{п} = 3$ –кількість приводів подач для фрезерного станка;

$k_{п}=0,65$ –коефіцієнт попиту, враховуючий неодночасність праці приводу подач

Обираємо трьох фазний трансформатор типу ТСТ-24, параметри котрого:

$$S_m = 25000 \text{ ВА}; \quad U_{1л} = 380 \text{ В}$$

$$U_{2л} = 208 \text{ В}; \quad U_k = 2\%$$

$$\Delta P_{кз} = 380 \text{ Вт};$$

2.7 Розрахунок параметрів САР

2.7.1 Параметри об'єкту управління

Дроселі в вентильному електроприводі виконують такі функції:

Зменшують зону переривчастих струмів; згладжують пульсації випрямленої струму; обмежують струм через вентилі в перший напівперіод живлячої напруги при короткому замиканні на стороні випрямленого струму. У реверсильному вентильному електроприводі на реактори додатково покладено завдання обмеження швидкості наростання аварійного струму при перекиданні інвертора. розрахунок необхідної величини індуктивності дроселя виконується виходячи з умови виконання кожної з перерахованих функцій.

2.7.2 Обмеження зони переривчастих струмів

Для отримання обмежено-непереривного режиму при заданому значенні кута регулювання α в ланцюг випрямленого струму необхідно вимкнути індуктивність L_d , значення якої можна визначити за виразами, задавшись величиною гранично-безперервного струму $I_{dгр} = (0,05 - 0,1)I_{дн}$

$$I_{dгр} = 0,1 * 50 = 5 \text{ А};$$

Коефіцієнт залежності $k_{гр}$ від кута $\alpha = 30$ при кількості пульсацій $p=6$ дорівнює:

$$k_{гр} = 0,048;$$

$$U_{2ф} = U_{дн};$$

$$I_{2ф} = \frac{I_{дн}}{\sqrt{3}} = \frac{50}{\sqrt{3}} = 28,868 \text{ А}; \quad (2.29)$$

					<i>ЄП.ПД.19.23.02.</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$x_{a\phi} = U_k * \frac{U_{2\phi}}{100 * I_{\phi}} = 0,02 * \frac{230}{100 * 28,868} = 0,159 \text{ Ом}; \quad (2.30)$$

Індуктивний опір живлячої мережі:

$$x_a = 2 * x_{a\phi} = 2 * 0,159 = 0,319 \text{ Ом};$$

$$\omega = 2 * \pi * f = 2 * 3,14 * 50 = 314,159 \text{ — частота живлячої мережі};$$

$p=6$ — пульсність перетворювача;

$$U_{d0} = 1,35 * U_{2л} = 1,35 * 208 = 280,8 \text{ В}; \quad (2.31)$$

U_{d0} — максимальна випрямлена напруга перетворювача;

$$L_d = \frac{1}{\omega} * \left(\frac{U_{dn}}{I_{dd}} * k_{гр} - x_a \right) = \frac{1}{314,159} * \left(\frac{230}{5} * 0,048 - 0,319 \right) = 6,014 * 10^{-3} \text{ Гн};$$

Індуктивність дроселя:

$$L_{др} = L_d - L_a = 6,014 * 10^{-3} - 11,2 * 10^{-3} = -5,186 * 10^{-3} \text{ Гн};$$

$$L_a = 11,2 * 10^{-3} \text{ Гн — індуктивність двигуна};$$

У разі, якщо $L_d < L_a$, то використовувати реактор не потрібно.

2.7.3 Згладжування пульсацій випрямленого струму

Розрахунок індуктивності дроселя для даної схеми ведеться тільки по першій гармоніці, так як амплітуди гармонік більш високою кратності значно менше, а дія реактора на них ефективніше по амплітуді першої гармоніці U_{dnm} і допустимому чинним значенні першої гармоніки струму i_1 , приймаючого в межах $(0,07 \dots 0,1) * I_{dn}$, необхідна індуктивність реактора може бути знайдена за формулою:

$$U_{dnm} = 0,19 * U_{d0} = 0,19 * 208,8 = 53,352; \quad (2.32)$$

$k_r = 1$ — кратність першої гармоніки;

$$i_1 = 0,07 * I_{dn} = 0,07 * 50 = 3,5;$$

$$\begin{aligned} L_{др2} &= \frac{100 * U_{dnm}}{\sqrt{2} * k * p * \omega * i_1 * I_{dn}} - L_a \\ &= \frac{100 * 53,352}{\sqrt{2} * 1 * 6 * 314,159 * 3,5 * 50} - 11,2 * 10^{-3} = 2,36 * 10^{-4} \end{aligned}$$

2.7.4 Обмеження струму через вентилі при короткому замиканні на стороні постійного струму

При короткому замиканні на стороні постійного струму реактор повинен

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ЄП.ПЛ.19.23.02.				

обмежити швидкість наростання аварійного струму, щоб він не перевищив небезпечного для вентелей значення до спрацьовування захисних пристроїв (від моменту перевищення струму уставки захисного пристрою до початку розбіжності контактів і освіти електричної дуги). Обмеження струму через вентилі може бути отримано за рахунок індуктивності розсіювання обмоток трансформатора і індуктивності ланцюга постійного струму.

$I_{\text{доп}}$ –максимально допустимий під час одного на півперіоду струм вентелей.

$I_{\text{нач}}$ –струм навантаження в момент короткого замикання.

Для сучасних вентелей значення $I_{\text{доп}}$ знаходиться в обмеженні (10...15) I_{dn}

Індуктивність реактору визначається за наступною наближеною формулою:

$$I_{\text{доп}} = 12,5 * I_{dn} = 12,5 * 50 = 625 \text{ A};$$

$$I_{\text{нач}} = I_{dn} = 50 \text{ A};$$

$$L_{дрз} = \frac{2,1 * U_{2л}}{(I_{\text{доп}} - I_{\text{нач}})} - \frac{x_a}{w} = \frac{2,1 * 170,37}{314,159 * (625 - 50)} - \frac{0,319}{314,159} = 1,404 * 10^{-3} \text{ Гн};$$

2.7.5 Обмеження струму при перекиданні інвентора

При однофазному перекиданні в мостовій схемі якір двигуна зкорочується через вентилі.

$$E_{\text{нач}} = U_{dn} = 230 \text{ Ом};$$

Індуктивність реактора, необхідна для обмеження аварійного струму на час спрацьовування захисту, може бути визначена з наближеного виразу:

$$L_{др} = \frac{0,01 * R_0}{\ln \left(\frac{(E_{\text{нач}}/R_0) - I_{\text{нач}}}{(E_{\text{нач}}/R_0) - I_{\text{доп}}} \right)} - L_a = \frac{0,01 * 2,1}{\ln \left(\frac{\left(\frac{230}{2,1} \right) - 50}{\left(\frac{230}{2,1} \right) - 625} \right)} - 11,2 * 10^{-3}$$

$$= -0,014 - 4,541_i * 10^{-3}$$

Обираємо дросель:

$$L_{др} = L_{др} = 2,36 * 10^{-4} \text{ Гн};$$

$$R_{др} = 0;$$

Вибір тахогенатора виконується за його номінальною швидкістю:

ПТ-22/1

$$n_{\text{max}} = 3400 \text{ об/хв};$$

$$U_B = 55 \text{ В};$$

					<i>ЄП.ПД.19.23.02.</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I_B = 0,35 \text{ A};$$

$$U_{BX} = 230 \text{ B};$$

$$I = 0,5 \text{ A};$$

Опір та індуктивність фазної обмотки силового трансформатора:

$$r_T = \frac{\sqrt{3} \cdot \Delta P_{k3} \cdot U_{1л}^2}{S_m^2} = \frac{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 380^2}{25000^2} = 0,152 \text{ Ом}; \quad (2.33)$$

$$Z_T = \frac{\sqrt{3} \cdot U_k^2 \cdot U_1^2}{100 \cdot S_m} = \frac{\sqrt{3} \cdot 0,02^2 \cdot 380^2}{100 \cdot 25000} = 0,2 ; \quad (2.34)$$

$$x_\delta = \sqrt{Z_\sigma^2 - r_\sigma^2} = \sqrt{0,2^2 - 0,152^2} = 0,16 \text{ Ом}; \quad (2.35)$$

$$L_\delta = \frac{\delta_\delta}{w} = \frac{6 \cdot 0,16}{314,159} = 4,139 \cdot 10^{-4} \text{ Гн}; \quad (2.36)$$

Опір зумовлений перекриттям вентелей:

$$R_y = \frac{p \cdot x_\sigma}{2 \cdot \pi} = \frac{6 \cdot 0,6}{2 \cdot 3,14} = 0,124 \text{ Ом}; \quad (2.37)$$

Активний опір, індуктивність та електромагнітна стала як ірнього ланцюга, приведенні до температури обмоток 90 градусів:

t_0° -температура «холодної» обмотки;

$$t_0^\circ = 20;$$

$\alpha = 0,004$ –температурний коефіцієнт для міді;

$r_p = 0,0064 \text{ В}$ – навантаження мережевих реакторів;

$L_p = 0,66 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}$ – індуктивність мережевих реакторів;

$$R_e = (R_a + R_{a\sigma} + 2 \cdot r_p + 2 \cdot r_\sigma) \cdot [1 + (90 - t_0^\circ) \cdot \alpha] + R_y = (2,1 + 0 + 2 \cdot 0,0064 + 2 \cdot 0,152) \cdot [1 + (30 - 20) \cdot 0,004] + 0,124 = 3,218 \quad (2.38)$$

$$L_e = L_a + L_{др} + 2 \cdot L_T + 2 \cdot r_p = 11,2 \cdot 10^{-3} + 2,366 \cdot 10^{-4} + 2 \cdot 4,139 \cdot 10^{-4} + 2 \cdot 0,0064 = 0,025 \text{ Гн}; \quad (2.39)$$

$$T_e = \frac{L_e}{R_e} = \frac{0,25}{3,218} \cdot 10^{-3} \text{ с}; \quad (2.40)$$

Коефіцієнт моменту для високомоментного двигуна:

$$k_\Phi = \frac{M_{d0}}{I_{d0}} = \frac{5,2}{6,5} = 0,8 \quad (2.41)$$

Коефіцієнт передачі тиристорного перетворювача с пилкоподібною опорною напругою в СИФУ:

$$k_U = 1,35 \text{ -коефіцієнт схеми}$$

					<i>Є.П.Пл.19.23.02.</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$U_{d0} = 280,8 \text{ В}$ -Максимально можлива середньо випрямлена напруга;

$$U_{опт} = 10 \text{ В}$$

$$k = \frac{U_{d0} \pi}{U_{опт}} = \frac{208,8 * 3,14}{10} = 88,216$$

2.7.6 Параметри САР однозонного електроприводу з високо вимірювальним двигуном

Вихідними даними для синтезу регуляторів є параметри об'єкта управління, необхідна резонансна частота замкнутого контуру і коефіцієнти А, В, С, характеризуючи форми перехідного процесу. Рекомендовані параметри для застосування позиційного приводу подач:

$$A=0,823;$$

$$B=0,25;$$

$$C=0,7;$$

$$\omega_p = 230;$$

Бажана стала часу замкнутого струму:

$$T_c = \frac{c}{\omega_p} = \frac{0,7}{230} = 3,043 * 10^{-3} \text{ с}; \quad (2.42)$$

Інтенсивність зворотного зв'язку за струмом:

$$k_i = \frac{R_e}{k_{де} k_{в\text{я}}} \left(\frac{T_e}{T_c} - 1 \right) = \left(\frac{7,789 * 10^{-3}}{3,043 * 10^{-3}} - 1 \right) = 0,905 \quad (2.43)$$

$$k_{дт} = \frac{3 \dots 6}{I_{max}} = \frac{3}{47,75} = 0,063 \text{ – коефіцієнт передачі датчика струму};$$

$$I_{max} = \frac{M_{max}}{k\Phi} = \frac{38,2}{0,8} = 47,75 \text{ А}; \quad (2.44)$$

Коефіцієнт передачі замкнутого контура струму:

$$k_c = \frac{k_{в\text{я}}}{R_e + k_{в\text{я}} k_i k_{дт}} = \frac{88,216}{3,218 + 88,216 * 0,905 * 0,063} = 10,712 \quad (2.45)$$

Коефіцієнт зворотного зв'язку за швидкістю:

$$k_{\partial c} = \frac{10}{\omega_{\partial max}} = \frac{10}{157,08} = 0,064 \quad (2.46)$$

$$k_{pc} = \frac{AJ}{k_c T_c k_{дс} k\Phi} = \frac{0,823 * 10^{-4}}{10,712 * 3,043 * 10^{-3} * 0,064 * 0,8} = 0,419 \quad (2.47)$$

$$T_{pc} = \frac{AT_c}{B} = \frac{0,823 * 3,043 * 10^{-3}}{0,25} = 0,01 \text{ с}; \quad (2.48)$$

Коефіцієнт передачі позитивного зворотного зв'язку за швидкістю:

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ЄП.ПД.19.23.02.				

$$k_e = \frac{k\Phi}{k_{в\dot{y}}k_{дс}} = \frac{0,8}{88,216*0,064} = 0,142; \quad (2.49)$$

Максимальне завдання на швидкість:

$$U_{зс} = k_{\partial c} * w_{\partial max} = 0,064 * 157,08 = 10 \text{ В};$$

$$\beta = 2,5;$$

$$T_{pc} = T_{pc}\beta = 0,01 * 2,5 = 0,025 \text{ с}; \quad (2.50)$$

Номинали елементів зворотного зв'язку регулятора швидкості:

$$R_{зс} = 2,7 * 10^3 \text{ Ом};$$

$$R_{\phi} = R_{зс}; \quad (2.51)$$

$$U_{дсм} = k_{дс} * n_{max} = 0,064 * 2000 = 127,324 \text{ В}$$

$$R_w = \frac{R_{зс}U_{дсм}}{U_{зс}} = \frac{2,7*1000*127,324}{10} = 3,438 * 10^4 \text{ Ом}; \quad (2.52)$$

$$R3 = k_{pc} * R_{зс} = 0,419 * 2,7 * 10^3 = 1,13 * 10^3 \text{ Ом}; \quad (2.53)$$

$$C0 = \frac{\beta^2 T_{pc}}{R3} = \frac{2,5^2 * 0,01}{1,13 * 10^3} = 5,54 * 10^{-5} \text{ Ф}; \quad (2.54)$$

$$R2 = \frac{T_{pc}}{C0} = \frac{R3}{\beta^2} = \frac{1,13 * 10^3}{2,5^2} = 180,856 \text{ Ом}; \quad (2.55)$$

$$R1 = \frac{R2(\beta^2\beta+1)}{\beta-1} = \frac{180,856*(2,5^2*2,5+1)}{2,5-1} = 2,004 * 10^3 \text{ Ом} \quad (2.56)$$

Параметри УЗТО,ФП:

$$U_{нас} = 8 \text{ В} \text{ –напруга насичення};$$

$$U_{см} = 15 \text{ В};$$

Коефіцієнт передачі блоку виділення модуля:

$$k_{БВМ} \leq \frac{U_{нас}k\Phi}{k_{дт}M_{max}} = \frac{8*0,8}{0,063*38,2} = 2,667 \quad (2.57)$$

Вхідний і вихідний напруги ФП для опорних точок D,E,F:

$$U_x = \omega_d k_{дш} k_{БВМ} \quad (2.58)$$

$$U_y = \frac{k_{дш}M}{k\Phi} \quad (2.59)$$

Для точки F:

$$U_{yE} = \omega_d k_{дс} k_{БВМ} = 157,08 * 0,064 * 2,667 \text{ В};$$

$$k_{ED} = \frac{U_{yE} - U_{yD}}{U_{xE} - U_{xD}} = \frac{1,72 - 1,257}{13,333 - 26,667} = -0,035$$

					ЄП.ПЛ.19.23.02.	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$k_{FE} = \frac{U_{yF} - U_{yE}}{U_{xF} - U_{xE}} = \frac{3 - 1,728}{8,889 - 13,333} = -0,286$$

Пусть $R_{12} = 40$ кОм;

Опір на вході підсилювача АІ :

$$R_9 = \frac{-R_{14}}{k_{FE}} - R_{12} = \frac{-40}{-0,286} - 20 = 119,735 \text{ кОм};$$

Опір резисторів дільника:

$$R_{11} = \frac{k_{ED} R_{12} * R_9}{R_{14} + k_{ED} (R_{12} + R_9)} = \frac{0,035 * 20 * 119,735}{40 - 0,035 * (20 + 119,735)} = 2,414 \text{ кОм};$$

$$R_{10} = \frac{U_{CM} R_{11} (R_{12} + R_9)}{U_{CM} R_{12}} - R_{11} = \frac{15 * 2,414 * (20 + 119,735)}{13,333 * 20} - 2,414$$

$$= 16,558 \text{ кОм}$$

Опір в ланцюзі зміщення:

$$R_{13} = \frac{U_{CM} R_{14}}{U_{yF} - U_{xF} k_{EF}} = \frac{15 * 40}{3 - 8,889 * (-0,286)} = 108,215 \text{ кОм}$$

обмеження струму на малих швидкостях виконується шляхом насичення підсилювача регулятора швидкості АІ за допомогою велітеля R17:

$$R_{17} \geq \frac{U_{yF} R_B}{U_{нас} - U_{yF}} = \frac{3 * 2,7 * 10^3}{15 - 3} = 1,62 * 10^3 \text{ кОм}$$

Більшість опорів, що входять в БВМ, приймаються однаково номіналу:

$$R_4 = R_5 = R_7 = 22 \text{ кОм};$$

$$R_6 = 2 * R_4 = 44 \text{ кОм};$$

					<i>ЄП.ПД.19.23.02.</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. Дослідження динаміки електроприводу

3.1 Дослідження динаміки електроприводу на ЄВМ

Математична модель електроприводу розробляється виходячи з структурної схеми САР, параметрів електроприводу та регуляторів, розрахованих у розділі “Автоматизований електропривод”. Метою дослідження динаміки електроприводу є перевірка якості перехідних процесів у САР.

Для дослідження роботи приводу за допомогою ЄВМ користуємось пакетом MATLAB 6.5, який дає можливість зробити модель системи автоматичного регулювання та дослідити перехідні процеси приводу.

Розрахуємо параметри моделі:

Передавальна функція регулятора струму:

$$W_{рТ} = K_{рТ} \frac{pT+1}{pT}$$

Мала постійна часу:

$$T_{\mu} \approx 0,005 \text{ с}$$

Коефіцієнти регулятора струму:

$$K_{пТ} = \frac{R_e * T_e}{2 * T_{\mu} * K_{тП} * K_{от}} = \frac{3,218 * 0,007}{2 * 0,005 * 11 * 0,61} = 0,366$$

$$K_{иТ} = \frac{R_e}{2 * T_{\mu} * K_{тП} * K_{от}} = \frac{3,218}{2 * 0,005 * 11 * 0,61} = 47,95$$

Передатна функція регулятора швидкості:

$$W_{рС}(p) = k_{рС} \frac{T_{рС} p + 1}{T_{рС} p}$$

Коефіцієнти регулятора швидкості:

$$K_{пС} = \frac{T_{\mu} * K_{\Phi} * K_{от}}{4 * T_{\mu} * R_e * K_{ос}} = \frac{0,05 * 0,8 * 0,61}{4 * 0,005 * 3,218 * 0,095} = 3,991$$

$$K_{ис} = \frac{K_{пС}}{8 * T_{\mu} p} = \frac{3,991}{8 * 0,005} = 99,77$$

Коефіцієнт тиристорного перетворювача:

$$K_{тП} = \frac{U_n}{10} = \frac{110}{10} = 11$$

Електромагнітна стала часу:

$$T_e = 0,007 \text{ с}$$

$$R_e = 3,218 \text{ Ом}$$

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ЄП.ПД.19.23.03.				

Коефіцієнт моменту для високомоментного двигуна:

$$k\Phi = \frac{M_{d0}}{I_{d0}} = \frac{5,2}{6,5} = 0,8$$

Номинальна швидкість двигуна:

$$W_n = \frac{\pi * n_{max}}{30} = 3,14 * \frac{1000}{30} = 104,66, c^{-1}$$

Максимальна швидкість двигуна:

$$W_{dmax} = \frac{\pi * n_{max}}{30} = 3,14 * \frac{1500}{30} = 157,08, c^{-1}$$

Номинальний струм двигуна:

$$I_l = 6,5 A$$

Коефіцієнт зворотного зв'язку за струмом:

$$K_{от} = \frac{10}{I_n * \lambda} = \frac{10}{6,5 * 2,5} = 0,61$$

Коефіцієнт зворотного зв'язку за швидкістю:

$$K_{ос} = \frac{10}{W_n} = \frac{10}{104,66} = 0,095$$

Механічна стала:

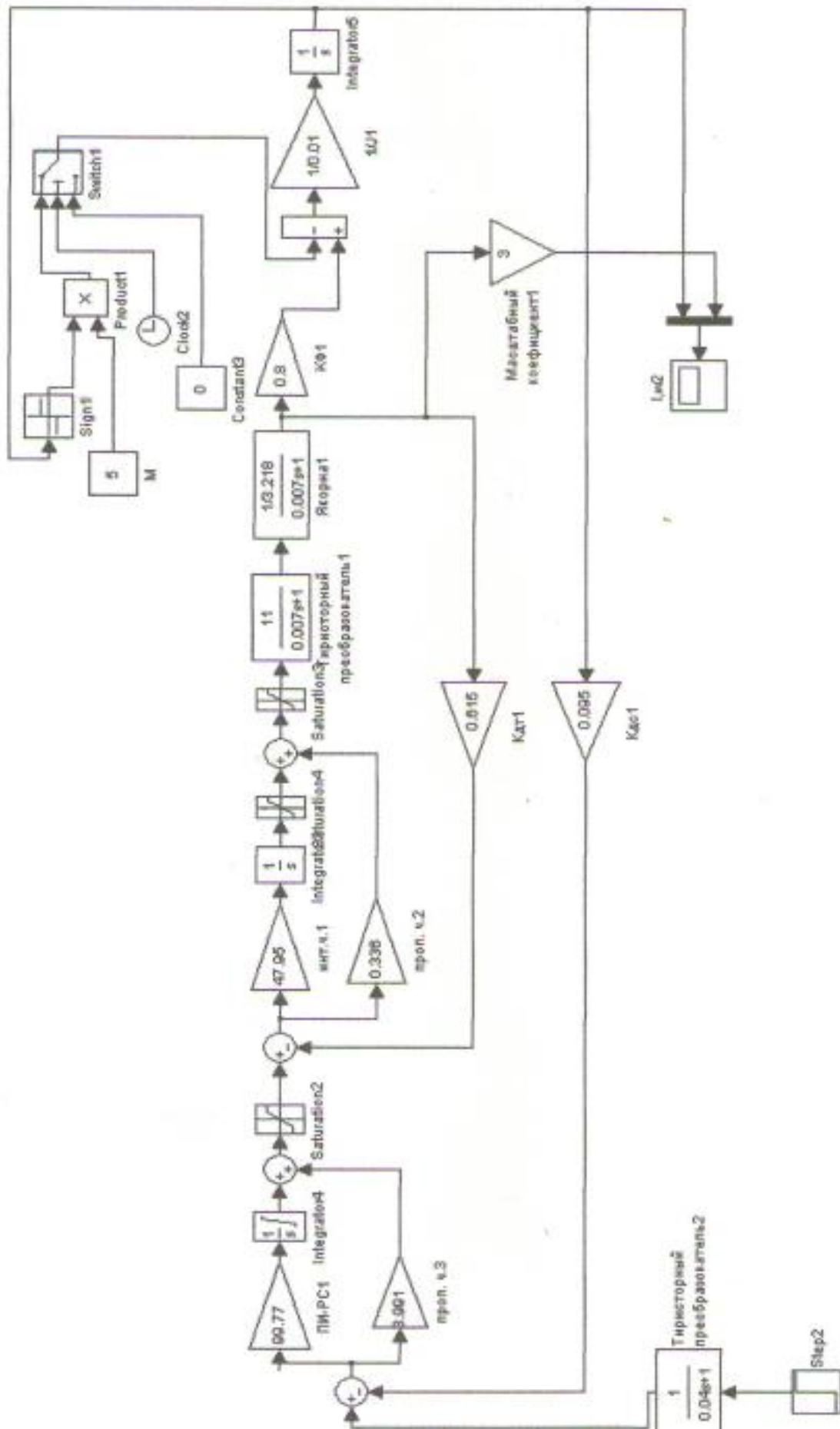
$$T_m = \frac{J * R_e}{k\Phi^2} = \frac{0,005 * 3,218}{0,8^2} = 0,05$$

Результати моделювання та дослідження динамічних властивостей електроприводу приведені на мал. 3.2, 3.3, 3.4.

Промодельовано три режима роботи: пуск у холосту, наброс навантаження та реверс.

Проаналізував отримані графіки перехідних процесів можливо сказати, що вимоги до електроприводу виконані.

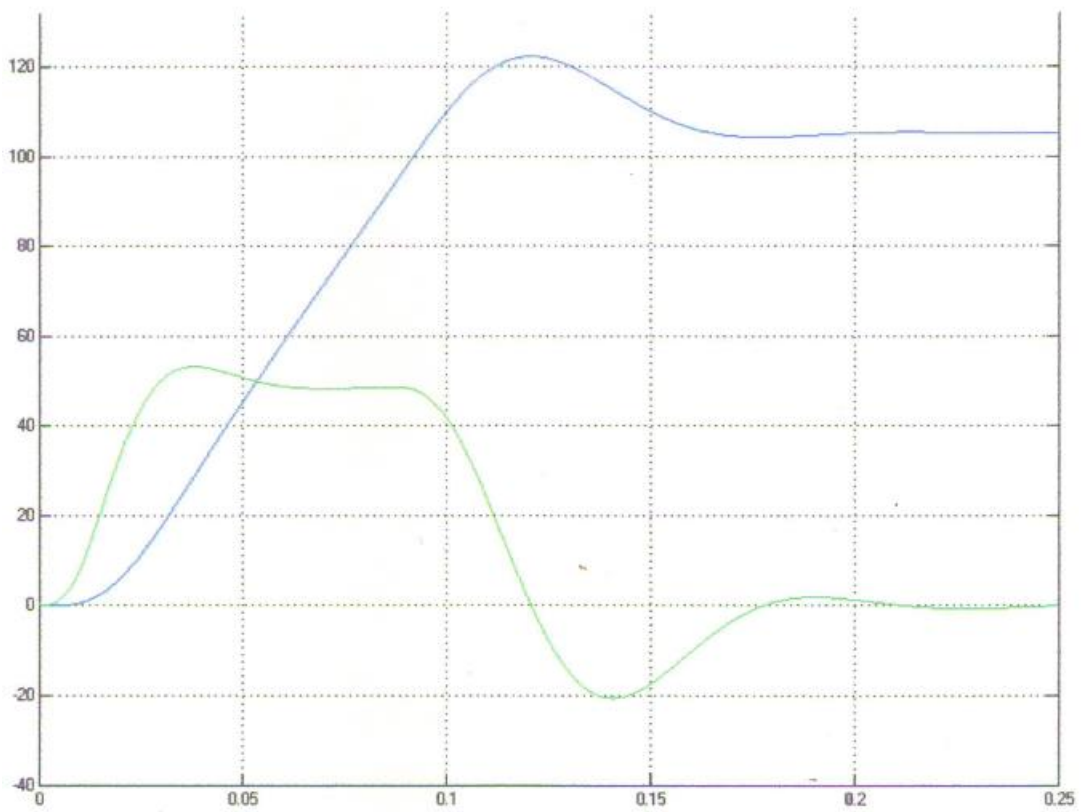
					<i>ЄП.ПД.19.23.03.</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЄП.ПД.19.23.03.

Арк.

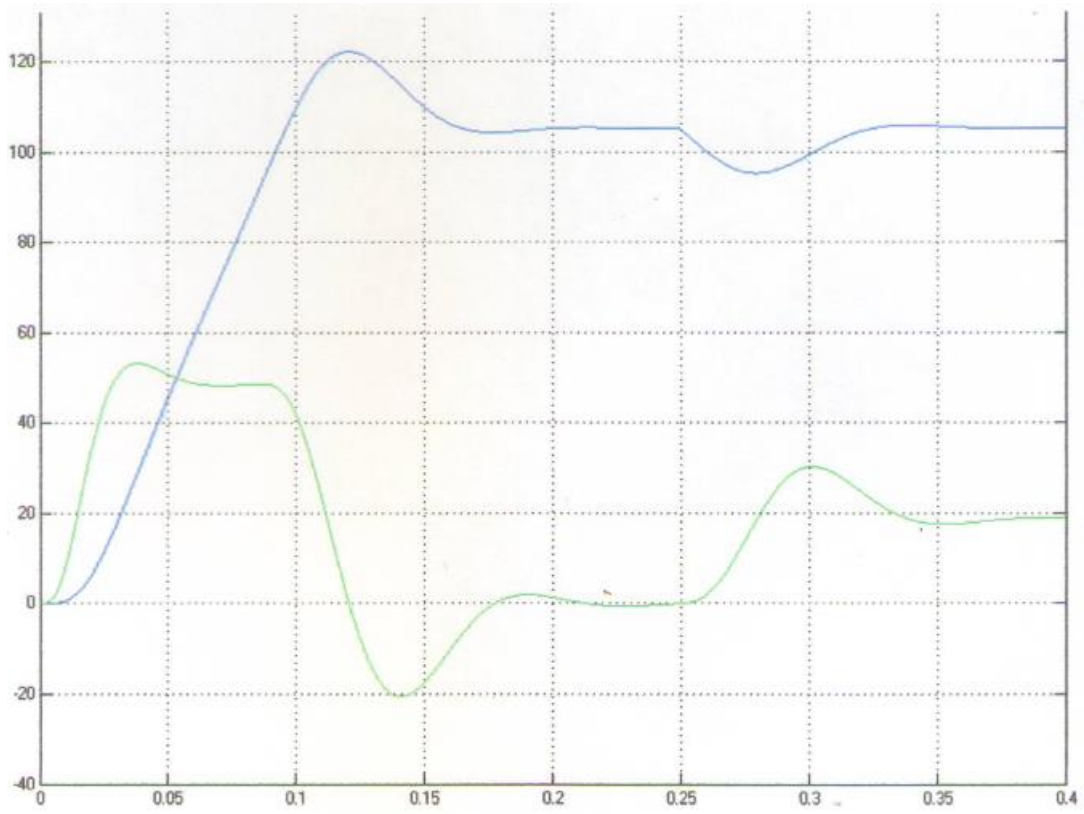


Мал.3.2 Пуск в холосту

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЄП.ПД.19.23.03.

Арк.

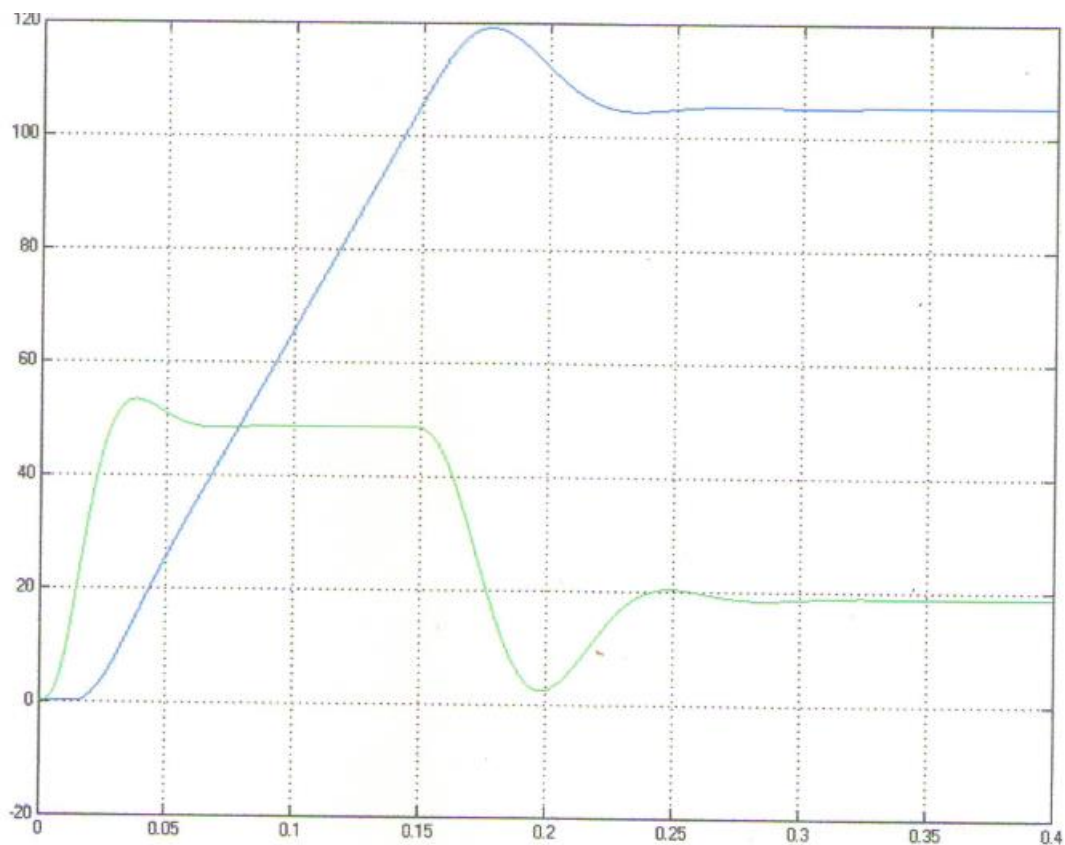


Мал.3.3. Пуск в холосту при прийомі навантаження

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЄП.ПД.19.23.03.

Арк.



Мал. 3.4. Пуск в холосту під навантаженням

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЄП.ПД.19.23.03.

Арк.

4. Охорона праці

4.1 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів на об'єкті.

У приміщенні цеха №2, у якому використовується даний об'єкт, спостерігається такі небезпечні і шкідливі фактори :

1. Небезпека нанесення фізичних травм обертовими частинами приводу.

Виробниче обладнання не повинно мати гострих кутів, крайок і нерівність поверхонь, які становлять небезпеку травмування працівників. Компонування складових частин обладнання повинне забезпечувати вільний доступ до них, безпеку при монтажі та експлуатації.

Частини виробничого обладнання (у тому числі запобіжні клапани, кабелі та інше), механічне пошкодження яких може спричинити виникнення небезпеки , повинні бути захищені огорожами та розташовані таким чином, щоб запобігти їх випадкове пошкодження працівниками або засобами технічного обслуговування. Обертові валки повинні бути закриті кожухом, а рухомі робочі органи – огороженні.

2. Виробнича вібрація.

У цеху №3 вібрація може бути викликана безліччю причин: Неврівноваженими силовими впливами, неоднорідністю матеріалу тіла, що обертається, розбіжністю осей обертання з віссю маси тіла.

3. Виробничий шум.

У механоскладальному цеху джерелами механічному шуму є коливання, які виникають під час роботи двигунів, редукторів, пневмо пристроїв та інших механізмів. У цеху спостерігається інтенсивний шум, що створює несприятливу виробничу обстановку, негативно впливає на стан здоров'я працівників, що веде до зниження продуктивності праці.

					<i>ЄП.ПД.19.23.04.</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.2 Інженерно-технічні засоби з охорони праці на об'єкті

4.2.1 Обґрунтування класу приміщення по безпеці ураженням електричним струмом

За ступенем небезпеки ураження електричним струмом цех №2 є особливо небезпечним приміщенням, так як в робочій зоні знаходяться струмопровідна підлога, є можливість одночасного дотику до корпусів електроапаратів ті металоконструкціям будівлі, з'єднаних с землею, також має наявність струмопровідної пилу в атмосфері.

4.2.2 Обґрунтувати режим нейтралі живлених мереж на об'єкті

Для великих підприємств з великими розгалуженими мережами варто застосовувати 4-х провідну схему з глухо заземленою нейтраллю.

4.2.3 Заходи щодо електробезпеки

Персонал цеху №2, зайнятий обслуговуванням електрообладнанням, також його ремонтом та накладкою, зобов'язаний:

- мати допуск до обслуговуванню електроустановок напругою до 1000 В;
- знати діючі правила технічної експлуатації та безпеки при випробуваннях та вимірах, а також обслуговування електроустановок промислових підприємств;
- керуватися вказівками заходів безпеки по експлуатації механічної частини обладнання та експлуатаційної документації, що додається до пристрою та комплектним виробам, що входять до складу обладнання;
- знати принципи роботи електрообладнання та роботу його схем автоматичного управління.

4.2.4 Заходи та способи захисту від вібрації

Для боротьби з вібрацією у цеху №2 існує декілька способів:

					<i>ЄП.ПД.19.23.04.</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- відбудова від режимів резонансу шляхом раціонального вибору маси або жорсткості коливаючих систем;
- Зниження вібрації у джерелі – виключенням резонансних режимів роботи обладнання;
- віброгасіння;
- віброізоляція;
- вібродемпфірування;
- індивідуальні засоби захисту (спеціальні рукавиці, взуття та інше);

Зменшення параметрів загальної вібрації за рахунок віброгасіння досягається збільшенням маси агрегату або збільшенням жорсткості його віброгенеруючих елементів. Збільшення маси досягає шляхом встановлення агрегату на самостійний фундамент або масивні плити між основою та агрегатом.

4.2.5 Методи та способи захисту від шуму

Для боротьби з шумом у цеху №2 застосовують такі методи та способи захисту:

- зниження шуму у джерелі його виникнення завдяки поліпшенню конструкції машин;
- забезпеченню мінімальних допусків у з'єднаннях деталей;
- заміні прямозубих шестерень шевронними;
- своєчасному технічному обслуговуванню та проведенню своєчасних ремонтів.

Засоби боротьби з шумом складаються з впровадження нових малошумних технологічних процесів, оснащенні шумових машин засобами дистанційного управління та автоматичного контролю, використанні раціональних режимів праці, відпочинку та іншу.

До засобів індивідуального засобу від шуму належать протишумові навушники, котрі зачиняють вушну раковину зовні, і протишумові вставки, котрі зачиняють слуховий прохід. До засобі індивідуального

					<i>ЄП.ПД.19.23.04.</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

захисту належать також протишумові шлеми та маски, котрі використовуються разом з навушниками.

4.2.6 Заходи з охорони праці у спеціальній частині

Для того щоб виключити можливість доторкання або небезпечного наближення до ізольованих струмоведучим частинам, повинна бути забезпечена недоступність останніх завдяки огороженню, блокуванню, розташуванню струмоведучих частин на недоступній висоті або у недоступному місці.

Розташування струмоведучих частин на недоступній висоті або в недоступному місці дозволяє забезпечити безпеку без огорожень. При цьому потрібно враховувати можливість випадкового доторкання до струмоведучим частинам завдяки довгим предметам, котрі людина може тримати в руках. Якщо до струмоведучим частинам розташовані на висоті, можливе доторкання з місць, рідко відвідуваних людьми (дах, площадок та інше), у цих місцях повинні бути встановленні огороження або прийняті інші міри безпеки.

В якості засобів індивідуального захисту персоналу використовуємо спец одяг, спец взуття, захисні окуляри, протигази, захисні каски, запобіжні пояси, щитки для електрозварювання.

4.2.7 Заходи щодо пожежної безпеки

Пожежна безпека цеху №2 забезпечується наступними проектними рішеннями:

- застосуванням електрообладнанням з номінальним струмом що підвищує номінальний струм споживача та стоком відключення, що перевищує струм трьохфазного короткого замкнення спочатку мережі у максимальному режимі роботи системи, чим забезпечується вдале відключення від мережі точки (місця) короткого замкнення без пошкодження комутаційних апаратів;

					<i>ЄП.ПД.19.23.04.</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- застосуванням електрообладнання, встановленого у вогнебезпечних зонах виробничих приміщеннях, у оболонках відповідного класу;
- застосуванням кабельно-провідникової продукції з ізоляцією, що відповідає класу напруження та перетин жил, достатнім для довготривалого протікання робочих струмів споживачів без перевищення допустимої температури ізоляції;
- перевіркою кабельно-провідникової продукції на термічну стійкість до дій струмів короткого замкнення при остаточному виборі її перетину;
- вибором відповідних типів захисту та уставок спрацювання релейного захисту у мережах вище 1000 В та теплових та електромагнітних розцепителів автоматичних вимикачів, а також плавких вставок запобіжників у мережах з напругою до 1000 В, що дозволяє автоматично знеструмити пошкоджені ділянки електричної мережі.

4.2.8 Гасіння пожеж у електроустановках

Для гасіння пожеж у цеху №2 дозволено використовувати воду, водяний пар, піну, вуглекислий та інертний газ, спец порошок, пісок та покривало. Воду не дозволено застосовувати для гасіння електроустановок, що знаходяться під напругою (без застосування спеціальних мір захисту людей), щоб уникнути ураження електричним струмом через струю води.

Для гасіння пожеж у закритих виробничих приміщеннях рекомендується застосовувати водяний пар. Вогнегасні властивості пару є у розбавленні їм повітря, у результаті чого знижаються концентрація кисню та температури палаючої речовини. Вогнегасна концентрація водяного пару у повітрі повинна бути близько 35% за об'ємом.

Гасіння пожежі доцільно виконувати за допомогою повітряно-механічної піни, що утворюється в результаті інтенсивного механічного перемішування водяного розчину піноутворювачем з киснем, що здійснюється у спеціальному піно генераторі.

					<i>ЄП.ПД.19.23.04.</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.3 Розрахунок штучного освітлення

Мета розрахунку: обрати систему освітлення, джерело світла та світильник, з'ясувати кількість світильників для забезпечення нормованого освітлення та розташувати їх на плані приміщення.

Раціональне освітлення має велике значення для здоров'я та правильного організації праці. Під впливом світлового випромінювання прискорюються процеси вищої нервової діяльності, підвищується загальна активність та діяльність дихальних органів. Недостача світла може викликати напруження очей, ускладнює розрізнення предметів та притуплює увагу, що дуже при роботі з електрообладнанням. У зв'язку з цим необхідно особливу увагу приділити забезпеченню правильного освітлення.

Вихідні дані: розмір приміщення $a=91$ м, $b=62$ м.

Висота приміщення: $h=15$ м.

Характеристика приміщення цеху: виробниче опалювальне приміщення, що містить у робочій зоні менше ніж 1 мг/м^3 пилю, диму та копоти, з побіленою стелею, побіленими стінами з незавішеними шторами, вікнами та бетонним полом, контраст об'єкту розрізнення з фоном середньої, фон-середній.

Розрахунок штучного освітлення виконується методом коефіцієнту використання.

При розрахунку освітлення цим методом допускається відслонення розрахункової освітленості від нормованої не більш чим на $-10...+20\%$. Розрахунок освітлення коефіцієнта використання виконується згідно формулі:

$$\Phi = \frac{E \cdot S \cdot \kappa \cdot z}{N \cdot \eta}$$

					<i>ЄП.ПД.19.23.04.</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де:

Φ - необхідний світловий потік ламп у кожному світильнику, лм;

E – нормована мінімальне освітлення, лк; $E=200$ лк;

k – коефіцієнт запасу; $k=1,5$;

S – Освітлювальна площа, m^2 ;

z – коефіцієнт мінімального освітлення; $z=1,15$.

N – кількість світильників у приміщенні;

η - коефіцієнт використання світлового потоку.

Освітлювальна площа ділянки $S= 91 \times 62 = 5642 m^2$

При виборі джерела світла варто враховувати, що для освітлення виробничих приміщень перевагу варто віддати газорозрядним лампам. Як джерело світла пропоную використовувати газорозрядні лампи.

Визначаємо розрахункову висоту підвісу, м:

$$h=N-h_{св}-h_{рп}$$

де:

N – висота приміщення, м;

$h_{св}$ – висота свеса світильника від перекриття, м; $h_{св}=1$ м;

$h_{рп}$ – висота робочої поверхні над полом, м; $h_{рп} = 0,8$ м.

$$h = 15 - 1 - 0,8 = 13,2 \text{ м}$$

Відстань між світильниками, м

$$L = \lambda \cdot h$$

Де $\lambda = 1$ – найбільш вигідне співвідношення відстані між світильниками до розрахункової висоти підвісу.

$$L = 1 \cdot 13,2 = 13,2 \text{ м}$$

Кількість світильників у приміщенні:

$$N = \frac{S}{L^2} = \frac{5642}{13,2^2} = 32;$$

Для знаходження коефіцієнта витрат η знаходимо індекс приміщення:

					<i>ЄП.ПД.19.23.04.</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$i = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)}$$

$$i = \frac{91 \cdot 62}{13,2 \cdot (91 + 62)} = 2,8$$

Оцінимо коефіцієнти відображення поверхонь приміщення:

стеля - $\rho_{\text{п}}=70\%$, стін - $\rho_{\text{с}}=50\%$, робочої поверхні або підлоги - $\rho_{\text{р}}=10\%$.

За цими значеннями i та ρ визначаємо величину коефіцієнту використання світлового потоку: $\eta=74\%$.

$$\Phi = \frac{200 \cdot 5642 \cdot 1,5 \cdot 1,15}{32 \cdot 0,74} = 82200 \text{ лм}$$

Вибираємо лампи типу ДРИ 1000 потужністю 1000 Вт, напруга на лампі 220 В, світловий потік, після 100 годин горіння 90000, термін експлуатації 3000 годин.

Відхилення розрахункової освітленості від нормованої визначається як:

$$\Delta = \frac{(82200 - 90000)}{82200} = -0,095$$

При розрахунках освітлення допустима величина відхилень від нормованої, складає -10%...+20%.

Це відхилення входить у допустимі межі.

Загальна потужність яку споживають світильники складає:

$$P=1000 \cdot 32=32000 \text{ Вт} =32 \text{ кВт};$$

План розміщення світильників у цеху №2 зображене на малюнку

					<i>ЄП.ПД.19.23.04.</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5. Техніко – економічне обґрунтування проекту

5.1 Вступ

Розвиток техніки електроприводу складає одну з найважливіших сторін підвищення ефективності електрифікації та автоматизації різних галузей промисловості.

Основною тенденцією розвитку електроприводу є забезпечення більш повного його відповідності з вимогами ефективною роботи виробничих машин, агрегатів та технологічних комплексів.

В даному розділі проекту проводиться техніко – економічне обґрунтування проекту по впровадженню нового двигуна та удосконалення субблоку ЧПУ.

У результаті виконання проекту буде зроблений розрахунок капітальних витрат та експлуатаційних витрат базового та проектного варіантів. При впровадженні нового обладнання очікується, що джерелом економічної ефективності буде підвищено ефективність та надійність обладнання, зменшення простоїв, зменшення електроенергії що споживається, зниження втрат на поточний ремонт.

5.2 Капітальні витрати проекту

Капітальні вкладення – це грошові кошти, що призначені для створення та придбання основних фондів та нематеріальних активів, що підлягають амортизації. У даному випадку це грошові кошти, що призначені для здобування електрообладнання, що підлягає амортизації, транспортно–заготовчі та складські витрати, монтаж та наладка системи управління.

Капітальні затрати на здійснення проектного варіанта складають:

$$K_{\text{пр}} = K_{\text{д}} + K_{\text{с}} + Z_{\text{тзс}} + Z_{\text{мн}} + Z_{\text{пр}}, \quad (5.1)$$

де $K_{\text{д}}, K_{\text{с}}$ – вартість двигуна постійного струму ДК 1-1,52 та субблоку 935 числового програмного управління взята з прейскуранту цін ТОВ “Мета”.

$Z_{\text{тзс}}$ – транспортно–заготовчі та складські витрати.

$Z_{\text{мн}}$ – витрати на пуско–наладні роботи та монтаж обладнання,

$$Z_{\text{мн}} = \sum (Ч \cdot a_6 \cdot t) \cdot K_{\text{д}} \cdot K_{\text{см}} \cdot K_{\text{пр}}, \quad (5.2)$$

$$Z_{\text{мн}} = (4 \cdot 24,3 \cdot 8) \cdot 1,35 \cdot 1,375 \cdot 1,22 + (4 \cdot 24,3 \cdot 12) \cdot 1,35 \cdot 1,375 \cdot 1,22 = 4402 \text{ (грн.)}$$

					<i>ЄП.ПЛ.19.23.04.</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де Ч – кількість чоловік необхідне для монтажу та наладки обладнання;

a_6 – часова тарифна ставка інженера наладача, 6-го розряду, грн/ч;

t – час, необхідний для монтажу та наладки обладнання, ч;

K_d – коефіцієнт, враховуючий розмір доплат;

K_{cm} – коефіцієнт, враховуючий відчислення на соціальні заходи;

K_{pr} – коефіцієнт, враховуючий витрати на здійснення монтажних робіт.

Коефіцієнти отримані з бухгалтерської звітності заводу ТОВ “Дніпротяжбудмаш ім. Артема” за станом на 01.05.2019.

Вартість транспортно–заготовчих та складських витрат визначається з:

- відстані доставки обладнання від місця придбання до місця експлуатації;
- кількість, маси та габаритів обладнання;
- транспортних тарифів;
- розцінок на вантажно – розвантажувальні роботи;
- витрати на складську обробку.

Відстань доставки обладнання від місця придбання до місця експлуатації складає 252 км (Харків – Дніпро).

Маса електрообладнання складає 500 кг з урахуванням допоміжного інструменту для установки. Транспортування вантажним автомобілем складає 1750 грн згідно транспортним тарифам українського перевізника “Нова Пошта”. Розцінка на вантажно–розвантажувальні роботи складає 600 грн.

					<i>ЄП.ПЛ.19.23.04.</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 5.1.

Зведення капітальних витрат, грн.

№	Назва технічних коштів (комплектуючих виробів)	Умовні позначення	Кількість	Сума, грн
1	Електродвигун	K_d	1	11400
2	Субблок ЧПУ	K_c	1	1036
3	Демонтаж (різне)	$K_{дем}$	1	1527
4	Монтажно–накладні роботи	$Z_{мн}$	1	4402
5	Транспортні роботи	$Z_{тзс}$	1	2350
РАЗОМ				20715

Витрати на демонтаж застарілого обладнання складає 1527 грн.

$$K_{пр} = K_{об}(\sum_{i=1}^k C_i) + Z_{тзс} + Z_{мн} + Z_{пр} = 11400 + 1036 + 1527 + 4402 + 2350 = 20715 \text{ грн.}$$

5.3. Розрахунок експлуатаційних витрат

Експлуатаційних витрати – це поточні витрати на експлуатацію та обслуговування об'єкту проектування за заданий період, виражений у грошовій формі.

До основних статей експлуатаційних витрат по електротехнічному обладнанню відносяться:

- амортизаційні відрахування (C_a);
- заробітна плата обслуговуючого персоналу ($C_з$);
- відрахування на соціальні заходи від заробітної плати (C_c);
- витрати на технічне обслуговування та текучий ремонт обладнання (C_T);
- вартість електроенергії, що споживається об'єктом який проектується (C_e);
- інші експлуатаційні витрати ($C_{пр}$);

Таким чином, річні експлуатаційні витрати складають:

$$C = C_a + C_з + C_c + C_T + C_e + C_{пр} \quad (5.3)$$

					<i>ЄП.ПД.19.23.04.</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.3.1 Розрахунок амортизаційних відрахувань

Річний фонд амортизаційних відрахувань визначається у відсотках від суми капітальних витрат по усім видам основних фондів та нематеріальних активів

$$C_a = K \cdot H_a / 100 \quad (5.4)$$

де, H_a – норма амортизації для змінного обладнання, змінне обладнання відноситься до 3-ї групи фондів.

Таблиця 5.2

Розрахунок амортизаційних відрахувань

Найменування	Капітальні витрати, грн.	Норма амортизації, %	Сума амортизації, грн
Проектний варіант	20715	24	4972
Базовий варіант	26630	24	6391

5.3.2 Визначення річних витрат на експлуатацію та обслуговування

Обслуговування нового обладнання проходить з вимогами з програмою обслуговування, що надає постачальник. Роботи, передбачені програмою обслуговування, можуть бути виконані обслуговуючим персоналом, що має гідну підготовку.

Витрати на поточний ремонт по проектному обладнанню:

$$Z_{т.р} = \sum_{i=1}^n (R_i t_{1i} m_i R_{\Sigma i} + \frac{S_i \Pi_i}{T_i} T_{\phi}) \quad (5.5)$$

Проектні витрати:

$$Z_{т.р} = (24,3 * 7 * 1 * 2,5 + 11400 * 1 * 3405 / 10220) + (24,3 * 1,2 * 2 * 2,5 + 1036 * 1 * 3405 / 10220) = 4714 \text{ (грн.)}$$

Базові витрати:

$$Z_{т.р} = (24,3 * 7 * 1 * 2,5 + 16150 * 1 * 3405 / 10220) + (24,3 * 1,2 * 2 * 2,5 + 1310 * 1 * 3405 / 10220) = 6388 \text{ (грн.)}$$

де R_6 – часова тарифна ставка інженера-наладчика, 6-го розряду, грн./год;

					ЄП.ПЛ.19.23.04.	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

t_i – трудомісткість одного малого ремонту, ч/од;

m_i – число ремонтів за рік;

R_e – сумарна категорія складності ремонту;

Π_i – кількість однотипно-замінних елементів;

T_ϕ – число годин роботи апаратури у рік, год.;

T_i – середній термін служби деталей даного типу, год;

S – вартість однотипних замінних елементів;

Усі данні взяті з даних тех. відділу та бухгалтерської звітності на аналогічне обладнання заводу ТОВ “Дніпротяжбудмаш ім. Артема” за станом на 01.05.2019.

5.3.3 Розрахунок вартості споживчої електроенергії

Результат вартості споживчої електроенергії наводяться в таблиці 5.4.

Вартість електроенергії споживаної обладнанням на протязі року:

$$C_e = W_r \cdot C_e \quad (5.6)$$

де C_e – тариф 1 кВт*год електроенергії для споживачів I-го класу, по даним “Дніпрообленерго” за станом на 01.05.2019, грн.

W_r – кількість споживчої електроенергії за рік обладнанням, кВт;

$$W_r = N_y \cdot T_n \cdot K_{\text{инт}} \quad (5.7)$$

де T_n – номінальний час роботи станка за рік, год;

N_y – встановлена потужність обладнання, кВт;

$K_{\text{инт}}$ – інтегральний коефіцієнт використання потужності.

					ЄП.ПЛ.19.23.04.	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 5.4.

Розрахунок вартості, спожитої електроенергії

Варіант розрахунку	T_H , год	N_y , кВт	$K_{\text{инт}}$	C_{ϵ} , грн	Вартість електроенергії, грн
проектний	3405	0,7	0,6	2,63	3761
базовий	3405	2,8	0,6	2,63	15044

5.4 Визначення річної ефективності

Повна річна економія:

$$\epsilon = \epsilon_r - C, \text{ грн,}$$

де C – експлуатаційні витрати по даному об'єкту

ϵ_r – річна економія

$$\Delta C = C_{\text{баз}} - C_{\text{пр}} = 27823 - 13447 = 14373$$

$$C_{\text{баз}} = C_a + C_{\text{тех}} + C_{\text{ел}} = 6391 + 6388 + 15044 = 27823 \text{ грн,}$$

$$C_{\text{пр}} = C_a + C_{\text{тех}} + C_{\text{ел}} = 4972 + 4714 + 3761 = 13447 \text{ грн,}$$

$$\epsilon = 14373 \text{ грн.}$$

5.5 Визначення та аналіз показників економічної ефективності проекту

Оцінка економічної ефективності розглянутих в спеціальній частині дипломного проекту технічних та організованих рішенням здійснюється на основі визначення та аналізу наступних показників :

- розрахункового коефіцієнту ефективності (доходності) капітальних затрат

$$E_p = \frac{\epsilon}{K}, \quad (5.11)$$

де, ϵ – загальна річна економія від впровадження системи, тис. грн.;

K – капітальні затрати по варіанту, що викликали економію, тис. грн.

					<i>ЄП.ПЛ.19.23.04.</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тоді:

$$E_p = \frac{14373}{20715} = 0,69$$

- термін окупності капітальних витрат T_p показує, за скільки років вони окуплять себе за рахунок економії від впровадженні системи;

$$T_p = \frac{K}{\epsilon} \quad (5.12)$$

$$T_p = \frac{20715}{14373} = 1,4 \text{ (року)}$$

Підприємство здійснює фінансування капітальних витрат за рахунок позикових коштів. У цьому випадку варіант визнається економічно доцільним, якщо розрахунковий коефіцієнт ефективності перевищує річний рівень доходності альтернативного варіанту:

$$E_p > (N_{кр} + N_{інф})/100 \quad (5.13)$$

де $N_{кр}$ – банківська кредитна ставка, $N_{кр}=18\%$,

$N_{інф}$ – річний рівень інфляції, $N_{інф}=12\%$,

$$(18+12)/100 = 0,3$$

Проект (варіант) капітальних вкладень визнається доцільним при умові якщо

$$E_p > E_n \quad (5.14)$$

$$0,69 > 0,3$$

Таким чином, запропонований варіант є економічно ефективним.

Результати техніко-економічного обґрунтування ефективності впровадження результатів дипломного проекту приведені у таблиці 5.6.

					<i>ЄП.ПЛ.19.23.04.</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 5.6

Техніко – економічні показники проекту

Найменування показника	Одиниці виміру	Проектний варіант	Базовий варіант	Виміри порівняно з базовим варіантом	
				грн.	%
Капітальні затрати	грн.	20715	26630	-5915	-22
Експлуатаційні витрати, усього	грн.	13447	27823	-14376	-52
Амортизаційні витрати	грн.	4972	6391	-1419	-22
Технічне обслуговування та поточний ремонт	грн.	4714	6388	-1674	-26
Вартість споживчої енергії	грн.	3761	15044	-11283	-75
Річна економія	грн.	14373			
Розрахунковий коефіцієнт ефективності	частки одиниць	0,69			
Розрахунковий термін окупності	років	1,4			

					<i>ЄП.ПЛ.19.23.04.</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки

У економічному розділі проведено техніко – економічне обґрунтування доцільності проектного рішення. Виконаний розрахунок економічної ефективності проектує мого об'єкту. Вироблено порівняння базового та проектного варіантів. Загальна економія від впровадження системи складає 14373 грн, за рахунок підвищення надійності обладнання, зменшення простоїв, зменшення споживчої електроенергії, зниження витрат на поточний ремонт.

При цьому підвищується надійність та швидкодіючі роботи приводу станка, що приведе надалі до збільшення економічного ефекту та зниженню терміна окупності, також дозволить економити електроенергію при експлуатації станка.

Таким чином, вибір нового двигуна та субблоку – економічно вигідно.

					ЄП.ПЛ.19.23.04.	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновок

Об'єкт детальної розробки: електропривод прокольної подачі шпинделя.

Мета роботи: розробка автоматизованого приводу.

У розділі “Технологічна частина” була описана технологія нарізання різьблення та приведена технологічна характеристика верстата 2A622Ф4. На підставі цих викладів були пред'явлені вимоги до електроприводу та системі автоматизації.

На основі розрахунків, проведені у розділі “Автоматизованих електропривод”, вибрані елементи силового ланцюга: високомоментний двигун постійного струму, комплектний електропривод ЄТУ 2-2. Також проведено розрахунок параметрів об'єкта управління та параметрів САР.

У розділі “Числове програмне управління” модернізований субблок SB-935.

У розділі “Дослідження динаміки електроприводу” розраховані параметри динамічної моделі приводу, виконан розрахунок перехідних процесів у електроприводів у режимі пуску з використанням пакету MATLAB. Перехідні процеси, отримані у результаті моделюванні, задовольняють задані вимоги.

У розділі “Охорона праці” розраховані апарати захисту у сітях, згідно параметрів селективності. Проаналізовані небезпечні та шкідливі фактори у цеху та розраховано штучного освітлення приміщення.

					<i>ЄП.ПД.19.23.В.</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		