

Міністерство освіти і науки України
Одеський національний технологічний університет
Кафедра електромеханіки та мехатроніки



ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ БАКАЛАВРА
на тему «Модернізація електроприводу форпреса для соняшникової олії»

Здобувач СВО «Бакалавр»:

Гоцуленко Юрій Олегович

Студент групи АЕМт-20

Керівник :

Штепа Євген Павлович , к.т.н., доцент

Кваліфікаційна робота допускається до захисту
Рішення кафедри від 17.06. 2024 р. протокол №12.
Завідувач(ка) кафедри Осадчук П.І. _____

Одеса - 2024 рік

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет: Автоматизації та робототехніки

Кафедра: Електромеханіки та мехатроніки

Ступінь вищої освіти: бакалавр

Спеціальність: 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Освітня програма: Інтелектуально-керовані електромеханічні системи

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Зав. кафедри ЕтаМ

_____Осадчук П.І.

«_____»_____2024 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ здобувача СВО «Бакалавр» Гоцуленко Юрій Олегович

1. Тема роботи: «Модернізація електроприводу форпреса для соняшникової олії»

Керівник роботи: Штепа Євген Павлович к.т.н., доцент

Затверджено наказом ОНТУ № 797-03 від 19.12.2023 р.

2. Термін здачі здобувачем закінченої роботи 10.6.2024 р.

3. Вихідні дані роботи: Прес МП -700; продуктивність (по насінню соняшнику) 36 т/доб; частота обертання валів 60 об/хв; Ступінь стискування 5,6.

4. Перелік питань, які потрібно розробити :

1. Технологія сушки насіння соняшника.

2. Конструктивне виконання форпреса

3. Вибір потужності двигуна електроприводу форпреса.

4. Вибір перетворювача частоти

5. Дослідження системи управління електроприводом на електронній моделі.

6. Економічна частина.

7. Техніка електробезпеки при експлуатації електрообладнання.

5. Перелік демонстраційного матеріалу. Слайди презентації:

1. Титульний слайд. 2. Актуальність теми, об'єкт проектування, мета і завдання роботи. 3. Конструкція форпреса; 4. Розрахунок навантажень 5. Розрахунок потужності і вибір двигуна. 6. Перетворювач частоти: технічна характеристика, схема вмикання. 8. Математична модель електроприводу. 9. Результати досліджень електроприводу на електронній моделі. 8. Модель та результати моделі.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання: 21.12.2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи бакалавра	Строк виконання етапів	Прим
1	Загальна характеристика технологічного процесу виробництва соняшникової олії.	2.05.2024	
2	Розрахунок навантажень і вибір потужності двигуна. Вибір перетворювача частоти	5.05.2024	
3	Вибір перетворювача частоти. Розробка схеми управління електроприводом	10.05.2024	
5	Дослідження системи управління електроприводом на електронній моделі.	15.05.2024	
6	Економічна частина	25.05.2024	
7	Техніка безпеки	10.06.2024	
8	Попередній захист кваліфікаційної роботи.	15.06.2024	
9	Перевірка роботи на добросовісність. Рецензування роботи.	22.06.2024	
10	Захист кваліфікаційної роботи бакалавра.	25.06.2024	

Здобувач: Гоцуленко Ю.О. _____

Керівник проекту доцент Штепа Є.П. _____

Несу відповідальність за ідентичність електронного та друкованого варіантів кваліфікаційної роботи, даю згоду на обробку персональних даних та не заперечую проти розміщення кваліфікаційної роботи на офіційних web-ресурсах ОНТУ.

Підтверджую, що в кваліфікаційній роботі відсутні порушення норм академічної доброчесності.

Здобувач Гоцуленко Ю.О. _____

РЕФЕРАТ

Гоцуленко Ю.О. «Модернізація електроприводу форпреса для соняшникової олії». Кваліфікаційна робота бакалавра. Одеса: ОНТУ, 2024. – 54 с. Іл.: 26. Табл.: 6.

У кваліфікаційній роботі описано автоматизований електропривод форпреса для соняшникової олії, області його застосування та конструктивні особливості. Сформульовано вимоги до електроприводу, розраховано навантаження та обрано двигун для приводу форпреса для соняшникової олії.

Вибрано систему електроприводу «перетворювач частоти - асинхронний двигун», обрано та досліджено закон керування за допомогою перетворювача частоти.

Розраховано електричні параметри схеми заміщення двигуна. Змодельовано перехідні процеси двигуна при прямому пуску та в комбінації з перетворювачем частоти, побудовано механічні та електромеханічні статичні характеристики.

Розраховано економічний ефект від модернізації електроприводу форпреса для соняшникової олії та наведено заходи з охорони праці та техніки безпеки.

Ключові слова: форпрес для соняшникової олії, автоматизований електропривод, перетворювач частоти, математична модель, частотне регулювання обертів, механічна характеристика.

ABSTRACT

Gotsulenko Yu.O. "Modernization of the electric drive of the forpress for sunflower oil". Bachelor's qualifying work. Odesa: ONTU, 2024. – 54 p. Illustration: 26. Table: 6.

The qualification work describes the automated electric drive of the forepress for sunflower oil, its areas of application and design features. The requirements for the electric drive have been formulated, the load has been calculated and the engine has been selected to drive the sunflower oil forepress.

The electric drive system "frequency converter - asynchronous motor" was selected, the law of control using the frequency converter was selected and investigated.

The electrical parameters of the engine replacement scheme were calculated. Transient processes of the engine during direct start and in combination with a frequency converter were simulated, mechanical and electromechanical static characteristics were constructed.

The economic effect of the modernization of the electric drive of the forepress for sunflower oil is calculated, and the measures for occupational health and safety are given.

Key words: prepress for sunflower oil, automated electric drive, frequency converter, mathematical model, frequency regulation of revolutions, mechanical characteristics.

ЗМІСТ

Вступ.....	6
1. Загальна характеристика технологічного процесу виробництва соняшникової олії.....	11
2. Потужності двигуна електроприводу форпреса.....	21
2.1 Розрахунок навантажень і вибір двигуна.....	21
2.2. Вибір системи електроприводу.....	23
3. Вибір перетворювача частоти.....	27
3.1.Принцип дії перетворювача частоти.....	27
3.2.Розрахунок параметрів і вибір перетворювача частоти.....	32
4.Розробка схеми управління електроприводом.....	35
4.1. Функціональна схема електроприводу.....	35
4.2. Розрахунок і вибір елементів вихідного фільтру.....	36
4.3.Розрахунок і вибір елементів згладжуючого фільтру.....	38
5. Дослідження системи управління електроприводом на електронній моделі.....	40
6. Економічна частина	52
7. Техніка безпеки.....	47
Список літератури.....	54

					КРМ.ЕМ та М.793-03.2.1			
<i>Изм.</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	Модернізація електроприводу форпреса для соняшникової олії ОНТУ, гр. АЕМТ-20			
<i>Розробив.</i>		Гоцуленко						
<i>Перевірів.</i>		Штепа Є. П.						
<i>Реценз.</i>								
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затверд.</i>								
					<i>Арк</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушіє</i>	
					6	54		

ВСТУП

Якість соняшnikової олії залежить від якості насіння соняшника, що поступають на переробку, термінів і умов зберігання насіння перед віджиманням. Основними якісними характеристиками для соняшnikового насіння є маслянистість, вологість, термін дозрівання. Масляниста залежить від сорту соняшника і від того, наскільки тепле і сонячне видалося літо. Чим вище маслянистість насіння, тим більше вихід масла. Оптимальний відсоток вологості соняшnikового насіння, що поступає на переробку, – 6 %. Дуже вологе насіння і зберігаються погано, і важче. Термін дозрівання в наших кліматичних умовах – дуже важливий, що побічно впливає на ціну соняшnikової олії. Пік виробництва і пропозиції готового рослинного масла – жовтень – грудень. А пік попиту – кінець літа – почало осінь. Відповідно, чим раніше отримана сировина, тим швидше готовий продукт поступить споживачеві. Крім того, насіння має бути добре очищені, сміття не повинно перевищувати 1%, а битого зерна – 3%. Перед переробкою проводиться додаткове очищення, сушка, обрушення (руйнування) шкірки насіння і відділення її від ядра. Потім насіння подрібнює, виходить мезга.

Виробництво соняшnikової олії. Рослинне масло з мезги насіння соняшника отримують 2-ма методами – віджиманням або екстрагуванням. Віджимання масла – більш екологічний спосіб. Хоча вихід масла, звичайно, значно менше і не перевищує 30%. Як правило, перед віджиманням м'ятку прогрівають при 100-110 °С у жаровнях, одночасно перемішуючи і зволожуючи. Потім просмажені мезгу віджимають в шнекових пресах. Повнота віджимання рослинного масла залежить від тиску, в'язкості і щільності масла, товщину шаруючи мезгу, тривалість віджимання і інших чинників. Характерний смак масла після гарячого віджимання нагадує підсмажені насіння соняшника. Масла, отримані гарячим пресуванням, інтенсивніше забарвлені і ароматизовані за рахунок продуктів розпаду, які утворюються під час нагрівання. А соняшnikову олію холодного віджимання отримують з м'ятки без прогрівання. Перевага такого

					КРМ.ЕМ та М.793-03.2.1	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		7

масла – збереження в ній більшої частини корисних речовин: антиоксидантів, вітамінів, лецитину. Негативний момент – такий продукт не може довго зберігатися, швидко каламутніє і згіркне. Макуха, що залишається після віджимання масла, може бути підданий екстрагуванню або використовується в тваринництві. Соняшникову олію, отриману методом віджимання, називають "сирою", оскільки після віджимання його тільки відстоюють і фільтрують. Такий продукт володіє високими смаковими і живильними властивостями.

Екстрагування соняшnikової олії. Виробництво соняшnikової олії методом екстрагування передбачає використання органічних розчинників (найчастіше екстракційних бензинів) і проводиться в спеціальних апаратах – екстракторах. В ході екстрагування виходить мисцелла – розчин масла в розчиннику і знежирений твердий залишок – шрот. З мисцелли і шроту розчинник відгоняється в дистиляторах і шнекових випарниках. Готове масло відстоюється, фільтрується і піддається подальшій переробці. Екстракційний метод витягання масел економічніший оскільки дозволяє максимально витягувати жир з сировини – до 99%.

Рафінування соняшnikової олії. Масло, піддане рафінуванню, практично не має кольору, смаку, запаху. Таке масло ще називають знеособленим. Його харчова цінність визначається лише мінімальною наявністю незамінних жирних кислот (в основному, лінолевою і ліноленою), які ще називають вітаміном F. Цей вітамін відповідає за синтез гормонів, підтримку імунітету. Він додає стійкість і еластичність кровоносним судинам, зменшує чутливість організму до дії ультрафіолетових променів і радіоактивного випромінювання, регулює скорочення гладкої мускулатури, виконує ще безліч життєво важливих функцій. При виробництві рослинного масла існує декілька ступенів рафінування.

Перший ступінь рафінування. Позбавлення від механічних домішок – відстоювання, фільтрація і центрифугування, після чого рослинне масло надходить у продаж як товарне нерафіноване.

Другий ступінь рафінування. Видалення фосфатидів або гідратація – обробка невеликою кількістю гарячіше – до 70 °С води. В результаті білкові і

					КРМ.ЕМ та М.793-03.2.1	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		8

слизисті речовини, які можуть привести до швидкого псування масла, набухають, випадають в осад і віддаляються. Нейтралізація – це дія на нагріте масло основою (лугом). На цьому етапі віддаляються вільні жирні кислоти, окислення, що є каталізатором, і причиною диму при жарінні. Також на стадії нейтралізації віддаляються важкі метали і пестициди. Нерафіноване масло має трохи меншу біологічну цінність, чим сире, оскільки при гідратації віддаляється частина фосфатидів, та зате зберігатися довше. Така обробка робить рослинне масло прозорим, після чого воно називається товарним гідратованим.

Третій ступінь рафінування. Виведення вільних жирних кислот. При надмірному змісті даних кислот у рослинного масла з'являється неприємний смак. Що пройшло ці три етапи рослинне масло називається вже рафінованим не дезодорованим.

Четвертий ступінь рафінування. Вибілювання — обробка масла адсорбентами органічного походження (найчастіше спеціальними глинами), що поглинають фарбувальні компоненти, після чого жир освітлюється. Пігменти переходять в масло з насіння і також загрожують окисленням готового продукту. Після вибілювання в маслі не залишається пігментів, зокрема каротиноїдів, і воно стає ясно-солом'яним.

П'ятий ступінь рафінування. Дезодорація – видалення ароматичних речовин шляхом дії на соняшникову олію гарячим сухою парою при температурі 170-230°C в умовах вакууму. Під час цього процесу знищуються пахучі речовини, які приводять до окислення. Видалення вищезгаданих, небажаних домішок приводить до можливості збільшення терміну зберігання масла.

Шостий ступінь рафінування. Виморожування – видалення воску. Воском покрите все насіння, це своєрідний захист від природних чинників. Віск додає маслу каламутність, особливо при продажі на вулиці в холодний період року і тим самим псують його товарний вигляд. В процесі виморожування масло виходить безбарвне. Пройшовши всі етапи, рослинне масло і стає знеособленим. З такого продукту виготовляють маргарин, майонез, кулінарні жири, застосовують при

					КРМ.ЕМ та М.793-03.2.1	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		9

консервації. Тому воно не повинне мати специфічного смаку або запаху, щоб не порушувати загальний смак продукту.

На прилавки соняшникова олія потрапляє як наступні продукти: Рафіноване не дезодороване масло – зовні прозоре, але з характерним для нього запахом і кольором. Рафіноване дезодороване масло – прозоре, ясно-жовте, без запаху і смаку насіннячок. Нерафіноване масло – темніше, ніж вибілене, може бути з осадом або суспензією, але проте воно пройшло фільтрацію і, звичайно, зберегло запах, який ми всі знаємо з дитинства

					КРМ.ЕМ та М.793-03.2.1	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		10

1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА СОНЯШНИКОВОЇ ОЛІЇ

М'ятка, отримана у вальцьовому верстаті, поступає в чанову жаровню 1 (рис.1.1), де починається її волого теплова обробка. В результаті цього відбуваються зміни форм зв'язку масла з білковим комплексом ядра. При цьому збільшується зміст поверхневого масла, яке легко віджимається в пресах.

При виході з жаровні оброблена м'ятка, яка тепер називається мезга, поступає в шнековий прес 2 для знімання масла в так званий форпрес. Тут під дією тиску масло частково відпресовується і стікає в піддон. Частково знежирена мезга, або так звана форпресова черепашка, після виходу з преса піддається подальшій переробці.

Отримане форпресове масло направляють на попереднє очищення. При цьому масло з пресів разом з осипом поступає на гуще-ловушку 3, де за рахунок гравітаційних сил відбувається процес відстоювання масла, осип, що внаслідок чого відокремився, містить велику кількість масла, знову відправляється на переробку в жаровню.

Заздалегідь очищене масло поступає у фільтр-прес для гарячої фільтрації. Шлам з фільтр-преса містить значну кількість масла, тому у фільтр-пресі його віджимають за допомогою інертного газу. Знежирений таким чином шлам прямує знову в жаровню для переробки. Отримане фільтроване масло виводиться з цеху.

З метою поліпшення якості і механізації технологічних процесів при очищенні пресового масла гуще-ловушки і фільтро-пресу замінюють на горизонтальні шнекові центрифуги і сепараторів.

Механічні домішки з масла віддаляються в полі відцентрових сил, що утворюються за рахунок обертання відповідних робочих органів цих машин.

Схема подальшої переробки отриманої форпресової черепашки, що містить 15...18% масел, не залежить від виду культури; вона обумовлюється тільки способом витягання масла, що залишилося, — пресуванням або екстракцією.

					КРМ.ЕМ та М.793-03.2.1	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		11

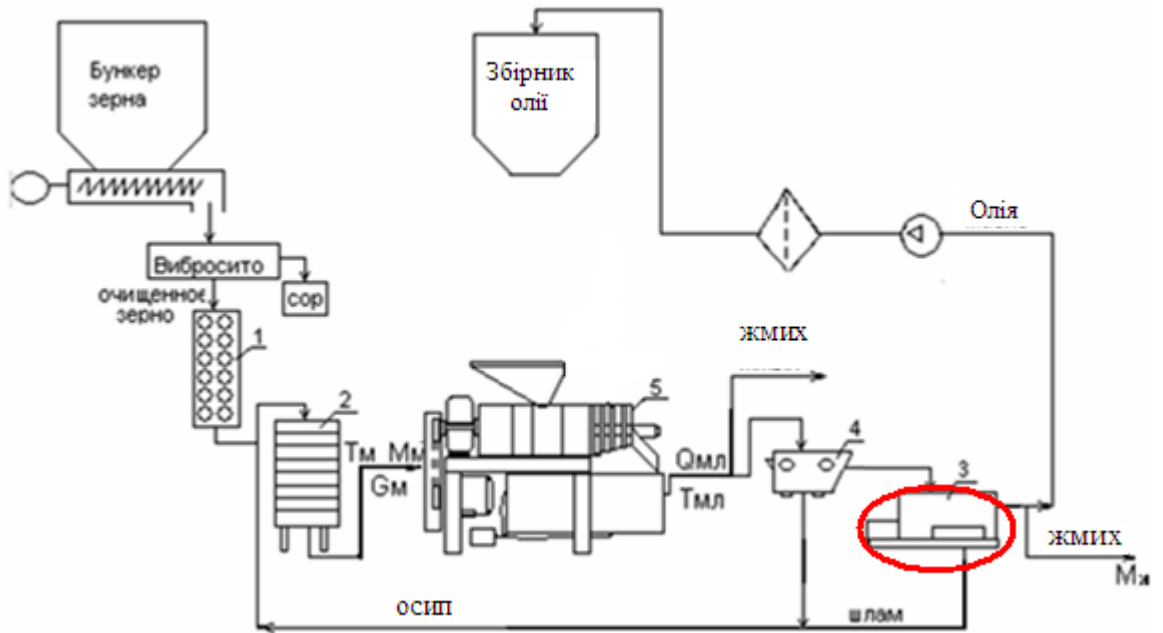


Рис. 1- Технологічна схема: 1-вальцевий станок; 2-жаровня; 3-шнековий прес (форпрес); 4-гуцеловушка; 5-фільтрпрес.

Для отримання масла механічним способом із застосуванням тиску можна використовувати гідравлічні і шнекові преси. Гідравлічні преси раніше мали широке розповсюдження, але із-за конструкційних недоліків в даний час повністю витиснені шнековими пресами.

Шнекові преси можна класифікувати по технологічному призначенню на дві групи:

- для попереднього знімання масла (форпреси);
- для остаточного знімання масла (експеллери).

Форпреси застосовують в технологічних схемах форпресування — екстракція і двократного пресування для попереднього знімання масла. Основними ознаками форпресів є: великі діаметри зерного циліндра і шнекового валу, що досягають в приймальній камері 320...250 мм; збільшена частота обертання шнекового валу (18...28 мін⁻¹, а в деяких конструкціях 30... 100 мін⁻¹).

Для остаточного (другого) віджимання масла в схемі двократного пресування призначене шнековий прес-експеллер. Експеллер характеризується

меншим діаметром зерного циліндра і шнекового валу (130... 155 мм), пониженою частотою обертання шнекового валу (4,5... 5,5 мин⁻¹).

Фізична суть процесу пресування мезги в шнекових пресах полягає в наступному. Приготована для пресування мезга є сипким пористим матеріалом з пластичними властивостями. Під дією тиску від стислої мезги відділяється рідка частина — масло, а тверді частинки спресовуються в брикет — макуху. При стискуванні мезги відбувається зменшення проміжків між частинками, що приводить до виділення масла. При значному ущільненні самих частинок віджимається основна кількість масла.

Основна кількість масла (до 96 %) від витягнутого в пресі; віджимається в першій половині преса, в зоні першого і другого ступенів тиску. При пресуванні мезги відбувається додатковий розтин кліток (10... 15%).

Поєднання пластичних і пружних властивостей мезги, яких набуває вона при смажінні, є одним з основних чинників, що визначають величину тиску, що розвивається в пресі, що обумовлює і глибину віджимання масла. Крім того, глибин віджимання залежить від характеру наростання тиску і часу прибуття мезги під тиском.

Оптимальна пластичність мезги для попереднього мул; остаточного пресування досягається певними режимами влаготеплової обробки. Відхилення від встановлених режимів спричиняє за собою зміну оптимального поєднання вологості і температури мезги, що приводить до порушення процесу пресуванні. Мезга вологістю вище оптимальною має підвищену пластичність, при її пресуванні макуха не формується, виходить у вигляді безформної пластинчастої маси. Стік масла змішається у бік надходження матеріалу. Через зерные щілини виходить значна кількість мезги. Різко знижується навантаження на електродвигун преса.

У разі пересушування мезга має знижену пластичність, а пресований матеріал виходить з преса у вигляді сухої жорсткої високоолійної крупи або муки. Стік масла по зерному циліндру зміщується у бік виходу макухи. Навантаження

					КРМ.ЕМ та М.793-03.2.1	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		13

на приводний електродвигун спочатку зростає, а потім різко знижується, що є наслідком падіння тиску на пресовану мезгу.

Дія на мезгу високого тиску в процесі пресування сприяє до ущільнення молекул амінокислот, зміни властивостей білкових речовин, що має аналогічний характер з денатурацією, і до зниження їх розчинності. Високий тиск в процесі остаточного пресування приводить до переміщення частинок мезги, викликаючи при цьому додаткове нагрівання пресованого матеріалу, що, у свою чергу, обумовлює глибшу денатурацію білків з 70 до 35%.

Брикетування макухи відбувається таким чином. Під дією тиску частинки мезги зближуються за рахунок зменшення проміжків між ними, потім, стикаючись, тиснуть одна на одну, що приводить до деформації окремих частинок в місцях розриву масляних плівок. У певний період мезга перестає бути сипкою, а поводить як ціле пластичне тіло. При подальшому підвищенні тиску утворюється пористий брикет гелю макухи. При знятті тиску за рахунок пружних деформацій в макусі утворюються крупні тріщини і дрібні пори.

1.1. Опис конструкції технологічного агрегату і особливостей його експлуатації.

Маслопресс моделі “МП - 700” дозволяє виконувати холодне і гаряче пресування маслосодержащих культур, а також їх макух по схемі одно-, двух- або триразового пресування. Відмітною особливістю даної моделі є легкість очищення і складки, які займають близько 5 хвилин, міцності, а також можливості повторного пресування.

Призначення преса

1. Прес МП -700 призначений для отримання рослинних масел з насіння соняшнику, сої, рапсу, рицини, гірчиці, і інших масло содержащих культур методом пресування без попередньої обробки сировини.
2. Сировина повинна мати вологість не вище 6 - 7%
3. прогріто до температури 50°C

					КРМ.ЕМ та М.793-03.2.1	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		14

Очищено від органічного сміття, мінеральних домішок, металевих і твердих предметів.

Технічні дані

1.Продуктивність (по насінню соняшнику) т/сутки	36
2.Частота обертання валів, об/мин	60
3.Ступінь стискування	5,6
4.Діапазон температур нагріву мятки °С	90 -150
5.Вихід масла при маслянистій насіння соняшник	50 %)
6. Залишкова масляниста макухи (для соняшнику),	12-14%
7.Осип з преса %, не більш	6
8.Зазори зерних камер, мм	0,45; 0,25
9.Ємкість бака шлючи збору масла, л	200
10.Напруга мережі змінного струму, В	380±10%
11.Частота струму, Гц	50±1
12.Число фаз	3
13.Максимальна і споживана потужність, кВт	15
14.Габаритні розміри, мм, не більш	
• довжина	3400
• ширина	1200
• висота	1600
15.Маса преса, не більш, кг	2500
16.Обслуговуючий персонал, чіл.	1
• - при використанні непрогрітою або вологою насіннячка продуктивність і	

вихід масла знижується

Пристрій преса

					КРМ.ЕМ та М.793-03.2.1	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		15

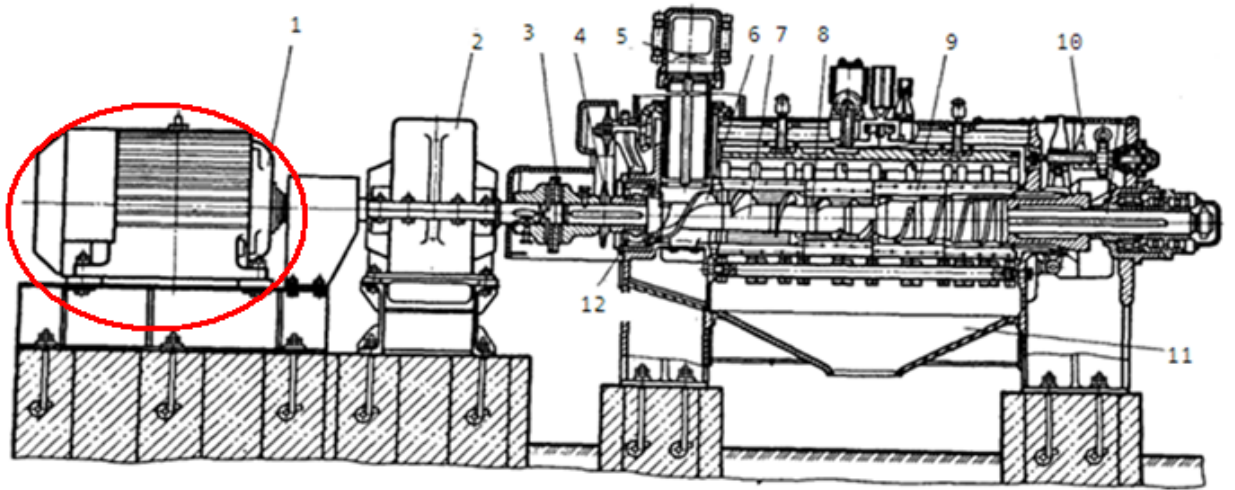


Рис. 2- Пристрій форпреса

Прес складається з наступних основних вузлів:

- 1-Електродвигун
- 2-редуктор
- 3-муфта
- 4- зірочка ланцюгової передачі
- 5-живильник преса
- 6- шнековий виток
- 7- Шнековий вал
- 8- перехідне кільце
- 9- Зернова камера
- 10 - Механізм для зміни товщини що виходить з преса макухи
- 11 – Масло-збірний пристрій
- 12 - сферичні дворядні підшибники.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

КРМ.ЕМ та М.793-03.2.1

Лист

16

2. ВИБІР ПОТУЖНОСТІ ДВИГУНА ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ФОРПРЕСА.

2.1 Розрахунок навантажень і вибір двигуна.

За технічним завданням на проектування відомі параметри механізму і бажана продуктивність системи. Продуктивність шнекового форпреса прямо пропорційна швидкості обертання механізму і знаходиться по формулі:

$$Q = \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2) \cdot S \cdot n \cdot \varphi \cdot 60 = \frac{\pi}{4} \cdot (0,4^2 - 0,1^2) \cdot 0,2 \cdot 16 \cdot 0,818 \cdot 60 = 15 \text{ м}^3 / \text{год} \quad (2.1)$$

де $D=0.4\text{м}$ - зовнішній діаметр шнека;

$d=0.1\text{м}$ – діаметр валу;

$S=0.2\text{ м}$ – крок гвинта шнека;

n - швидкість обертання шнекового живильника;

φ - коефіцієнт продуктивності.

Для того, щоб визначити швидкість обертання шнекового живильника, яка потрібна для забезпечення заданої продуктивності системи, виражаємо її з формули (2.1):

$$n = \frac{K_3 \cdot Q'}{\frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2) \cdot S \cdot \varphi \cdot 60}, (\text{об} / \text{мин}) \quad (2.2)$$

де K_3 – коефіцієнт запасу, $K_3=1,1-1,3$;

$$Q' = \frac{Q}{\gamma_0} = \frac{15 \cdot 10^3}{400} = 37,5 \text{ м}^3 / \text{год}$$

Для горизонтального шнека пасивна область цілком розміщується на шнеку за умови $S/D \geq 1$ і отже застосовна формула:

					КРМ.ЕМ та М.793-03.2.1	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		17

$$\varphi = 0,87 \cdot \left(1 - 0,237 \left(\frac{S}{D} \right)^2 \right) \quad (2.3)$$

$$\varphi = 0,87 \cdot \left(1 - 0,237 \cdot \left(\frac{0,2}{0,4} \right)^2 \right) = 0,818$$

Тоді по формулі (2.2) розраховуємо швидкість обертання шнекового живильника:

$$n = \frac{1,23 \cdot 15}{\frac{\pi}{4} \cdot (0,4^2 - 0,1^2) \cdot 0,2 \cdot 0,818 \cdot 60} = 16 \text{ об/хв}$$

Секундна продуктивність

$$Q^c = \frac{K_3 \cdot Q}{3600}, \text{ м}^3 / \text{с}, \quad (2.4)$$

$$Q^c = \frac{1,23 \cdot 15}{3600} = 0,0052 \text{ м}^3 / \text{с}.$$

Питома витрата енергії

$$A = \frac{2 \cdot \pi \cdot \mu \cdot L \cdot \gamma_0 \cdot g}{\frac{S}{D}}, \frac{\text{Дж}}{\text{м}^3} \quad (2.5)$$

$$A = \frac{2 \cdot \pi \cdot \mu \cdot L \cdot \gamma_0 \cdot g}{\frac{S}{D}} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 0,8 \cdot 5 \cdot 400 \cdot 9,81}{\frac{0,2}{0,4}} = 1,97 \cdot 10^5 \frac{\text{Дж}}{\text{м}^3},$$

де $\mu=0,8$ - коефіцієнт тертя;

L - довжина шнека;

γ_0 - насипна об'ємна маса матеріалу (кг/м^3).

Розрахункова потужність на валу приводу

$$P = Q^c \cdot A, \text{ кВт}, \quad (2.6)$$

$$P = 0,0052 \cdot 1,97 \cdot 10^5 = 10,2 \text{ кВт}.$$

Розрахунковий момент опору на валу

					КРМ.ЕМ та М.793-03.2.1	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		18

$$M = \frac{P}{\omega_{расч}}, Нм, \quad (2.7)$$

$$M = \frac{P}{n/9,55} = \frac{10,2}{16/9,55} = 6,1 Нм.$$

Умови вибору електродвигуна:

Потужність двигуна.

Таблиця 2.1 – Паспортні дані АИР160М6

$U_H, В$	$P_H, кВт$	$\eta_n, \%$	$\cos \varphi_n$	$n_H, об/мин$	$\frac{M_{пуск}}{M_n}$	$\frac{M_{max}}{M_n}$	$\frac{I_n}{I_H}$	J	Маса, кг
380	15	87	0,85	970	2,7	3	6,5	0.15	190

2.2. Вибір системи електроприводу

Сучасний регульований електропривод містить, як правило, статичний (електронний) перетворювач електроенергії (регулятор, комутатор), за допомогою якого забезпечується економічне і плавне регулювання параметрів руху в широкому діапазоні, формування перехідних процесів із заданою якістю, автоматизація процесів управління. Тип керованого перетворювача, тип електродвигуна, а також спосіб дії, що управляє, на двигун визначають в цілому систему електроприводу.

Вибір системи електроприводу можливий на основі порівняльного аналізу технічних даних, приведених в таблиці 1, і початкових даних на проектування електроприводу з урахуванням викладених вище за особливості застосування найбільш поширених систем електроприводу.

Таблиця 2.2-Технічні показники систем електроприводу

Найменування показників	ТП-Д	ШИР-Д	ПЧИ-АД	НПЧ-АД	ТРН-АД	АВК
Джерело Живлення	~	~ / =	~ / =	~	~	~
Регулювання швидкості	вниз1:20 вверх3:1	вниз1:10	вниз1:10 вверх2:1	вниз1:4*	вниз 1:2**	Вниз 1:2
Діа пазон потужностей	2–1000 кВт	до 10 кВт	5–100 кВт	10–100 кВт	2–150 кВт	50–200 кВт

3. ВИБІР ПЕРЕТВОРЮВАЧА ЧАСТОТИ.

3.1. Принцип дії перетворювача частоти.

Статичні перетворювачі частоти є найбільш досконалими пристроями управління асинхронним приводом в даний час.

Частотний перетворювач в комплекті з асинхронним електродвигуном дозволяє замінити електропривод постійного струму. Системи регулювання швидкості двигуна постійного струму достатньо прості, але слабким местом такого електроприводу є електродвигун. Він дорогий і ненадійний. При роботі відбувається іскріння щіток, під впливом електроерозії зношується колектор. Такий електродвигун не може використовуватися в запиленому і вибухонебезпечному середовищі.

Асинхронні електродвигуни перевершують двигуни постійного струму по багатьом параметрам: вони прості по пристрою і надійні, оскільки не мають рухомих контактів. Вони мають менші в порівнянні з двигунами постійного струму розміри, масу і вартість при тій же потужності. Асинхронні двигуни прості в виготовленні і експлуатації.

Основний недолік асинхронних електродвигунів – складність регулювання їх швидкості традиційними методами (зміною живлячої напруги, введенням додаткових опорів в ланцюг обмоток).

Управління асинхронним електродвигуном в частотному режимі до недавнього часу було великою проблемою, хоча теорія частотного регулювання була розроблена ще в тридцятих роках. Розвиток частотно-регульованого електроприводу стримувався високою вартістю перетворювачів частоти. Поява силових схем з IGBT-транзисторами, розробка високопродуктивних мікропроцесорних систем управління дозволило різним фірмам Європи, США і Японії створити сучасні перетворювачі частоти доступної вартості.

Відомо, що регулювання частоти обертання виконавчих механізмів можна здійснювати за допомогою різних пристроїв: механічних варіаторів, гідравлічних муфт, що додатково вводяться в статор або ротор резисторами,

					КРМ.ЕМ та М.793-03.2.1	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		22

електромеханічними перетворювачами частоти, статичними перетворювачами частоти.

Принцип частотного методу регулювання швидкості асинхронного двигуна полягає в тому, що, змінюючи частоту f живлячої напруги, можна при незмінному числі пар полюсів p змінювати кутову швидкість магнітного поля статора.

$$\omega_0 = \frac{2\pi \times f_1}{p}$$

Цей спосіб забезпечує плавне регулювання швидкості в широкому діапазоні, а механічні характеристики володіють високою жорсткістю.

Регулювання швидкості при цьому не супроводиться збільшенням ковзання асинхронного двигуна, тому втрати потужності при регулюванні невеликі.

Для отримання високих енергетичних показників асинхронного двигуна – коефіцієнтів потужності, корисної дії, перевантажувальній здатності – необхідно одночасно з частотою змінювати і напругу, що підводиться.

Закон зміни напруги залежить від характеру моменту навантаження M_c . При постійному моменті навантаження $M_c = const$ напруга на статорі повинна регулюватися пропорційно частоті:

$$\frac{U_1}{f_1} = const$$

Для інших моментів навантаження (наприклад, вентилятор) цей закон має вигляд:

$$\frac{U_1}{\sqrt{f_1}} = const$$

$$\frac{U_1}{f_1^2} = const$$

Таким чином, для плавного безступінчатого регулювання частоти обертання валу асинхронного електродвигуна, перетворювач частоти повинен забезпечувати одночасне регулювання частоти і напруги на статорі асинхронного двигуна.

Застосування регульованого електроприводу забезпечує енергозбереження і дозволяє отримувати нові якості систем і об'єктів. Значна економія електроенергії забезпечується за рахунок регулювання якого-небудь технологічного параметра.

Якщо це транспортер або конвеєр, то можна регулювати швидкість його руху. Якщо це насос або вентилятор – можна підтримувати тиск або регулювати продуктивність. Якщо це верстат, то можна плавно регулювати швидкість подачі або головного руху.

Більшість сучасних перетворювачів частоти побудована по схемі подвійного перетворення. Вони складаються з наступних основних частин: ланки постійного струму (некерованого випрямляча), силового імпульсного інвертора і системи управління.

Ланка постійного струму складається з некерованого випрямляча і фільтру. Змінна напруга живлячої мережі перетвориться в ньому в напругу постійного струму.

Силовий трифазний імпульсний інвертор складається з шести транзисторних ключів. Кожна обмотка електродвигуна підключається через відповідний ключ до позитивного і негативного виводів випрямляча. Інвертор здійснює перетворення випрямленої напруги в трифазну змінну напругу потрібної частоти і амплітуди, яка прикладається до обмоткам статора електродвигуна.

У вихідних каскадах інвертора як ключі використовуються силові IGBT-транзистори. В порівнянні з тиристорами вони мають вищу частоту перемикання, що дозволяє виробляти вихідний сигнал синусоїдальної форми з мінімальними спотвореннями.

Перетворювач частоти складається з некерованого діодного силового випрямляча В, автономного інвертора, системи управління ШИМ, системи автоматичного регулювання, дроселя L_v і конденсатора фільтру C_v (рис.3.1). Регулювання вихідної частоти $f_{вих}$ і напруга $U_{вих}$ здійснюється в інверторі за рахунок високочастотного широко-імпульсного управління.

Широко-імпульсне управління характеризується періодом модуляції, усередині якого обмотка статора електродвигуна підключається по черзі до позитивного і негативного полюсів випрямляча.

Тривалість цих станів усередині періоду ШИМ модулюється по синусоїдальному закону. При високих (наприклад 2.15 кГц) тактових частотах

					КРМ.ЕМ та М.793-03.2.1	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		24

ШИМ, в обмотках електродвигуна, унаслідок їх властивостей, що фільтрують, течуть синусоїдальні струми.

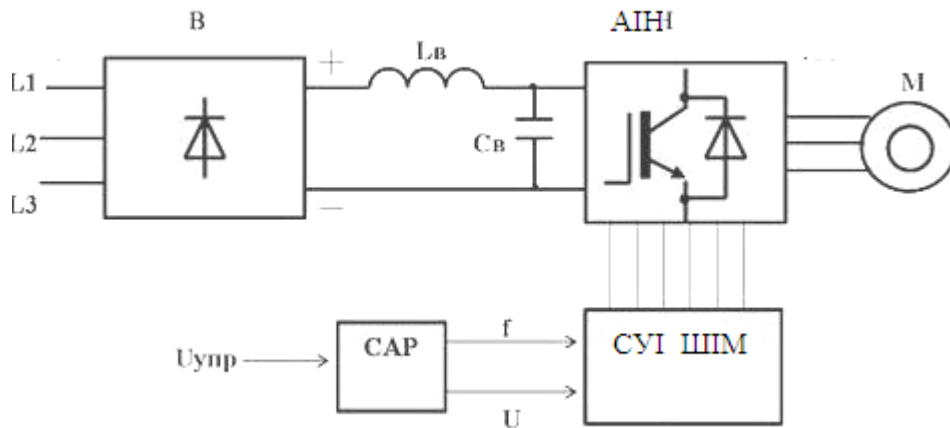


Рис. 3.1- Складові частини перетворювача частоти.

Таким чином, форма кривої вихідної напруги є високочастотною двохполярною послідовністю прямокутних імпульсів (рис. 3.1). Частота імпульсів визначається частотою ШИМ, тривалість (ширина) імпульсів протягом періоду вихідної частоти АІН промодульована по синусоїдальному закону. Форма кривої вихідного струму (струму в обмотках асинхронного електродвигуна) практично синусоїдальна.

Регулювання вихідної напруги інвертора можна здійснити двома способами: амплітудним (АР) за рахунок зміни вхідної напруги U_B і широко-імпульсним (ШИМ) за рахунок зміни програми перемикання вентилів V1-V6 при $U_B = \text{const}$.

Другий спосіб набув поширення в сучасних перетворювачах частоти завдяки розвитку сучасної елементної бази (мікропроцесори, IGBT-транзистори). При широко-імпульсній модуляції форма струмів в обмотках статора асинхронного двигуна виходить близькою до синусоїдальної завдяки властивостям самих обмоток двигуна.

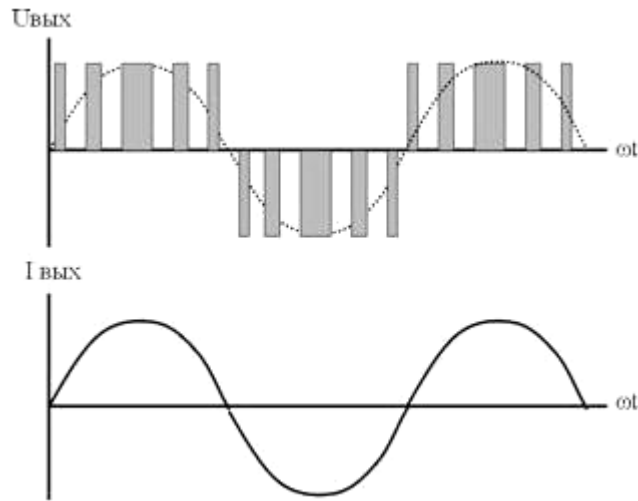


Рис.3.2- Графіки широтно-імпульсної модуляції.

Таке управління дозволяє отримати високий ККД перетворювача і еквівалентно аналоговому управлінню за допомогою частоти і амплітуди напруги.

Сучасні інвертори виконуються на основі повністю керованих силових напівпровідникових приладів – GTO, що замикаються, – тиристорів, або біполярних IGBT-транзисторів з ізольованим затвором. На рис.3.3 представлена 3-х фазна мостова схема автономного інвертора на IGBT-транзисторах.

Вона складається з вхідного ємнісного фільтра C_{ϕ} і шести IGBT-транзисторів V1-V6 включеними зустрічно-паралельно діодами зворотного струму D1-D6.

За рахунок почергового перемикування вентилів V1-V6 по алгоритму, заданому системою управління, постійна вхідною напруга U_B перетвориться в змінну прямокутно-імпульсну вихідну напругу. Через керовані ключі V1-V6 протікає активна складова струму асинхронного електродвигуна, через діоди D1-D6 – реактивна складова струму.

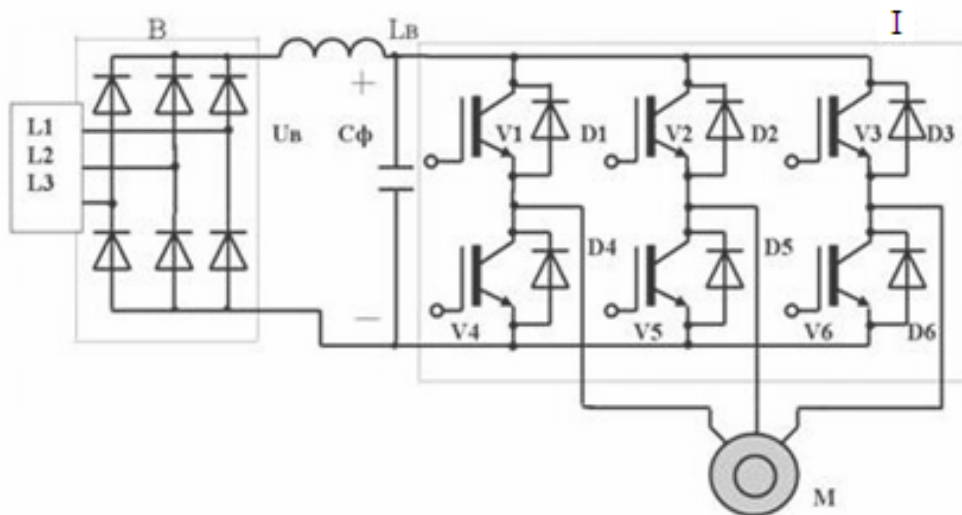


Рис.3.3-Спрощена схема перетворювача частоти:

И- трифазний мостовий інвертор; В – трифазний мостовий випрямляч;
 Сф – конденсатор фільтру;

Оскільки технологічний процес не вимагає одночасної роботи двох і більш шнеків, то всі двигуни підключаються до одного і тому ж перетворювача частоти по черзі через комутатор з силових пускачів.

3.2.Розрахунок параметрів і вибір перетворювача частоти

Вибраний ПЧ має бути розрахований на потужність мотор-редуктора тобто 15 кВт.

Повна номінальна потужність двигуна визначається за формулою

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}, \quad (4.1)$$

де Q – реактивна потужність двигуна:

$$Q = P \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (4.2)$$

$$\cos \varphi = 0,87 \rightarrow \operatorname{tg} \varphi = 0,5667$$

$$Q = 15 \cdot 0,5667 = 8,5 \text{ кВАр} .$$

За формулою (4.1) обчислимо повну потужність двигуна:

$$S_{\text{ном.ДВ}} = \sqrt{15^2 + 8,5^2} = 16,25 \text{ кВА} .$$

Визначимо номінальний струм двигуна:

$$I_{\text{ном.ДВ}} = \frac{P_{\text{ном.ДВ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot \cos \varphi \cdot \eta} , \quad (4.3)$$

$$I_{\text{ном.ДВ}} = \frac{15 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,87 \cdot 0,92} = 28,45 \text{ А} .$$

Для вибору перетворювача частоти нище примено сімейство механічних хактеристик для різн их частот(Рис.3.4)

Приймаємо до установки частотний перетворювач типу Moeller DV6 виробництва корпорації Moeller (Рис.3.5).

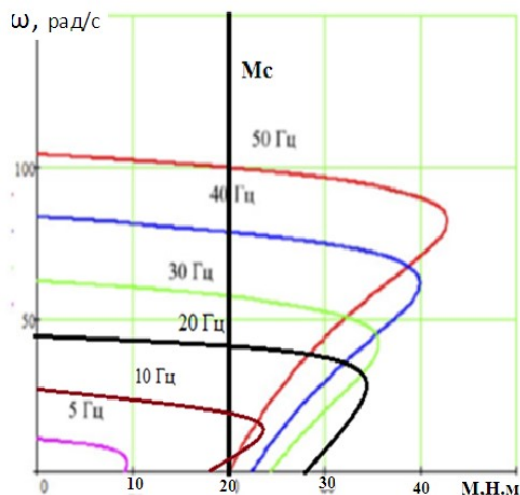


Рис.3.4-Мехакнічні характики.



Рис.3.5-Загальний вигляд перетворювача

Перетворювачі частоти Moeller DV6 застосовуються для регулювання моменту і швидкостей 3-х фазних двигунів до 132 кВт; у друкарській, паперовій, текстильній, металообробляючій індустріях; як привід кранів і подъемних механізмів.

Силові ланцюги: 3х 400 В, 50/60 Гц

Потужності: від 0.75 кВт до 132 кВт (400 В): DV6-340-.

Особливості перетворювачів частоти Moeller DV6

Без сенсорного векторного управління (управління по замкнутому контуру за допомогою плати DE6-IOM-ENC)

Перевантажувальна здатність: 1,2 пускового моменту протягом 60 с, кожні 600 с

Вбудований гальмівний транзистор (до 11 кВт)

Авто-налаштування (автоматичне визначення параметрів двигуна)

32-бітовий процесор

Повний момент, починаючи з частот близьких до нульових (розімкнений контур)

Пусковий момент до 200%

Управління декількома двигунами (біс сенсорне)

Параметризуються: 8 дискретних входів; 1 релейний вихід (перемикальний контакт); 3 аналогових входу; 2 аналогових виходу; 1 ШИМ вихід

Термісторний вхід

Виносний блок управління з потенціометром

ПІД регулятор

Інтерфейси RS485 і RS422

Підтримка промислових мереж PROFIBUS-DP (опція)

Збереження параметрів

Синхронізація і плавне регулювання швидкості (DE6-IOM-ENC)

					КРМ.ЕМ та М.793-03.2.1	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		29

4. РОЗРОБКА СХЕМИ УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ.

4.1. Функціональна схема електроприводу.

Для визначення функціональної схеми треба знати номінальний струм двигуна.

Номінальний струм статора двигуна визначається за формулою:

$$I_{\text{ном}} = \frac{P_{\text{нлм}}}{\sqrt{3}U\eta\cos\varphi} \quad (5.1)$$
$$I_{\text{ном}} = \frac{15 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,91 \cdot 0,85} = 29,4 \text{ A}$$

Одержане значення струму менше номінального струму перетворювача **Moeller DV6**, що дорівнює 30 А

У силову частину електроприводу входять асинхронний двигун з короткозамкнутим ротором і комплектний перетворювач частоти.

Умовою вибору перетворювача частоти є відповідність номінальної напруги і струму перетворювача тиристора номінальним параметрам двигуна.

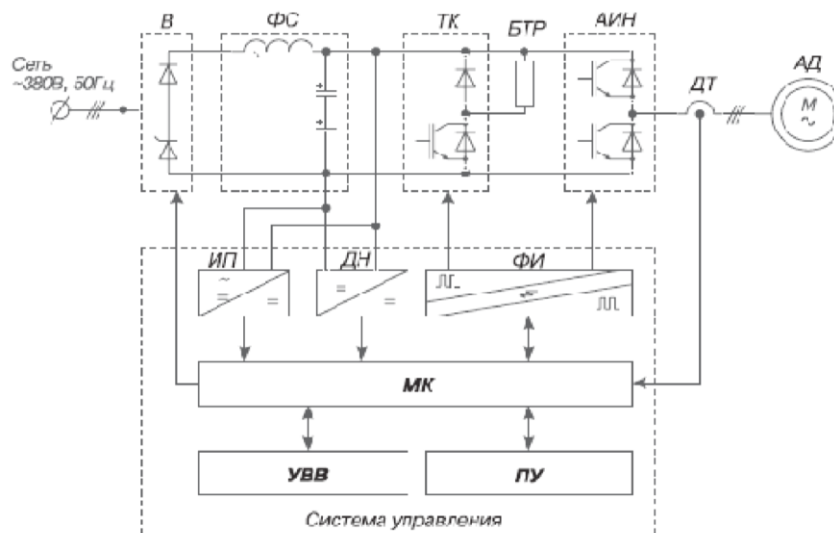


Рис.4.1 - Функціональна схема електроприводу SV150 iS5-4NU.

На схемі позначено: В - силовий напівкерований випрямляч; АД - приводний асинхронний електродвигун; ИП - джерело живлення (конвертор); ФС - силовий LC-фільтр ланки постійної напруги; ТК - транзисторний(IGBT) ключ реостатного

гальмування(гальмівний ключ); БТР - зовнішній блок гальмівного резистора;
АИН - транзисторный (IGBT) автономний інвертор напруги; ДТ - датчик струму;
ДН - датчик напруги; ФШИ- формувач сигналів транзисторів, що управляють
(драйвер); МК - мікропроцесорний контроллер;
УВВ - пристрій вводу/виводу (зовнішній інтерфейс); ПУ - пульт управління.

Багатоканальне джерело живлення ИП перетворює змінну напругу мережі і випрямлену напругу ланки постійного струму в систему напруги постійного струму необхідних рівнів і ступеней стабільності, гальванічно зв'язаних і не зв'язаних між собою, для живлення пристроїв управління.

Мікропроцесорний контроллер МК здійснює формування режимів роботи електроприводу із заданими параметрами за допомогою сигналів управління: сигналів ШИМ-управління транзисторами АИН, сигналів захисту і аварійного відключення електроприводу, прийому і передачі зовнішніх управляючих, задаючих і інформаційних сигналів.

4.2. Розрахунок і вибір елементів вихідного фільтру

На виході з автономного інвертора напруги розташований фільтр. Найбільш поширеним видом вихідного фільтру є LC - фільтр. Основною вимогою, що пред'являється до фільтру, є забезпечення заданого коефіцієнта гармонік змінної напруги в стаціонарному режимі.

Індуктивність фільтру визначається за формулою:

$$L_{\phi} > \frac{0,25E_{max}}{(0,4 \dots 0,6)f_k I_{ном}}$$

де $E_{макс}$ - максимальна напруга джерела постійної напруги, В.

В даному випадку це напруга в ланці постійного струму з урахуванням коефіцієнта випрямлення мостової трифазної схеми

$$E_{макс}=1,35U_d=1,35 \cdot 380=513 \text{ В.}$$

f_k - несуча частота комутації широтно- імпульсної модуляції ШИМ.

У електроприводі типу АТО несуча частота комутації змінюється програмно. В даному випадку $f_k=9$ кГц. Гранична частота обмежена допустимою частотою перемикання транзисторів, вона складає 10 кГц.

Чисельне значення індуктивності фільтру визначиться:

$$L_{\phi} > \frac{0,25 \cdot 513}{0,6 \cdot 8000 \cdot 58} = 0,0005 \text{ Гн}$$

Для фільтра до установки приймаємо реактор типу РТСТ - 40-2,02УЗ, параметри якого приведені в табл. 4.1

Таблиця 4.1 - Технічна характеристика реактора типу РТСТ - 40-2,02УЗ

Найменування	Розмірність	Значення
Номинальна лінійна напруга живлячої мережі, Іном	В	410
Номинальний фазний струм, Іном	А	40
Номинальна індуктивність фази	мГн	2,02
Активний опір обмотки	МОм	265

Ємкість фільтру визначиться по формулі:

$$C_{\phi} = \frac{T_k^2}{64 k_r L_{\phi}}$$

де T_k - період несучої частоти комутації широтно- імпульсної модуляції ШИМ.

$$T_k = \frac{1}{f_k} = \frac{1}{8000} = 0,000125 \text{ с}$$

k_r - коефіцієнт вищих гармонік; $k_r=0,05$; Чисельне значення ємкості фільтру:

$$C_{\phi} = \frac{0,000125^2}{64 \cdot 0,05 \cdot 2,02 \cdot 10^{-3}} = 2,47 \text{ мкФ.}$$

До установки приймається конденсатор типу МБГО -1 -400 В-2,4 мкФ \pm 10%.

Дроселі включають в кожну фазу, послідовно з асинхронним двигуном, а конденсатори сполучають в трикутник і включають паралельно двигуну. Відповідно конденсатори істотно не впливають на загальний опір кола статора, тому опором фільтру при розрахунках можна нехтувати.

4.3. Розрахунок і вибір елементів згладжуючого фільтру

Згладжуючі дроселі встановлюються в кола постійного струму низьковольтних агрегатів і служать для зниження змінної складовою струму через конденсатори фільтру і зменшення зони переривистих струмів при роботі електроприводу. Конденсатор призначений для замикання реактивної складової струму статора.

Якість фільтру визначається коефіцієнтом згладжування, який визначається:

$$S_{LC} = \frac{q_{вх}}{q_{вих}},$$

де $q_{вх}$ - коефіцієнт пульсацій на вході фільтру;

$q_{вих}$ - коефіцієнт пульсацій на виході фільтру приймається в межах 0,01...0,1; виберемо $q_{вих}=0,01$.

Коефіцієнт пульсацій на вході фільтру визначається за формулою:

$$q_{вх} = \frac{2}{n^2 - 1} \sqrt{1 + n^2 tg^2 \alpha}$$

де n - число пульсацій випрямляча; для трифазної мостової схеми $n=6$;

α - кут управління вентилів випрямляча; $\alpha=0^0$, оскільки

напруга регулюється в АИН, а перетворювач тиристора некерований.

$$q_{вх} = \frac{2}{6^2 - 1} \sqrt{1 + n^2 tg^2 0} = 0,057$$

Чисельне значення коефіцієнта згладжування:

					КРМ.ЕМ та М.793-03.2.1	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		33

$$S_{LC} = \frac{0,057}{0,01} = 5,7$$

Ємкість фільтру приймається з розрахунку 100 мкФ на 1 кВт потужності двигуна.

Розрахункова потужність фільтру визначиться:

$$C_{\phi} = 100 P_{\text{ном}} = 100 \cdot 15 = 1500 \text{ мкФ}$$

До установки вибирається конденсатори типу МБГО-1-400 В-390 мкФ $\pm 10\%$.
8 штук з'єднаних паралельно

Індуктивність фільтру визначається по формулі:

$$L_{\phi} = \frac{S_{LC} + 1}{n^2 \omega^2 C_{\phi}}$$

де $\omega = 2\pi f = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 = 314$ рад/с - кутова частота мережі.

$$L_{\phi} = \frac{5,7 + 1}{6^2 314^2 3000 \cdot 10^{-6}} = 0,0012 \text{ Гн}$$

До установки приймає реактор типу Ф РІС-250/0,5У3 параметри, якого представлені в табл. 2.5

Таблиця 5.3. Технічна характеристика реактора типу ФРОС– 250/0,5У3

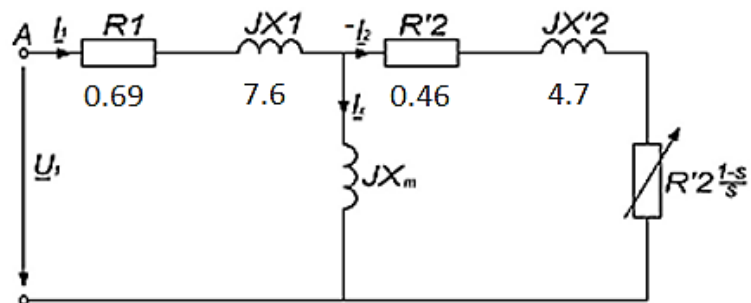
Найменування	Розмірність	Значення
Номинальний постійний тструм, I ном	А	320
Номинальна індуктивність фази, Lp	мГн	4,2
Активний опір обмотки, Rp	МОм	11,5

5. ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ НА ЕЛЕКТРОННІЙ МОДЕЛІ.

Для створення електронної моделі була розрахована схема заміщення двигуна, параметри якої приведені на рисунку (Рис. 5.1)

Рис. 5.1-Схема заміщення двигуна.

Узагальнена модель віртуальної установки для дослідження асинхронного



двигуна (рис.5.2)

Three-Phase Asynchronous Machine

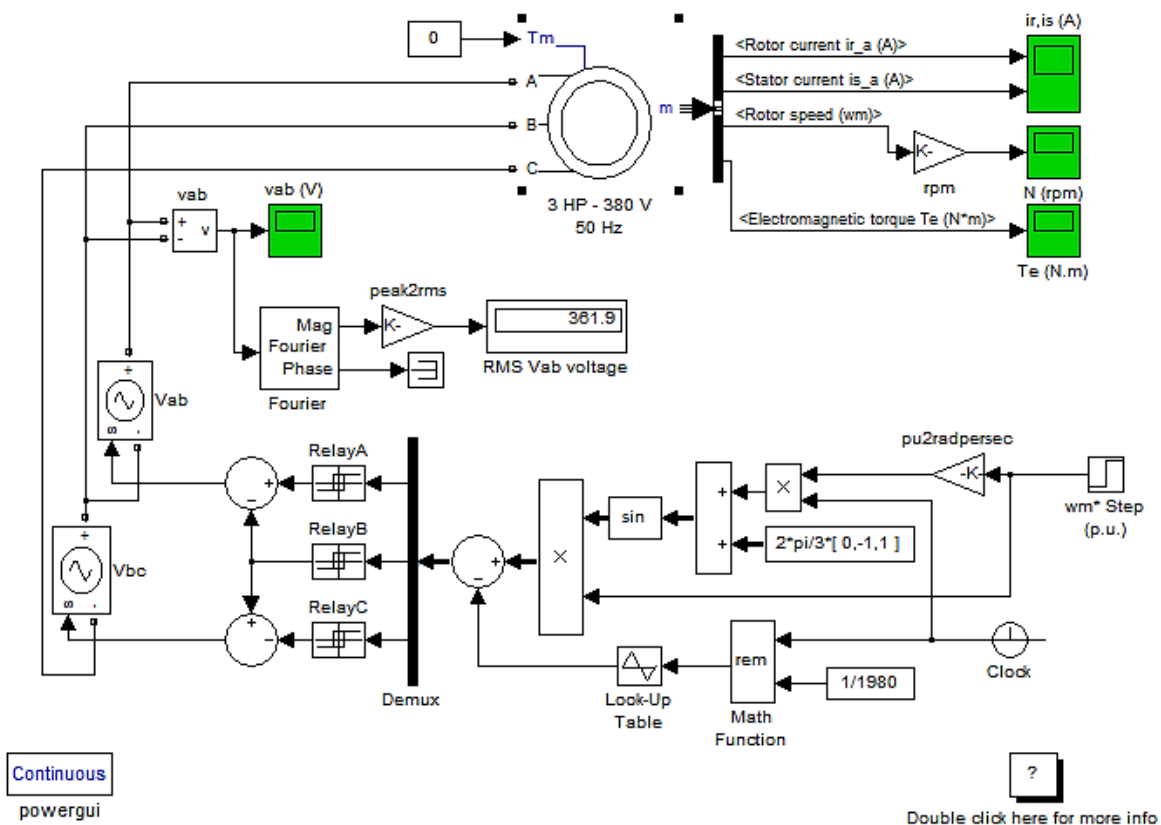


Рис.5.2- Схема моделі для дослідження асинхронного двигуна.

Слід звернути увагу на те, що позначення в вікні налаштування дещо відрізняються від вказаних на схемі заміщення:

$$R_1 = R'_s ; R_2 = R'_r ; L_{p1} = Ll_s ; L'_{p2} = Llr'_r$$

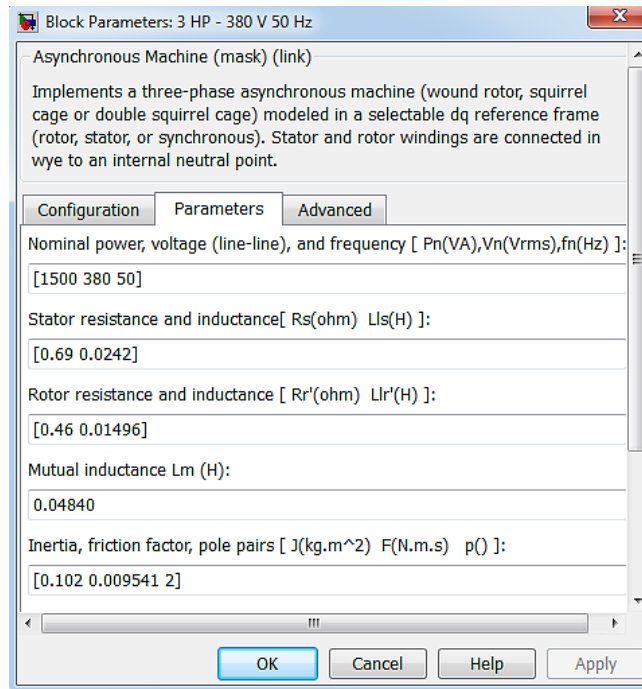


Рис. 5.3- Вікно налаштування параметрів двигуна.

В результаті моделювання розрахованого двигуна одержимо такі робочі характеристики.

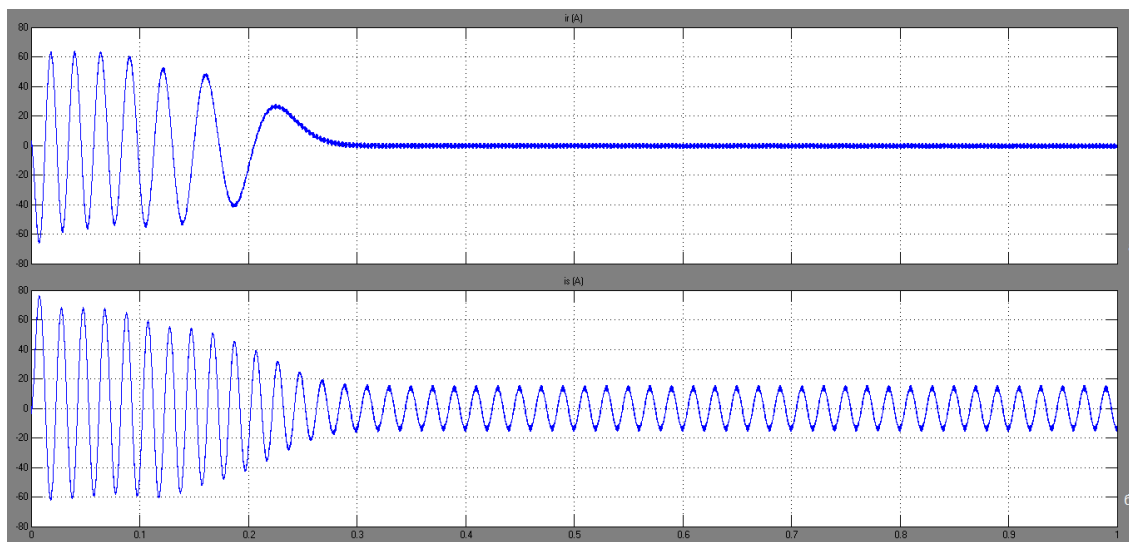


Рис.5.4 – Струм в ланцюзі ротора (а) та струм статора (б)

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

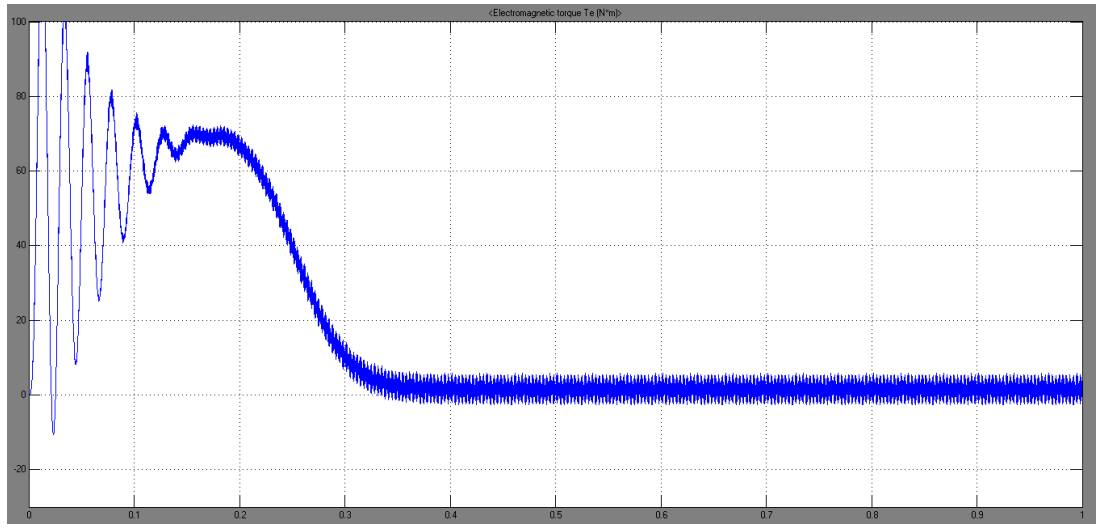


Рис.5.5 – Графік моменту.

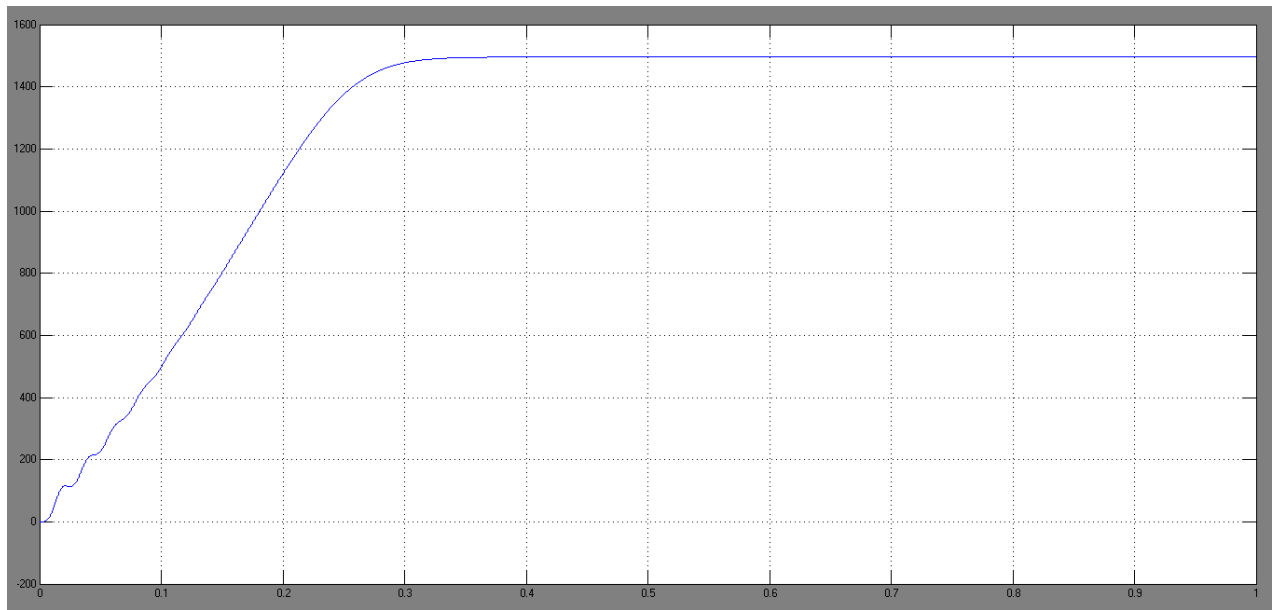


Рис.5.6 – Графік швидкості

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

6. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

У даному дипломному проекті виконується модернізація електропривода форпреса для сонячничкової олії

Головний шлях до якісного зсуву у виробничих силах – перехід до якісного інтенсивного розвитку, для реалізації якого необхідна велика сила по створенню машин, механізмів і технологій по впровадженні в практику досягнень науки та техніки. При цьому особливого значення набувають: вибір найбільш надійних шляхів підвищення ефективності виробництва, якості продукції, принципи наукового обґрунтованого ціноутворення.

Постійно зростаючі тарифи на електричну енергію і законодавство, що посилюється, у сфері енергозбереження вимушують керівників підприємств шукати шляхи зниження енергоспоживання. У промисловості значна частина споживання електричної енергії доводиться на вентилятори, насосні, і компресорні установки, конвеєри, підйомні механізми, електроприводи технологічних установок і верстатів. Дані механізми найчастіше приводяться в дію асинхронними двигунами змінного струму. Найбільші світові виробники електротехнічного устаткування пропонують спеціалізовані пристрої для управління асинхронними двигунами, які, по завіреннях їх виробників, окрім всього іншого забезпечують економію електричної енергії до 50% (для форпресу). Називаються дані пристрої перетворювачами частоти, частотними перетворювачами інверторами або просто ПЧ.

Модернізація системи електроприводу форпресу виконується за рахунок заміни базової системи керування на систему з частотним перетворювачем, який приводить в рух асинхронний двигун з короткозамкненим ротором. В порівнянні з базовою системою керування нова система володіє такими перевагами:

- збільшенням діапазону регулювання швидкості;
- зниженням зносостійкості;
- покращенням показників економії електроенергії;
- підвищенням ефективності та надійності системи;

					КРМ.ЕМ та М.793-03.2.1	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		38

- можливістю дистанційного керування;
- можливістю використання в умовах підвищеної радіації;
- підвищення завадозахищеності.

Робота двигуна від мережі	Робота двигуна від ПЧ
Можлива тільки одна швидкість або, при зміні полюсів двигуна, декілька фіксованих швидкостей обертання	Безступінчате регулювання швидкості двигуна
Неможливо управляти розгоном, час розгону залежить від характеристики двигуна і моменту навантаження	Керований розгін, час розгону регулюється
Неможливо управляти гальмуванням, час уповільнення залежить від відповідного тертя і моменту навантаження	Три способи зупинки: 1. Кероване уповільнення, час уповільнення регулюється (з гальмівним модулем) 2. Гальмування постійним струмом 3. Рух за інерцією (модуляція вимкнена)
Реверсування можливе тільки перестановкою фаз - додаткові витрати на комутаційне устаткування	Кероване реверсування завдяки електронному реверсуванню поля, що обертається, без додаткових витрат
Фіксований пусковий момент (визначається двигуном)	Регулювання пускового моменту U/f - характеристикою ПЧ
Високий пусковий струм	Обмеження пускового струму, струм залежить від розгону і моменту навантаження

Визначимо ефективність застосування нової системи керування електроприводу шляхом співставлення показників базового і нового варіантів.

При співставленні варіантів технічних рішень по впровадженню нових видів обладнання і технологічних процесів використовують метод порівняльної

					КРМ.ЕМ та М.793-03.2.1	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		39

економічної ефективності. При цьому методі основними показниками є мінімум приведених затрат Z , який є сумою річних експлуатаційних затрат C і капітальних вкладень K , приведених до однієї розмірності в відповідальності з нормативним коефіцієнтом ефективності E_n .

Капітальні вкладення включають в себе всі одноразові витрати: відпускну ціну нової техніки, затрати на її транспортування, монтаж і наладку, затрати на демонтаж старого обладнання та інше.

$$Z = C + E_n K \quad (7.1)$$

де $E_n = 0,08 \div 0,4$ (для нової техніки $E_n = 0,2$).

Повні економічні витрати:

$$Z_e = Z_{en} + Z_{бр} + Z_{аб} + Z_{мб}, \quad (7.2)$$

де індекси **б** і **н** відносяться до базового і нового варіантів.

Термін окупності:

$$T_{ок} = \frac{I}{Z_b - Z_n}, \quad (7.3)$$

де $T_{ок}$ – строк окупності додаткових капітальних затрат.

6.1 Визначення величини затрат запропонованого варіанту

Кошторис на обладнання для базового і нового варіантів приведений в таблиці 7.2

6.2 Розрахунок основного фонду зарплати

Розрахуємо оплату праці по існуючому тарифу. Так як установка є установкою з напругою до 1000В, де напруга живлення $U=0,4$ кВ, то згідно ПУЕ

					КРМ.ЕМ та М.793-03.2.1	Лист
						40
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

обслуговувати може дану установку 2 робітники, у яких розряд не нижче четвертого, а група допуску не нижче ніж третя по електробезпеці. Тарифна ставка 1-го розряду ТС1 складає 6,8 грн/год.

Таблиця 7.2 – Визначення кошторису витрат для нового і старого варіантів

Найменування електрообладнання	N	Кошторисна вартість			
		Базова		Нова	
		за шт., грн	Всього, грн	за шт.,грн	Всього, грн
Перетворювач частоти	1	-	-	2200	2200
Релейно-контакторна система		1200	1200	-	-
Двигун	1	5000	5000	5000	5000
Всього			6200	7200	7200
Транспортні витрати (13%)			806	936	936
Всього ціна обладнання			6200	7200	7200
Монтажні роботи (10%)			620	720	720
Капітальні вкладення всього			7626	8856	8856

$$TC4 = 1,27 \cdot TC1 \quad (7.4)$$

$$TC4 = 1,27 \cdot 6,8 = 8,63 \text{ (грн/год)}$$

Розраховуємо заробітну плату по існуючому тарифу:

$$Z_m = TC4 \cdot m = 8,636 \cdot 25 \cdot 8 = 1727,2 \text{ (грн.)},$$

де TC4 – це тарифна ставка робітника IV розряду;

m – кількість робочих днів в місяці.

Оплата праці за професійну та майстерну діяльність:

$$P_{\text{пм}} = \frac{Z_{\text{г}} \cdot N_{\text{пм}}}{100}, \quad (7.5)$$

де H_{nm} – надбавка за професійну діяльність (для працівників з четвертим розрядом складає 10%).

$$P_{nm} = \frac{1727,2 \cdot 10}{100} = 172,72 \text{ (грн.)}$$

Оплата праці за шкідливі умови праці:

$$P_{yn} = \frac{(Z_m + P_{nm}) \cdot H_{yn}}{100}, \quad (7.6)$$

$$P_{yn} = \frac{(1727,2 + 172,72) \cdot 17}{100} = 1756,56 \text{ (грн.)}$$

де H_{yn} - надбавка за умови праці, що для четвертого розряду складає 17%.

Всього постійна заробітна плата складає:

$$Z_{пост} = Z_t + P_{nm} + P_{yn}, \quad (7.7)$$

$$Z_{пост} = 1727,2 + 172,72 + 1756,56 = 3656,48 \text{ (грн.)}$$

Оплата премій $K = 15 - 20\%$.

$$P_{пр} = \frac{Z_{пост} \cdot K}{100}, \quad (7.8)$$

$$P_{пр} = \frac{3656,48 \cdot 17}{100} = 621,60 \text{ (грн.)}$$

Всього основна заробітна плата:

$$Z_{осн} = Z_{пост} + P_{пр}, \quad (7.9)$$

$$Z_{осн} = 3656,48 + 621,60 = 4278,08 \text{ (грн.)}$$

					КРМ.ЕМ та М.793-03.2.1	Лист
						42
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Розрахуємо додаткову заробітну плату:

$$Z_{\text{дод}} = Z_{\text{пост}} \cdot 0,1, \quad (7.10)$$

$$Z_{\text{дод}} = 3656,48 \cdot 0,1 = 365,64 \text{ (грн.)}$$

Знайдемо суму відрахування в фонд соціального страхування, що складає 37,18% від суми додаткової та основної заробітної плати.

$$Z_{\text{нф}} = 37,18 \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{дод}}) / 100, \quad (7.11)$$

$$Z_{\text{нф}} = 37,18 \cdot (4278,08 + 365,64) \div 100 = 1726,53 \text{ (грн.)}$$

Загальний фонд оплати праці за рік складає:

$$\Phi = (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{дод}} + Z_{\text{нф}} + Z_{\text{фз}}) \cdot 2 \cdot 12, \quad (7.12)$$

$$\Phi = (4278,08 + 365,64 + 1726,53) \cdot 2 \cdot 12 = 152886 \text{ (грн.)}$$

6.3 Розрахунок експлуатаційних витрат для базового і нового варіантів

Величина капіталовкладень для базового і нового варіантів:

$$K_{\text{б}} = 7626 \text{ грн,}$$

$$K_{\text{н}} = 8856 \text{ грн.}$$

Витрати на електроенергію при встановленні частотного перетворювача зменшується на 20%:

$$Z_{\text{енб}} = P \cdot \Phi \cdot m_o \cdot K, \quad (7.13)$$

де P – потужність двигуна;

Φ – кількість робочих годин в день;

					КРМ.ЕМ та М.793-03.2.1	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		43

m_0 - кількість робочих днів у році;

K – вартість електроенергії, 1,13 грн/кВт

Для привода скребкового транспортера:

$$Z_{енб} = 1,65 \cdot 16 \cdot 25 \cdot 1,13 = 745,8 \text{ (грн.)}$$

$$Z_{енн} = Z_{енб} - 0,2 \cdot Z_{енб}, \quad (7.14)$$

$$Z_{енн} = 745,8 - 745,8 \cdot 0,2 = 596,74 \text{ (грн.)}$$

Для базової:

$$Z_{енб} = 745,8 \text{ (грн.)}$$

Для нової:

$$Z_{енн} = 596,74 \text{ (грн.)}$$

Витрати на поточний ремонт обладнання. При використанні ПЧ зменшуються пускові струми, втрати в кабелях, збільшується надійність всієї установки, тобто кількість поломок зменшується, а отже надійність системи електроприводу зростає. Заплановані витрати на поточний ремонт і обслуговування при базовому варіанті становлять 6%, а при новому 3%.

$$Z_{бр} = 0,05 \cdot K_{\sigma}, \quad (7.15)$$

$$Z_{бр} = 0,05 \cdot 4428 = 221,4 \text{ (грн.)}$$

$$Z_{нр} = 0,03 \cdot K_n \quad (7.16)$$

$$Z_{нр} = 0,03 \cdot 8364 = 250,92 \text{ (грн.)}$$

Витрати на амортизаційні відрахування:

					КРМ.ЕМ та М.793-03.2.1	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		44

$$Z_a = \sum N_{ai} \cdot K_i. \quad (7.17)$$

де N_a - норма амортизаційних відрахувань. (0,2)

$$Z_{аб} = 0,2 \cdot 7626 = 1522,2 \text{ (грн.)},$$

$$Z_{ан} = 0,2 \cdot 8856 = 1771,2 \text{ (грн.)}.$$

Витрати на допоміжні матеріали для ремонту та обслуговування при базовому варіанті складають 20%, а при новому 10% від фонду оплати праці:

$$Z_m = 0,2 \cdot \Phi, \quad (7.18)$$

$$Z_{мб} = 0,2 \cdot 152886 = 30577,2 \text{ (грн.)},$$

$$Z_{мн} = 0,05 \cdot 152886 = 7644,3 \text{ (грн.)}.$$

Повні експлуатаційні витрати:

$$Z_e = Z_{ен} + Z_{бр} + Z_{аб} + Z_{мб}, \quad (7.19)$$

$$Z_{еб} = 745,8 + 221,4 + 885,6 + 30577,2 = 32430 \text{ (грн.)},$$

$$Z_{ен} = 596,78 + 250,92 + 1672,8 + 7644,3 = 10164,8 \text{ (грн.)}$$

6.4 Розрахунок економічної ефективності

Розрахуємо річний економічний ефект за експлуатаційними витратами згідно формули (9.2):

$$Z_{еф} = 32430 - 10164,8 = 22265,2 \text{ (грн.)}.$$

Термін окупності згідно формули (9.3) потребує обсяг інвестицій I :

					КРМ.ЕМ та М.793-03.2.1	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		45

$$I = K_n + D \cdot K_6 \quad (7.20)$$

де D – демонтаж обладнання, 10 % від капітальних вкладань;

$$I = 7626 + 0,1 \cdot 8856 = 8511,6 \text{ (грн.)};$$

$$T_{ок} = \frac{8511,6}{32430 - 10164,8} < 1 \text{ року}$$

Отже, модернізація для даного типу обладнання є економічно доцільною.

Малий термін окупності пояснюється зменшенням витрат на допоміжні матеріали.

					КРМ.ЕМ та М.793-03.2.1	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		46

7.ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ОЛІЇ.

До роботи на устаткуванні, що входить до технологічної лінії, допускаються особи, які вивчили пристрій, принцип дії і пройшли інструктаж з техніки безпеки. Робота на обладнанні повинна проводитись відповідно до “Правил технічної експлуатації електроустановок” та “Правил техніки безпеки”. Устаткування має бути заземлене, щоб запобігти пошкодженню обслуговуючого персоналу електричним струмом. На електрообладнанні має бути встановлений тепловий захист. Умови зберігання та видалення відходів виробництва повинні унеможливити забруднення рослинної олії, виникнення загрози життю або здоров'ю людини.

Вимоги до персоналу, зайнятого в процесі виробництва олії:

1) Персоналу, зайнятому в процесі виробництва рослинної олії, забороняється проносити у виробничі приміщення предмети, які не використовуються при виконанні виробничих обов'язків і можуть стати джерелами забруднення рослинної олії, будь-які дрібні, колючі та ріжучі предмети, курити та приймати пишу у виробничих приміщеннях.

2) До процесу виробництва рослинної олії не допускаються хворі або особи, які є носіями збудників інфекційних захворювань, які можуть передаватися через масложирову продукцію. Особи, які контактували з хворими або носіями збудників таких захворювань, допускаються до роботи після медичного обстеження.

Вимоги до процесу перевезення олії:

1. Перевезення олії здійснюється у порядку, що визначається законодавством.

2. Перевезення олії здійснюється придатними для цієї мети транспортними засобами. Умови перевезення визначає відправник вантажу. Вони повинні відповідати умовам, встановленим виробником для перевезення олії.

					КРМ.ЕМ та М.793-03.2.1	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		47

3. Перевезення олії разом із непродовольчими вантажами забороняється. Перевезення в одному вантажному відділенні транспортних засобів рослинної олії та інших видів харчових продуктів допускається, якщо зазначені продукти не виділяють запахи та мають однакові з олії умови перевезення.

4. Конструкція вантажних відділень транспортних засобів повинна забезпечувати захист олії від забруднення.

5. Внутрішня поверхня вантажних відділень транспортних засобів має бути виконана з миючих та нетоксичних матеріалів. Періодичність санітарної обробки та дезінфекції внутрішніх поверхонь вантажних відділень транспортних засобів встановлюється учасником господарської діяльності у сфері перевезення харчової олійно-жирової продукції.

6. Вода, що використовується для миття вантажних відділень транспортних засобів, повинна відповідати вимогам до питної води, встановленим відповідним технічним регламентом.

7. Продукція, що перевозиться, повинна супроводжуватися документами, що підтверджують її безпеку та забезпечують її простежуваність, а також інформацією про умови її зберігання та про терміни придатності. м 5. Оцінка якості рослинної олії Рослинна олія - жирні (жири рослинні) продукти, що витягуються з рослинної сировини і складаються в основному з тригліцеридів вищих жирних кислот. Основні джерела рослинної олії - олійні рослини (олійні культури). До цієї товарної позиції включаються маргарин; придатні для споживання суміші або готові продукти з тварин або рослинних жирів або олій або фракцій різних жирів.

Рослинна олія використовують в основному для харчових цілей. Олії соняшникова, соєва, кукурудзяна, оливкова та ін. олія какао), кремів, халви та інших кондитерських виробів. рослинні олії використовують також для розведення фарб, розм'якшення емульсійних ґрунтів та масляних лаків. Висихають олії - основна сировина у виробництві плівкоутворювачів (оліф, лаків). Очищені від домішок та знебарвлені (вибілені) масла - основні компоненти сполучних масляних і складова емульсійних казеїно-масляних (темперних) фарб.

					КРМ.ЕМ та М.793-03.2.1	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		48

Напіввисихаючі олії-добавки, що уповільнюють висихання фарб. Натуральні та гідровані рослинні олії (див. Гідрогенізація жирів) - найважливіші компоненти сировини у виробництві туалетного та господарського мила, косметичних засобів, складів для обробки шкіри. У медичній практиці з рідких рослинних олій (касторова, мигдальна) готують масляні емульсії; оливкова, обліпихова, мигдальна, соняшникова та лляна олії-основи лік. мазей та лініментів. З олії при їх омиленні отримують гліцерин і жирні кислоти.

Соняшникова олія, що використовується для обсмажування продуктів фізіологічно дуже активно і до того ж багата жирними поліненасиченими кислотами (їх ще зв.

Небезпечні та шкідливі виробничі фактори

Як і будь-яке виробництво отримання рослинної олії за допомогою форпреса має ряд небезпечних и шкідливих виробничих факторів, що в свою чергу може негативно впливати на здоров'я та безпеку обслуговуючого персоналу.

Форпрес на електричній енергії. Через це велика кількість травм може бути пов'язана з ураженням організму електричним струмом, яке призводить до паралічу органів дихання і кровообігу чи пошкодження зовнішніх частин тіла (опіки шкіри, тканин та ін.). Іншими небезпечними виробничими факторами являються:

— пожежонебезпека – рослинна олія може загорятися при недотриманні правил пожежної безпеки;

— небезпека отримання термічних опіків внаслідок нагрівання в процесі роботи зерної камери, наконечника, штуцера та жиклера до температури 1000 С.

Організація роботи по охороні праці на підприємстві проводиться у відповідності з такими нормативними документами: Закон України „Про охорону праці”, „Типового положення про навчання з питань охорони праці”, інструкцій по охороні праці і т.д.

					КРМ.ЕМ та М.793-03.2.1	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		49

Аналіз стану охорони праці та виробничого травматизму

Організація роботи по охороні праці на підприємстві проводиться у відповідності з такими нормативними документами: Закон України „Про охорону праці”, „Типового положення про навчання з питань охорони праці”, інструкцій по охороні праці і т.д.

На підприємстві службу охорони праці очолює інженер з охорони праці, який на практиці здійснює контроль дотримання вимог охорони праці, здійснює навчання працівників і спеціалістів, проводить вступні інструктажі. Інженер з охорони праці має вищу освіту і прирівнюється до керівника основних інженерно-технічних служб.

Відповідальність за стан охорони праці на підприємстві несе директор, на виробничих ділянках – їх керівники.

У підрозділах є журнал реєстрації інструктажів з охорони праці, які регулярно оформлюються у відповідності з проведеними інструктажами. На підприємстві проводять наступні інструктажі: вступний, первинний на робочому місці, повторний, позаплановий, цільовий. Повторний інструктаж з охорони праці проводять раз на шість місяців, а для робіт з підвищеною небезпекою один раз на три місяці. На підприємстві існує постійно діюча комісія, яка один раз на рік проводить навчання з працівниками, які виконують роботи з підвищеною небезпекою.

Нещасні випадки на підприємстві бувають нечасто в зв'язку з малою чисельністю і більш задовільним станом охорони праці. Витрати грошових засобів на охорону праці на підприємстві не великі. Так при запланованих витратах на охорону праці, що становить 0,5% від суми реалізованої продукції згідно чинного законодавства, витрачається 0,3...0,4%. Це звичайно відображається на здоров'ї людей.

Вимоги безпеки при виробництві соняшникової олії та виробнича санітарія

					КРМ.ЕМ та М.793-03.2.1	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		50

При виконанні запланованих видів робіт, працівникам необхідно користуватися правилами та положеннями, які встановлені та затверджені інженером по вимогам безпеки та головним інженером підприємства:

— до роботи, ремонту та технічного обслуговування допускаються особи не молодші 18 років, які пройшли навчання, відповідний інструктаж по вимогам безпеки, про що повинен бути зроблений запис в журналі обліку інструктажу по вимогам безпеки;

— щоденно візуально перевіряти справність контуру заземлення;

— вмикання електродвигуна здійснюється через апарат теплового захисту;

— всі роботи по обслуговуванню та усуненню несправностей шнекового прес-екструдера проводять на непрацюючій установці при вимкненому двигуні;

— з метою запобігання термічних опіків (в наслідок нагріву в процесі роботи зерної камери, підігрівального елемента до температури 100°C) забороняється братися руками за ці елементи конструкції та підставляти руки під стікаючу олію;

— не допускати розтікання олії;

— якщо не можливо припинити подачу електроенергії, то допускається розрив електричних ланцюгів особам в захисних окулярах, діелектричних рукавицях та в гумовому взутті чи стоячи на ізоляційній підставці;

— усі захисні засоби при прийманні їх в експлуатацію перевіряють, а потім періодично проводять контрольні випробування на напругу, величина якої не менше ніж в 3 рази перевищує робочу напругу мережі;

— перевірку справності заземлення на електроустановках з напругою до 1000В проводять не рідше 1-го разу на рік з чергуванням: один рік –літом при найбільшому просиханні ґрунту, другий рік –взимку, при найбільшому промерзанні ґрунту;

— забороняється виконувати роботу по ремонту та монтажу обладнання, якщо воно знаходиться в при піднятому стані;

— до навантажувально-розвантажувальних робіт допускаються особи не молодше 18 років, які пройшли медичне обстеження. Завантаження,

					КРМ.ЕМ та М.793-03.2.1	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		51

розвантаження і переміщення важких та громіздких вантажів необхідно здійснювати під керівництвом спеціально визначеної особи.

					КРМ.ЕМ та М.793-03.2.1	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		52

ВИСНОВОК

Темою бакалаврської роботи є модернізація електроприводу форпреса. Із-за недостатньої точності регулювання частоти обертання шнека, і плавного регулювання частоти продуктивність пресу зменшується, і для зменшення втрат електроенергії модернізуємо, за рахунок установки перетворювача частоти. Ці заходи приведуть до підвищеної точності регулювання і можливості установки необхідної межі продуктивності.

По розрахованих кінематичних зусиллях була розрахована необхідна потужність двигуна, підібраний асинхронний двигун і розрахована система електроприводу переіворювач частоти асинхронний двигун. Також було досліджено систему електроприводу на елетронній моделі. В результаті моделювання отримали динамічні характеристики приводу. Так само були розглянуті розділи економічної частини і техніки безпеки.

					КРМ.ЕМ та М.793-03.2.1	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		53

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Загірняк М. В., Невзлін Б. І. Електричні машини: Підручник. — 2-ге вид., перероб. і доп. — Київ: Знання, 2009. — 400 с. — ISBN 978-966-346-644-6.
2. Півняк Г. Г. Електричні машини: навч. посіб. / Г. Г. Півняк та ін. — Д.: НГУ, 2003. — 328 с. — ISBN 966-8271-36-X.
3. Асинхронные двигатели серии 4А: Справочник /А.Э. Кравчик, М.М. Шлаф, В.И. Афонин, Е.А. Соболенская. - М.: Энергоиздат, 1982. — 324 с.
4. Моделювання електромеханічних систем: Підручник / Чорний О.П., Луговой А.В., Родькін Д.Й., Сисюк Г.Ю., Садовий О.В.— Кременчук, 2001. — 410 с.
5. Моделювання електромеханічних систем. Математичне моделювання систем асинхронного електроприводу: навчальний посібник / О. І. Толочко. — Київ: НТУУ «КПІ», 2016. — 150 с.
6. Герман-Галкин С.Г. Проектирование механотронных систем на ПК. С.Г. — СПб.: Корона, 2008. — 346 с.
7. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи магістра для здобувачів СВО «Бакалавр» спеціальності 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», галузі знань 14 – «Електрична інженерія» / Укладачі: П.І. Осадчук, В.Ф. Бабіч, А.А. Галіулін, Є.П. Штепа. – Одеса: ОНТУ, 2021. – 55 с.

					КРМ.ЕМ та М.793-03.2.1	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		54