

Міністерство освіти і науки України  
Одеський національний технологічний університет

Кафедра електромеханіки та мехатроніки



ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ  
на тему «**Дослідження та вдосконалення електроприводу вентилятора  
процесу сушки цукру**»

Здобувача **Кузьмін Дмитро Олексійович**

Гр. АЕМ<sub>м</sub>-20 групи

Керівник : **Голбад Камбіз Ахмадович** , к.ф.н., доцент

Кваліфікаційна робота допускається до захисту

Рішення кафедри від 9.06. 2023 р., протокол №12.

Завідувач(ка) кафедри **Осадчук П.І.**\_\_\_\_\_

Одеса - 2023 рік

**ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет: Автоматизації та робототехніки

Кафедра: Електромеханіки та мехатроніки

Ступінь вищої освіти: магістр

Спеціальність: 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Освітня програма: Електромеханічні системи з інтелектуальним керуванням

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Зав. кафедри ЕтаМ

\_\_\_\_\_ Осадчук П.І.

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 р.

**ЗАВДАННЯ****НА КВАЛІФІЦІЙНУ РОБОТУ**

здобувач СВО «Магістр»

Кузьмін Дмитро Олексійович

1. Тема роботи: «Дослідження та вдосконалення електроприводу вентилятора процесу сушки цукру »

Керівник роботи: Годбад Камбіз Ахмадович, доцент

затверджено наказом ОНТУ № № 663-03.06.11.23 \_\_\_\_\_ від «06.11.23 »

2. Термін здачі здобувачем закінченої роботи: « 5 » \_\_\_\_\_ 12 . 23 \_\_\_\_\_

3. Вхідні дані до проекту: Технічні характеристики вентилятора ВР 132-30

4. Перелік питань, які потрібно розробити: Розрахувати потужність і вибрати вентилятор; дослідити управління вентилятором на електронній моделі

[Введіть текст]

5. Перелік демонстраційного матеріалу. Слайди презентації: 1.Схема технологічної лінії виробництва цукру-піску. 2. Принцип дії установки сушки цукру в псевдорозрідженому шарі 3.Технологічна лінія сушки цукру в псевдорозрідженому шарі.4.Конструктивне виконання електроприводу вентилятора. 5.Розрахунок потужності двигуна. 6.Розрахунок штучних механічних характеристик. 7.Дослідження системи електрориводу на електронній моделі.8.Осциллограми розгону електроприводу при різних частотах

6. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):Розділ 1. Аналіз літературних джерел.

Розділ 2. Опис конструкції .

Розділ 3. Розрахунок навантажень і вибір потужності двигунів.

Розділ 4.Вибір перетворювача частоти.

Розділ 5. ДОСІДЖЕННЯ СИСТЕМЕЛЕКТРОРИВОДУ НА ЕЛЕКТРОННІЙ МОДЕЛІ.розділ

Розділ 6.Економічна частина

#### 7.Консультанти розділів проекту (роботи)

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

Дата видачі завдання 10.10.2022 року

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1.	Розділ 1. Аналіз літературних джерел	05.11.2023	
2.	Розділ 2. Сушка цукру в псевдорозрідженому шарі	10.11.2023	
3	Розділ 3.. Розрахунок і вибір потужності двигуна	15.11.2023	
4.	Розділ 4.Вибір перетворювача частоти.	25.11.2023	
5	Розділ 5. Дослідження системи електрориводу на електронній моделі	30.11.2023	
6.	Розділ 6 .Економічна частина	12.12.2023	
7.	Перевірка роботи на добротність	17.12.23	
8.	Попередній захист дипломного проекту	18.12.23	
9..	Захист кваліфікаційної роботи магістра	25.12.2023	

Здобувач: Кузьмін Д. О. \_\_\_\_\_

Керівник: доц. Камбіз Ахмадович \_\_\_\_\_

*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 СВО \_Кузьмін Д. О. \_\_\_\_\_ .

## РЕФЕРАТ

Кузьмін Д.О. Дослідження та вдосконалення електроприводу вентилятора процесу сушки цукру. Кваліфіційна робота магістра. – Одеса: ОНТУ, 2023. – 74 с. Бібліогр.: 7. Іл.: 16. Табл.: 8

Кваліфіційна робота присвячено дослідженню електроприводу вентилятора процесу сушки цукру в псевдорозрідженому шарі.

В роботі розглянуто такі питання: аналіз різних типів сушильних апаратів для цукру; установки для сушки цукру в псевдорозрідженому шарі; вибрано вентилятор; розрахована потужність і вибрано двигун для сушки цукру в псевдорозрідженому шарі; розраховані в програмі Mathcad штучні механічні характеристики двигуна при роботі на різних частотах; вибрано перетворювач частоти; проведено дослідження системи електроприводу на електронній моделі. В економічній частині приведено термін окупності 2,3 роки.

**Ключові слова:** сушка цукру; псевдорозріджений шар; потужність двигу; механічні характеристики; моделювання

## ABSTRACT

Kuzmin D.O. Research and improvement of the electric drive of the sugar drying process fan. Master's thesis. – Odesa: ONTU, 2023. – 74 p. Bibliography: 7. Illustration: 16. Table: 8

The qualitative work is devoted to the investigation of the fan electric drive of the process of drying sugar in a fluidized bed. The following questions are considered in the work: analysis of different types of drying devices for sugar; units for drying sugar in a fluidized bed; the fan is selected; calculated power and selected an engine for drying sugar in a fluidized bed; artificial mechanical characteristics of the engine when working at different frequencies are calculated in the Mathcad program; the frequency converter is selected; the installation of the electrical wiring system on the electronic model was carried out. In the economic part, the payback period is 2.3 years.

**Keywords:** sugar drying; pseudo-liquefied layer; engine power; mechanical characteristics; modeling

Вступ .....	13
Розділ 1. Аналіз літературних джерел.....	14
1.1. Технологічна лінія виробництва цукру-піску з цукрового буряка.....	14
1.2. Установки для сушки цукру.....	21
Розділ 2. Сушка цукру в псевдорозрідженому шарі.....	29
2.1. Технологічна лінія для сушки цукру .....	29
2.2. Вибір вентилятора.....	31
Розділ 3.. Розрахунок і вибір потужності двигуна.....	37
3.1. Розрахунок потужності двигуна.....	38
3.2. Розрахунок параметрів схеми заміщення двигуна.....	40
3.3. Розрахунок природних характеристик регульованого електроприводу.....	44
3.4. Розрахунок штучних характеристик регульованого електроприводу ..	46
3.5. Розрахунок штучних механічних характеристик в Mathcad .....	51
Розділ 4. Вибір перетворювача частоти.....	53
4.1. Обґрунтування вибору перетворювача.....	53
4.2. Вибір перетворювача частоти.....	54
Розділ 5. Дослідження системи електроприводу на електронній моделі.....	57
Розділ 6 .Економічна частина.....	
Список літератури .....	73

## Вступ

Процес отримання цукру-піску на цукрових заводах складається з наступних стадій:

- подача буряка і очищення її від домішок;
- отримання дифузійного соку з бурякової стружки;
- очищення дифузійного соку;
- згущування соку випаровуванням;
- вариво утфеля і отримання кристалічного цукру;
- сушка, охолодження і зберігання цукру-піску.

Кваліфікаційна робота присвячена дослідженню останньої стадії процесу отримання цукру.

В роботі розглядається найбільш ефективний спосіб сушки в псевдорозрідженому шарі.

Основним електротехнічним обладнанням установки сушки цукру в псевдорозрідженому шарі є вентилятор, призначений для подачі теплового агента в сушарку, управління електроприводом якого дозволяє ефективно вести процес сушки цукру.

Використання регульованого автоматизованого електропривода дозволяє підвищувати продуктивність праці.

**Мета роботи:** Підвищення ефективності процесу сушки цукру.

**Актуальність теми:** У галузях харчової промисловості електричний привід є визначальний. Навіть у тих випадках, коли окремі вузли машини приводяться в рух гідро- або пневмоприводами. Тому розробка економічно ефективного електроприводу є актуальним.

**Завдання дослідження:** Дослідити режими роботи електроприводу вентиляторної установки процесу сушки цукру в псевдорозрідженому шарі

**Об'єкт дослідження:** Електропривод вентиляторної установки процесу сушки цукру в псевдорозрідженому шарі

[Введіть текст]

KPM.EM та M.663-03.06.11.23.1.1.11

Л

4

Л

№ докум

Попі

Д

## Розділ 1. Аналіз літературних джерел

### 1.1. Технологічна лінія виробництва цукру-піску з цукрового буряка

Цукор — практично чиста сахароза, що володіє солодким смаком, легко і повністю засвоювана організмом, сприяюча швидкому відновленню витраченої енергії. Сахароза — це дисахарид, який під дією кислоти або ферменту розщеплюється на глюкозу і фруктозу (інвертний цукор). Сахароза може знаходитися в двох станах: кристалічному і аморфному. По хімічній природі цукор є слабкою багатоосновною кислотою, що дає з оксидами лужних і лужноземельних металів з'єднання, — сахараты.

Інвертний цукор завдяки фруктозі гігроскопічний. Він оберігає варення від зацукрювання, уповільнює процес черствіння хліба, оберігає від висихання кондитерські вироби (мармелад, пастилу, зефір, помадку і ін.).

Сахароза добре розчиняється у воді, при підвищенні температури її розчинність зростає. У розчинах сахароза є сильним дегидратором. Вона легко утворює пересичені розчини, кристалізація в яких починається тільки за наявності центрів кристалізації. Швидкість цього процесу залежить від температури, в'язкості розчину і коефіцієнта пересичення.

Початковою сировиною для отримання цукру є цукровий буряк і цукровий очерет. Завдяки вищій врожайності цукрового очерету в порівнянні з цукровим буряком з кожного гектара його посівів отримують цукру приблизно в 2 рази більше, хоча вміст сахарози в стеблах цукрового очерету декілька менше, ніж в цукровому буряці.

Цукрова промисловість випускає наступні види цукру:

— цукор-пісок — сипкий харчовий продукт білого кольору (без грудок), що має солодкий смак без сторонніх присмаків і запахів (із змістом вологи не більше

	Введіть текст]				KPM.EM та M.663-03.06.11.23.1.1.11	Л
						4
	Л	№ докум	Полп	Л		

0,14 %, сахарози не менше 99,75 %, металлопримесей не більше 3 міліграма на 1 кг цукру, з розмірами на більше 0,3 мм);

— цукор рідкий — рідкий харчовий продукт ясно-жовтого кольору, солодкий на смак, без сторонніх присмаків і запахів (із змістом сахарози не менше 99,80 % для вищої категорії і не менше 99,5 % для першої категорії, із змістом сухих речовин не менше 64 %);

— цукор-рафінад — кусковий пресований цукор, рафінадний цукор-пісок і рафінадна пудра білого кольору, солодкі на смак, без сторонніх присмаків і запахів (із змістом сахарози не менше 99,9 %, редукуючих речовин не більше 0,03 %, волога не більше 0,2 %).

На всіх цукрових заводах діє типова схема отримання цукру — піску з цукрового буряка з безперервним знецукренням бурякової стружки, пресуванням жому і поверненням жомопрессованої води в дифузійну установку, известково-углекислотной очищенням дифузійного соку, трьома кристалізаціями і афінацією жовтого цукру III кристалізації. У коренеплодах цукрового буряка міститься 20...25% сухих речовин, з них зміст сахарози коливається від 14 до 18 %. Сахарозу витягують з буряка дифузійним способом. Отриманий дифузійний сік містить 15... 16 % сухих речовин, з них 14... 15 % сахарози і близько 2 % несахаров. Щоб позбавитися від несахаров проводять очищення дифузійного соку вапном (дефекація) з подальшим видаленням її надлишку діоксидом вуглецю (сатурація). Для зниження кольоровості і лужності фільтрований сік II сатурації обробляють діоксидом сірі (сульфітація). Згущування соку ведуть в два етапи: спочатку його згущують на випарній установці до змісту сухих речовин 55...65 % (при цьому сахароза ще не кристалізується), а потім після додаткового очищення в'язкий сироп на вакуум-апараті згущують до змісту сухих речовин 92,5.. 93,5 % і отримують утфель. Готовий утфель I кристалізації центрифугують, отримуючи кристали цукру і два оттека. Цукор-пісок вивантажують з центрифуги із змістом вологи 0,8... 1 % і висушують гарячим повітрям температурою 105... 110 °С до

	[Введіть текст]			КРМ.ЕМ та М.663-03.06.11.23.1.1.11	Л
	Л	№ докум	Полп		

0,14 % (при безтарному зберіганні масова частка вологи в цукрі-піску має бути 0,03...0,04 %).

Норма споживання сахарози складає 75 грама в день, включаючи цукор, що знаходиться в інших харчових продуктах. В даний час в Росії діє 95 бурякоцукрових заводів, що переробляють в добу 280 тис. т буряка. Період прибирання цукрового буряка триває 40.. .50 сут. у році. Середня виробнича потужність одного заводу складає 2,84 тис. т переробки буряка в добу з коефіцієнтом витягання цукру з буряка 72 %.

Стадії технологічного процесу. Процес отримання цукру-піску на бурякоцукрових заводах складається з наступних стадій:подача буряка і очищення її від домішок;

- отримання дифузійного соку з бурякової стружки;
- очищення дифузійного соку;
- згущування соку випаровуванням;
- вариво утфеля і отримання кристалічного цукру;
- сушка, охолодження і зберігання цукру-піску.

Характеристика комплексів устаткування. Лінія починається з комплексу устаткування для підготовки буряка до виробництва, що складається з бурякопідйомної установки, гидротранспортера, песколовушки, ботволовушки, камнеловушки і водоотделителя, а також свекломоечной машини.

Провідний комплекс устаткування лінії складається з конвеєра з магнітним сепаратором, свеклорезки, вагів, дифузійної установки, шнекового преса і сушарки для жому.

Наступний комплекс устаткування представляють фільтри з пристроями, що підігрівають, апарати попередньої і основної defeкації, сатуратори, відстійники, сульфитаторы і фільтри.

	Введіть текст]				КРМ.ЕМ та М.663-03.06.11.23.1.1.11	Л
						4
Л	№ докум	Полп	Л			

Найбільш енергоємним комплексом устаткування лінії є випарна установка з концентратором, а також вакуум-апарати, мішалки і центрифуги.

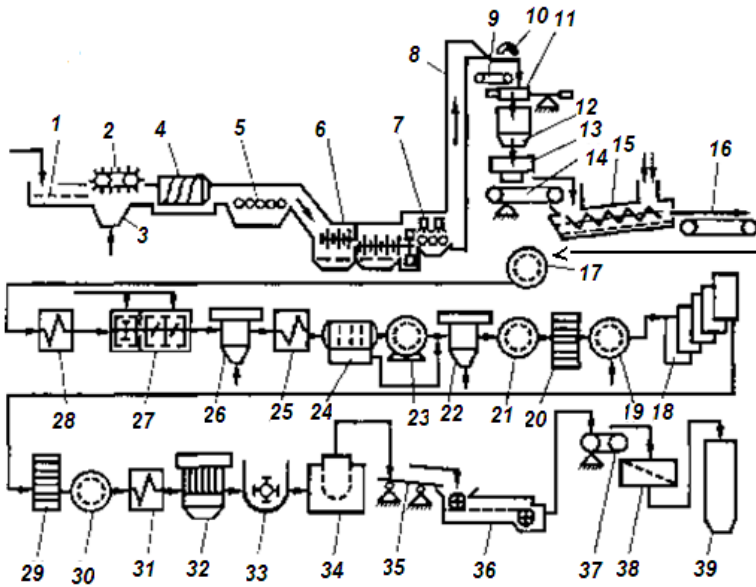


Рис.1.1.-Схема технологічної лінії виробництва цукру-піску з цукрового буряка: 1-гідралічний конвеєр; 8-елеватор; 9-конвеєр; 10-електромагніт; 14-стрічковий конвеєр; 16- конвеєр для жома; 25-підігрівач соку першої сатурації; 26- емність першої сатурації; 28- підігрівач; 30-станція фільтрації; 31-підігрівач сиропу; 32-вакуум-апарати першого продукту; 33-приймальня утфелемешалки; 34-центрифуги; 35-віброконвеєр; 36-сушильно-охолоджувальну установку; 39-силосні башти готового цукру.

Завершуючий комплекс устаткування лінії складається з віброконвеєра, сушильно-охолоджувальної установки і вібросита.

Технологічна лінія виробництва цукру-піску з цукрового буряка представлена на рис.1.1.

Цукровий буряк подається на завод з бурячного або з кагатного поля. По гідралічному конвеєру він поступає до буряконасосів і піднімається на висоту до 20 м. Подальше переміщення його для здійснення різних операцій технологічного процесу відбувається самопливом. По довжині гідралічного конвеєра 1 (рис.1.1) послідовно встановлені бадилляпастки 2, камнепастки 4 і водовідділювачі 5. Це технологічне устаткування призначене для відділення

легких (солома, бадилля) і важких (пісок, камені) домішок, а також для відділення транспортерно-мийної води. Для інтенсифікації процесу уловлювання соломи і бадилля в поглиблення 3 подається повітря. Цукровий буряк після водовідділювачів поступає в мийну машину 6.

Мийна машина призначена для остаточного очищення буряка (кількість прилиплої землі складає при ручному прибиранні 3...5 % буряка, а при механізованому прибиранні комбайнами — 8... 10 %).

Кількість води, що подається на миття буряка, залежить від ступеня її забрудненості, конструкції машини і в середньому складає 60... 100 % до маси буряка. У стічні води гідравлічного конвеєра і мийної машина потрапляють хвостики буряка, що відламалися, невеликі шматочки і дрібні коренеплоди (всього 1...3 % до маси буряка), тому транспортерно-мийні води заздалегідь прямують до сепаратора для відділення від них хвостиків і шматочків буряка, які після обробки поступають на стрічковий конвеєр 14.

Відмитий цукровий буряк зрошується чистою водою із спеціальних пристроїв 7, піднімається елеватором 8 і поступає на конвеєр 9, де електромагніт 10 відокремлює металеві предмети, що випадково потрапили в буряк. Потім буряк зважують на вагах 11 і з бункера 12 направляють в подрібнюючі машини-бурякорізки 13. Стружка має бути рівною, пружною і без мезги, пластинчастого або ромбоподібного перетину, завтовшки 0,5... 1,0 мм.

Бурякова стружка з подрібнюючих машин за допомогою стрічкового конвеєра 14, на якому встановлені конвеєрні ваги, подається в дифузійну установку 15.

Цукор, розчинений в буряковому соку коренеплоду, витягується з кліток протиточною дифузиею, при якій стружка поступає в головну частину агрегату і рухається до хвостової частини, віддаючи цукор шляхом дифузії в рухому назустріч екстрагенту висоложуючу воду. З кінця хвостової частини агрегату виводиться стружка з малою концентрацією цукру, а екстрагент, збагачений цукром, виводиться як дифузійний сік. З 100 кг буряка отримують приблизно 120

Введіть текст]				
Л	№ докум	Подп	Д	

КРМ.ЕМ та М.663-03.06.11.23.1.1.11

кг дифузійного соку. Жом відводиться з дифузійних установок конвеєром 16 в цех для пресування, сушки і брикетування.

Дифузійний сік пропускається через фільтр 17, підігрівається в пристрої 28 і прямує в апарати попередньої і основної дефекації 27, де він очищається в результаті коагуляції білків і фарбувальних речовин і осадження ряду аніонів, що дають нерозчинні солі з іоном кальцію, що міститься у вапняному молоці . Вапняне молоко вводиться в сік за допомогою дозуючих пристроїв.

Дефекований сік подається в ємність першої сатурації 26, де він додатково очищається шляхом адсорбції розчинних несахарів і особливо фарбувальних речовин на поверхні частинок дрібного осадку  $\text{CaCO}_3$ , який утворюється при пропусканні діоксиду вуглецю через дефекований сік. Сік першої сатурації подається через підігрівач 25 в гравітаційний відстійник 24. У відстійниках сік ділиться на дві фракції: освітлену (80 % всього соку) і згущуючу суспензію, що поступає на вакуум-фільтри 23.

Фільтрований сік першої сатурації прямує в апарати другої сатурації 22, де з нього віддаляється вапно.

Сік другої сатурації подається на фільтри 21. Соки цукрового виробництва доводиться фільтрувати кілька разів. Залежно від мети фільтрування використовуються різні схеми процесу і фільтрувальне устаткування.

Відфільтрований сік з фільтру 21 подається в ємність сульфитації 20. Мета сульфитації — зменшення кольоровості соку шляхом обробки його діоксидом сірки, який отримують при спалюванні сірки.

Сік, що сульфитується, направляють на станцію фільтрів 19, а потім транспортують через підігрівачі в перший корпус випарної станції 18. Випарні установки призначені для послідовного згущування очищеного соку другої сатурації до концентрації густого сиропу; при цьому вміст сухих речовин в продукті збільшується з 14... 16 % у першому корпусі до 65.. 70 % у останньому. Свіжа пара поступає тільки в перший корпус, а подальші корпуси обігріваються

Введіть текст]					
Л	№ докум	Полі	Л		

КРМ.ЕМ та М.663-03.06.11.23.1.1.11

Л

Л

№ докум

Полі

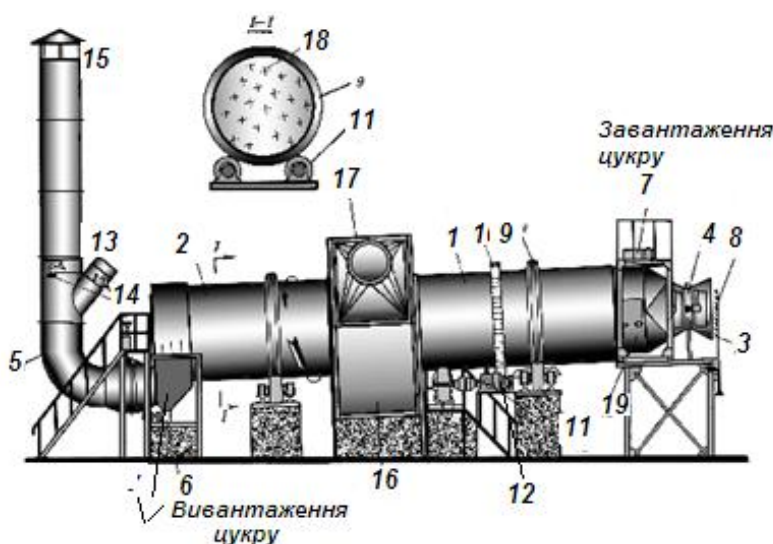
Л





нагрітим в калорифері 2 до 100 °С. Повітря відсисається з середини апарату, при цьому одночасно із сторони виходу висушеного цукру для охолодження його протитечією засмоктується холодне повітря. В результаті вологість цукру і його температура доводяться до необхідних значень.

Повітря що відсисається вентилятором 7 пропускається через циклонну пастку 8 з водяним зрошуванням для уловлювання цукрового пилу, що відноситься відпрацьованим повітрям. Розчин цукру, що спускається в мішалку 11,



очищається в пастці 12 і насосом 13

перекачується періодично в мішалки жовтого цукру. Для скорочення витрати води, що зрошує циклон, і тепло на її випаровування застосовується багатократна циркуляція води із

Рис.1.3- Барабанний суміщений сушильно-охолоджувальний апарат: 1- сушильна секція; 2-охолоджувальна секція; 3-розтруб для повітря; 4- калорифер; 6-вивантаження цукру; 7- завантаження цукру; 8-жалюзі; 17- патрубок вентилятора; 18-пересипні лопатки; 19-нерухома горловина.

збірки 9 шляхом перекачування насосом 10 і лише після доведення змісту цукру в ній до 10-15 % отриманий розчин спускається в мішалку 11.

Стрічковим транспортером 5, оснащеним електромагнітним приводним барабаном для уловлювання феромагнітних домішок і стрічковими вагами 4 для позмінного обліку кількості цукру, висушений цукор прямує в класифікатор 6, а з нього поступає в бункери 17. Під бункерами встановлені напівавтоматичні ваги 16 для порційного зважування цукру при затарюванні його в мішки. Мішки з цукром зашиваються на зашивальних машинах 15 і стрічковим транспортером 14 прямують в склад для зберігання. Грудки цукру, відокремлені в класифікаторові 6, шнеком 18 подаються в мішалку 11 для розчинення.

Процеси сушки і охолодження можуть здійснюватися як в окремих апаратах, так і в одному, що суміщає обидва процеси. Ці апарати можуть бути барабанними, камерними, шахтними і ін.

Введіть текст]

Л

КРМ.ЕМ та М.663-03.06.11.23.1.1.11

Л

№ докум

Політ

Л

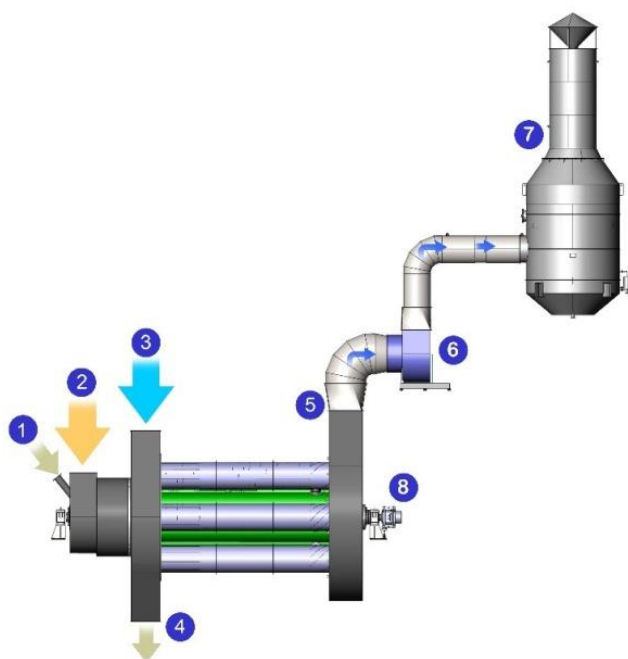


Рис. 1.4-Барабанна установка сушки цукру типу ТСС60:1 - вхід цукру; 2 - вхід гарячого повітря; 3 - вхід холодного повітря; 4 - вихід цукру; 5 - вихід змішаного повітря; 6 - вентилятор; 7 - циклон; 8 - електропривод.

Барабанна установка складається з двох барабанних секцій - сушильної 1 і охолоджувальної 2, нахилених у бік руху цукру і таких, що спираються

Привод здійснюється від електродвигуна 12 через редуктор і вінцеву пару 10. Барабан обертається із швидкістю 3,8 об/хв.

Цукор поступає в барабан з нерухомої горловини 19 через живлячий пристрій 7. У середині барабана за всім обсягом по гвинтовій лінії розташовуються пересипні лопатки 18. При обертанні барабана цукор піднімається вгору, зсипається з них вниз, знов піднімається вгору і таким чином переміщається з початку в кінець барабана.

Повітря через розтруб 3 проходить калорифер 4, поступає в сушильну частину барабана і рухається в прямооток цукру. Кількість повітря для підігріву цукру може регулюватися при допомозі жалюзі 8.

З сушильної частини цукор потрапляє в охолоджувальну. Тут назустріч ньому зі всмоктуючої труби 5 рухається холодне повітря, що забирається через патрубки

13 (з приміщення) або 15 (зовнішній). Кількість цього повітря регулюють жалюзі 14.

З охолоджувальної частини цукор відаляється через живильник 6. Повітря з охолоджувальної і сушильної секцій відсисається вентилятором через патрубок 17 з нерухомого кожуха 16, що охоплює барабан посередині. Тут на барабані під кожухом є отвори для виходу повітря. Для того, щоб цукор не висипався в цьому місці через отвори барабана, вони виконані як жалюзі, що є лопатями, що перехрещують один одного, направлені зовнішнім кінцем вперед прями обертання барабана.

**Барабанна установка сушки цукру типу ТСС60** призначена для сушки і охолодження цукру-піску. Дана установка забезпечує високоефективні і стабільні процеси сушки і охолодження при мінімальному пошкодженні кристалів цукру.

#### **Технічна характеристика:**

Продуктивність по сухому цукру – 60 т/год

Діаметр 6-ти сушильних труб – 1120 мм

Діаметр 6-ти охолоджуючих труб, –1220 мм

Відстань між опорами – 14,1м

Потужність двигуна – 55кВт

Число оборотів барабана – 5,8 об/хв

Остаточна вологість цукру не більше – 0,07%

Окремо конструкція барабана показана на рис. 2.5.

Недоліком таких барабанних апаратів є громіздкість і багатократне пересипання цукру, що приводить до утворення пилу, до стирання граней кристалів і втрати ними блиску, а також значне споживання електроенергії.

Цих недоліків позбавлені камерні апарати, що працюють за принципом "киплячого шару (рис. 1.6).

	Введіть текст]				KPM.EM та M.663-03.06.11.23.1.1.11	Л
						4
Л	№ докум	Полп	Л			



Рис. 1.5- Конструкція барабана. сушарки ТСС60.

Якщо через шар твердого зернистого матеріалу пропускати з певною швидкістю повітря, то шар спочатку розпушується, а потім переходить в стан, що нагадує киплячу рідину. Цей стан називається псевдозрідженим, а шар матеріалу - "киплячим". У такому стані цукор інтенсивно перемішується гарячим повітрям або охолоджується холодним.

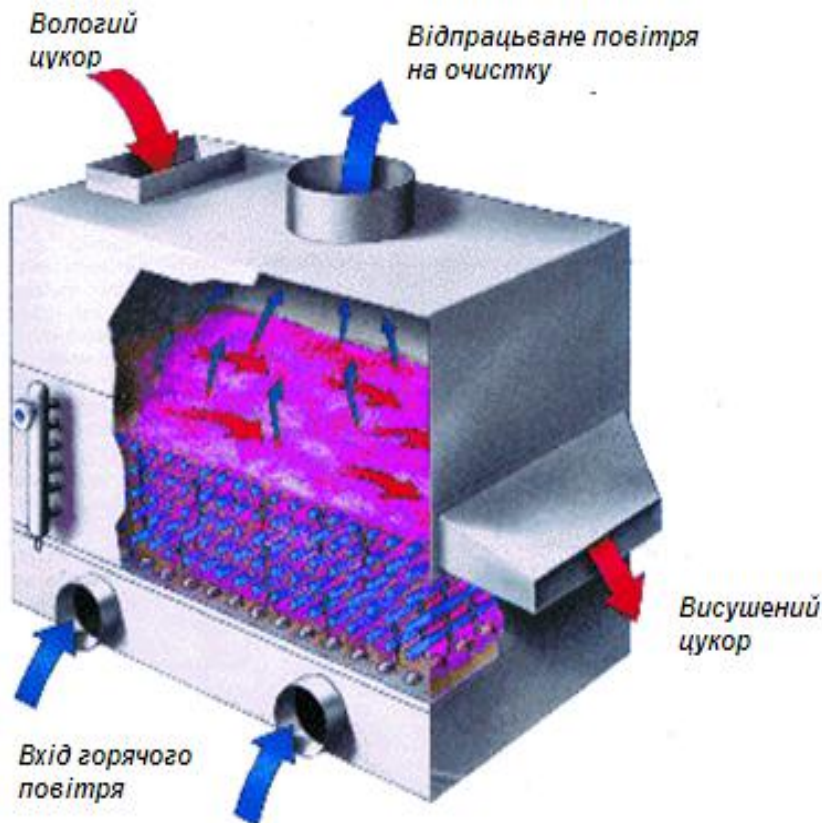


Рис. 1.6- Схема апарату з "киплячим шаром"

Сушильний або охолоджувальний

апарати "киплячого шару" складаються з трьох частин: нижньої - з підведенням повітря і розподільними ґратами для рівномірного

воздухораспределения проводиться відсмоктування відпрацьованого; середньої - в якій з якої знаходиться киплячий шар

матеріалу; верхньої

повітря. Такі апарати широко експлуатуються на зарубіжних заводах.

### 1.3. Установка СПС 20 для сушки цукру в псевдорозрідженому шарі

Сушка/охолодження в киплячому шарі — це процес пропускання КРМ.ЕМ та горячего/холодного повітря через твердий зернистий продукт, в результаті якого відбувається спочатку його розпушування, а потім перехід в стан, який схоже на стан киплячої води. Продукт в цьому випадку називається киплячим, або псевдозрідженим. В результаті продукт перемішується і висушується, а потім охолоджується. Одночасно з цими процесами відбувається і переміщення оброблюваної маси.

Основною сферою застосування установок для сушки в «киплячому шарі» є виробництво цукру. У них можна висушити цукор до вологості 0,03% і охолодити його 25.С.

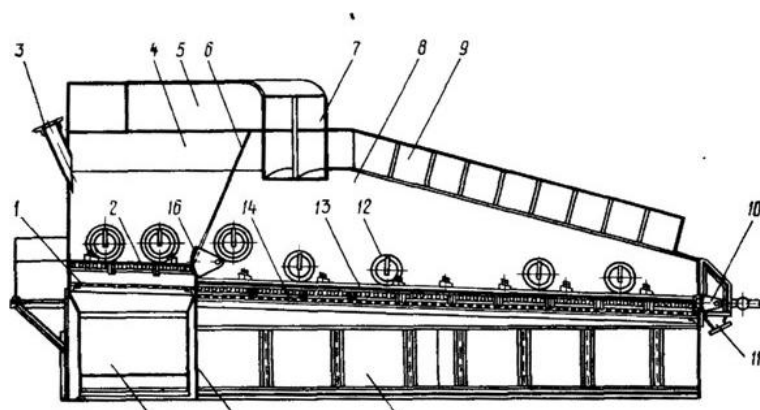


Рис.1.7-Сушильно-охолоджувальна установка СПС 20 для сушки цукру в псевдорозрідженому шарі: 1-нижні ґрати; 2-верхні ґрати; 3-труба завантаження; 4-сушильна камера .

Установка має призматичний корпус, який виготовлений з листової сталі (рис.1.7) Корпус роздільний усередині перегородками, внаслідок чого в ньому є сушильна 4 і охолоджувальна 8 камер. У нижній частині охолоджувальної камери розташовуються ґрати. Вони встановлені один над

Введіть текст]				КРМ.ЕМ та М.663-03.06.11.23.1.1.11	Л
Л	№ докум	Полп	Л		4

одним. Верхні — 2 і нижні 13 — в підтримуючі пристрої для переміщеного цукру. Знизу

розташовуються грати 1 і 14, завдяки яким повітря, що

нагнітається вентиляторами під шар продукту, розподіляється більш рівномірно.

Грати 2 і 13 — це плоскі листи, які виготовлені з профільних елементів з неіржавіючого дроту між якими є зазор в 0,3 мм. Цей зазор необхідний для пропускання через грати повітря. Живий перетин складає 8%, воно має ухил в 3°

у напрямі переміщення шару цукру. Грати 1 і 14 виготовлені з листової сталі.

Вони перфоровані. Діаметр отворів 9 мм, розташовані вони в шаховому порядку.

Крок між отворами складає 20 мм. Грати сполучені з колекторами 18 і 15. З їх

допомогою подається відповідно гаряче (у камеру 4) і холодне повітря (у камеру

8). На кінцевій частині підтримуючих грат, які розташовуються в сушильній

камері 4, знаходиться секторний шибер 16. Він призначений для зміни товщини

шару цукру, що знаходиться в псевдозрідженому стані. Ця величина може

складати від 25 до 45 см. Крім того, через нього можна прибрати з камери 4

цукрових грудки. Якщо шибер встановити у вертикальне положення, то

утворюється простір між самим шибером і гратами. Через цей простір грудки

падають в камеру 8. З охолоджувальної камери грудки забираються шибером 10,

який також розташовується на кінцевій частині підтримуючих грат в цій камері. З

його допомогою теж можна міняти товщину шару цукру в камері 8. В даному

випадку ця величина складе від 80 до 120 мм.

[Введіть текст]					Л
					4
Л	№ докум	Подп	Л		

У верхній розширеній частині корпусу є аспіраційні колектори 5 і 9. Колектор 5 видаляє відпрацьоване повітря з камери 4. Колектор 9 видаляє повітря з камери 8. У патрубок 7 поступає повітря від обох колекторів, звідки він і викидається з установки для сушки.

Установка для сушки в киплячому шарі СПС 20 має затвор через який завантажують цукор. Затвор, сполучений з трубою 3. Цей шлюзовий затвор дозволяє добитися повної герметичності у момент завантаження сировини. Цукор транспортується по ґратах в сушильній камері завдяки потоку нагрітого повітря. Це повітря подається під ґрати з тиском 250 — 350 Па. Зміну положення шибера дозволяє скоректувати час знаходження цукру в камері 4. Завдяки тому, що повітря подається саме з таким тиском, процес просушування протікає інтенсивно (присутнє вихрове кипіння) і цукор може переміщатися з камери 4 в камеру 8.

У камері 8 тиск повітря складає 80 — 120 Па,

висота киплячого шару цукру менше і він перемішається уздовж ґрат, будучи в зваженому стані. Охолоджений цукор самопливом виходить через патрубок 11, проходячи перед цим через шибер 10. На кінці патрубку 11 є шлюзовий затвор.

Для візуального контролю процесів, які відбуваються в апараті, передбачені оглядові вікна 12.

Введіть текст]					Л
Л	№ докум	Полп	Л	КРМ.ЕМ та М.663-03.06.11.23.1.1.11	
					4

## Розділ 2. Сушка цукру в псевдорозрідженому шарі

### 2.1. Технологічна лінія для сушки цукру

Сушка — це процес видалення вологи з твердих або пастообразних матеріалу випаровування рідини, що містяться в ньому. Вологість цукру повинні бути строго визначена. Це дозволяє максимально збільшити період

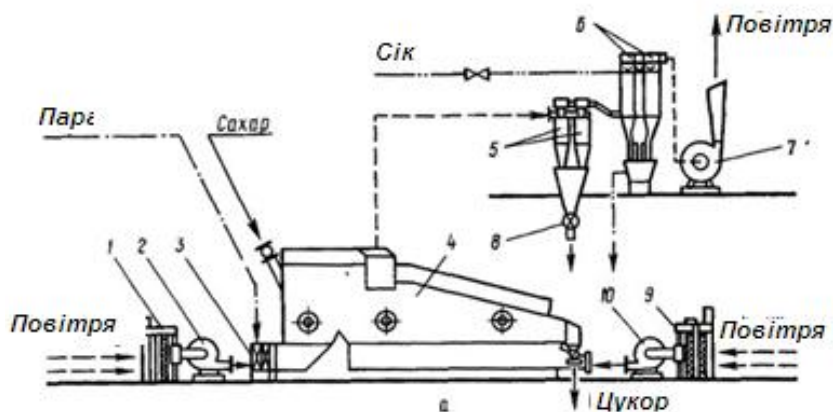


Рис.2.1- Технологічна лінія для сушки цукру в псевдорозрідженому шарі: 1-фільтр повітря; 2-вентилятор; 3-калорифер; 4-сушильна камера; 5-«сухі» циклони; 6-«мокрі» циклони; 7-вентилятор витяжки; 8-зберігання цукру, зменшити транспортні витрати за рахунок зниження ваги цукру за рахунок випаровування вологи.

Установка СПС-20, що працює за принципом «киплячого шару», входить в технологічну лінію, схема якої показана на рис.3.1. У сушильну камеру 4 установки повітря, очищене у фільтрі 1 і нагрітий в калорифері 3, подається вентилятором 2. Повітря для охолодження, очищене у фільтрі 9 (з приміщення або зовні) подається в установку вентилятором 10. Відпрацьоване повітря відсисається з установки вентилятором 7, задалегідь пройшовши «сухі» циклони 5 і «мокрі» циклони-скрубери 6. У «мокрі» циклони подається вода або фільтрований сок другої сатурації для залишкового уловлювання цукрового пилу. Розчин цукру з цих циклонів і

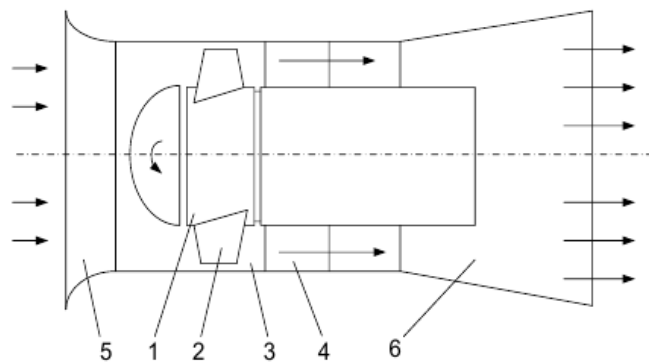
цукровий пил из «сухих» циклонів (через шлюзовий затвор 8) відводяться в клеровочний апарат.

Суть процесу сушіння в псевдорозрідженому шарі заключається в наступному: при проходженні з відповідною швидкістю теплого повітря через шар цукру, він стає плинним і нагадує киплячу рідину. Активне змішування теплового повітря з зернистим матеріалом цукру інтенсифікує процес сушіння.

У технологічному процесі управління потрібно забезпечити розрідження з 2 кПа. Стабілізувати температуру сушіння виконують зміною кількістю пари нагрівача. Температура нагріву пари повинна бути  $t = 88-92^{\circ}$ . Система забезпечує автоматичний контроль температури нагріву повітря і повітря, охолодження, температури сухого цукру, тиск нагрівання та охолодження повітря.

В процесі сушіння цукру в псевдорозрідженому шарі вентилятор відіграє важливу роль.

## 2.2. Вибір вентилятора



Вентилятор є механічний пристрій, що має на меті реалізацію

Рис. 2.2 – Схема осевого вентилятора: 1 – робоче колесо; 2 – лопатки робочого колеса; 3 – кожух; 4 – направляючий пристрій; 5 – колектор; 6 – диффузор .

повітрообміну в різних технологічних процесах.

Залежно від принципу дії вентилятори поділяються на осьові і відцентрові (Осьовий лопатевий вентилятор складається з робочого колеса 1, на втулці якого кріпиться профільні лопатки 2, корпуса 3, направляючого апарата (рис.2.2) з нерухомими лопатками 4, колектора 5, диффузора 6. Робоче колесо обертається, передає енергію диск роумінгу.

Введіть текст]				КРМ.ЕМ та М.663-03.06.11.23.1.1.11	Л
Л	№ докум	Подп	Л		4

лопатею робочого колеса до виходу з дифузора або мережі і частково перетворює динамічний тиск в рухомих потік повітря статичного тиску.

*Осьові вентилятори бувають одноступінчатими і двоступінчатими. У другому випадку в кожусі вентилятора знаходяться дві ступені, які працюють послідовно і кожна КРМ.ЕМ та М.663-03.06.11.23.1.1.11*

ступінь має своє робоче колесо.

Проміжний направляючий апарат знаходиться між робочими колесами.

Цей апарат складається з нерухомих профільних лопаток або профільних лопаток з регульованим кутом установки.

Призначення направляючого апарату – подача повітря до робочого колеса і перетворення частини кінетичної енергії потоку (динамічного тиску) в потенційну (статичний тиск). Направляючий апарат встановлюється за другим робочим колесом по ходу струменя. Обидва ступені можуть знаходитися на одному валу або на окремих валах. Наявність двох ступенів дозволяє вентилятору розвивати більший тиск.

Основа радіального вентилятора (рис 2.3) складає робоче колесо 1, між переднім і заднім дисками якого закріплені профільні лопатки таким чином, що їх вхідна кромка розташовується на колі меншого радіусу, чим вихідна хвостова частина. Призначення робочого колеса - передавати енергію приводу вентилятора переміщуваному повітрю.

Робоче колесо обертається в спіральному кожусі 2. Уліткообразний кожух призначений для подачі повітря в певному напрямі і часткового перетворення динамічного тиску в потоці повітря в статичний тиск. Повітря поступає у вентилятор через вхідний колектор 3, в якому встановлені ті, що повертаються, кожна щодо своєї осі лопатки 4 направляючі апарати. Направляючий апарат призначений для подачі повітря до робочого колеса з певною швидкістю і під певним кутом, це дозволяє регулювати робочі режими вентилятора.

Введіть текст]					КРМ.ЕМ та М.663-03.06.11.23.1.1.11	Л
Л	№ докум	Полп	Д			4

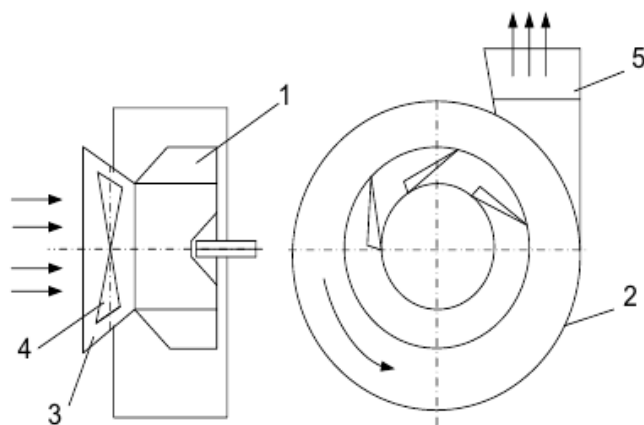


Рис.2.3-Схема радіального вентилятора:

1-робоче колесо;  
2-спіральний кожух; 3 –вхідний колектор;  
4-леза надсилання апарату; 5- дифузор.

Повітря надходить до вала робочого колеса паралельно осі вентилятор, потім під дією тяги, що розвивається лопатками і відцентрової сила повітряний потік повертається на  $90^{\circ}$ , проходить між лопатками, поступає в периферичну частини корпусу і проходить через дифузор 5 в атмосферу. Дифузор є додатковим перетворювачем динамічного тиску в потоці на виході з кожуха в статичний тиск.

Відповідно до технологічного процесу рекомендовано вибрати вентилятор відцентрової (радіальною) конструкції високого тиску ВР 132-30 (рис 2.3).

Відцентрові вентилятори високого тиску ВР 132-30 призначені для переміщення неагресивного газу або повітря з температурою не більш  $80^{\circ}\text{C}$  і запиленою не більше  $100 \text{ мг/м}^3$ , що не містить липких і волокнистих речовин.

Такі вентилятори застосовуються в системах кондиціонування повітря, в системах вентиляції виробничих громадських і житлових будівель, в технологічних процесах. Вентилятори експлуатуються в умовах помірного (У) і тропічного (Т) клімату другої і третьої категорії розміщення по ГОСТ15150-69 [18].

Температура навколишнього середовища від  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $+40^{\circ}\text{C}$ .

#### Технічна характеристика вентилятора

Продуктивність  $2250-3000 \text{ м}^3/\text{год}$

Тиск,  $1900-2000 \text{ Па}$

Частота обертання робочого колеса  $2860 \text{ об/мин}$

Введіть текст]

Л

КРМ.ЕМ та М.663-03.06.11.23.1.1.11

Л

№ докум

Полп

Л



характер, а потужність, що підводиться до вентилятора, без урахування втрат на тертя в підшипниках пропорційна кубу швидкості. Тому для розрахунку режимів роботи вентиляторів можна використовувати вирази для закону подібності .

$$Q = \frac{Q}{Q_{ном}} = \frac{\omega}{\omega_{ном}}, \quad H = \frac{H}{H_{ном}} = \left( \frac{\omega}{\omega_{ном}} \right)^2,$$

де  $\omega_{ном}$  - номінальна швидкість обертання;  $P_{ном}$  - номінальна потужність двигуна;  $M_{ном}$  - номінальний момент.

Неекономічним способом регулювання продуктивності вентиляторів є регулювання шибером перетину вихідною каналу вентилятора.

При цьому **відбувається** не зміна характеристики вентилятора, а міняється характеристика магістралі, як це **відбувається** в насосних установках.

Якщо подачу вентилятора регулювати зміною швидкості, то характеристика мережі відповідає формулі:

$$H = H_0 + RQ^2,$$

а ККД вентилятора у всьому діапазоні регулювання залишається постійним.

Потужність, споживану з мережі двигуном вентилятора (без урахування ККД вентилятора), при регулюванні шибером, а при частотному регулюванні наведена на графіках (рис.4.6).

Пунктирною лінією показані графіки потужності двигуна з урахуванням ККД вентилятора. З рис. 2.6 видно, що споживана потужність в частотно-регульованому електроприводі вентилятора значно нижча, ніж при регулюванні шибером майже при будь-яких значеннях витрати за винятком точки номінального режиму.

	Введіть текст]					Л
					КРМ.ЕМ та М.663-03.06.11.23.1.1.11	
Л	№ докум	Полп	Л			

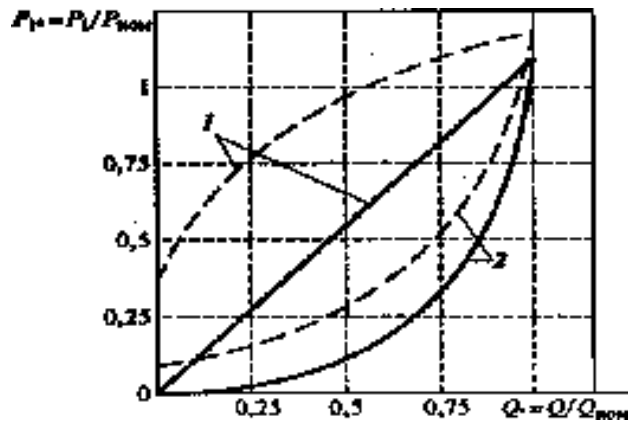


Рис. 2.6 - Експлуатаційні характеристики вентилятора

Регулювання продуктивності осью вентилятора зміною швидкості двигуна пов'язано з певними утрудненнями, яких немає у відцентрових машинах. Якщо встановити кут повороту лопаток рівним, наприклад  $\Theta=47^{\circ}$ , то робота на мережу з характеристикою, такий як  $0A_1$  (рис.2.7), тобто з будь-якою характеристикою, що проходить лівіше  $0A_2$ , виявиться неможливою, так як вентилятор потрапляє в зону нестійкої роботи.

Робота на мережу з характеристикою, лежачою правіше  $0A_2$ , наприклад  $0A_3$ , неекономічна, оскільки не дивлячись на регулювання швидкості ККД вентилятора не перевищить 0,5. Тому зона раціональної роботи осью вентилятора з регулюванням тільки швидкості досить вузька і у ряді випадків потрібне комбіноване регулювання: періодичне при

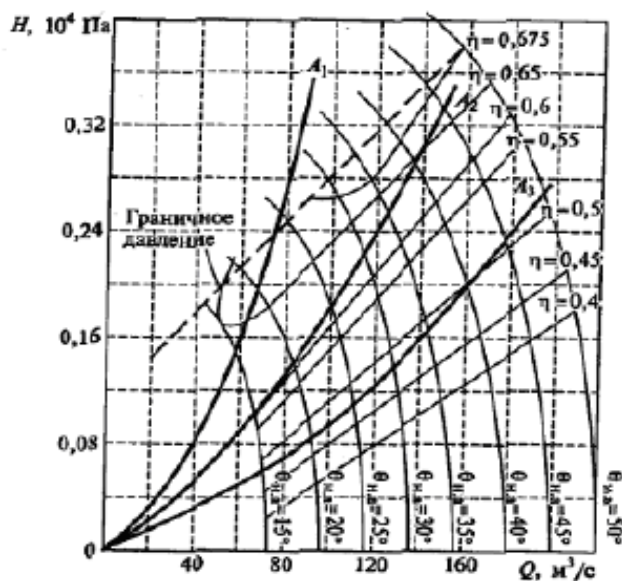


Рис. 2.7-Аеродинамічна характеристика вентилятора ВР 132-30

значних змінах характеристики мережі за допомогою повороту лопаток з одночасною зміною швидкості і безперервне в невеликому діапазоні зміни тільки швидкості.

Враховуючи сказане, до регулювання осьових вентиляторів потрібно підходити уважніше, ніж до регулювання відцентрових, проводячи детальний аналіз можливих режимів роботи. При цьому особливе значення для ряду осьових вентиляторів має застосування регульованого електроприводу. Оскільки ККД осьових вентиляторів з регульованим електроприводом більше, ніж при нерегульованому, в середньому на 12 %. Окрім підвищення ККД застосування регульованою приводу осьових вентиляторів дозволяє в деяких випадках спростити конструкцію турбомашин, виключивши направляючий апарат, а також забезпечити одночасну роботу два і більше вентиляторів.

Вентилятори є механізмами з режимом тривалого навантаження з великою тривалістю роботи протягом року; навантаження на валу приводного двигуна спокійне, перевантажень не виникає. Вентилятори володіють великим моментом інерції, що необхідно враховувати при розрахунку пускових характеристик електроприводів.

Необхідний діапазон регулювання швидкості для вентиляторів зазвичай не перевищує 1,4. Глибше регулювання використовується рідко, якщо враховувати кубічну залежність споживаної потужності від частоти обертання.

Пуск вентилятора може проводитися як при розвантаженій машині, тобто при закритому направляючому апараті, так і при повністю відкритому. У першому випадку максимальний момент при пуску двигуна вентилятора дорівнює приблизно 0,4 номінального, в другому — номінальному.

	Введіть текст]					Л
					КРМ.ЕМ та М.663-03.06.11.23.1.1.11	
Л	№ докум	Полп	Л			

### Розділ 3.. Розрахунок і вибір потужності двигуна.

#### 3.1. Розрахунок потужності двигуна

Джерело даних:

Продуктивність  $Q = 0,7 \text{ м}^3/\text{с}$ ;

Тиск  $H = 2000 \text{ ПА}$ ;

ККД вентилятора  $\eta_{\text{в}} = 0,75$

.Потужність вентилятора:

$$P_{\text{в}} = \frac{Q \cdot H}{\eta_{\text{в}} \cdot \eta_{\text{п}}} 10^{-3} = \frac{0,7 \cdot 2000}{0,75} 10^{-3} = 1,87 \text{ кВт} \quad (4.1)$$

Розрахункова потужність двигуна з урахуванням коефіцієнта запасу буде

$$P_{\text{в}} = k_{\text{з}} \frac{Q \cdot H}{\eta_{\text{в}} \cdot \eta_{\text{п}}} = 1,3 \frac{0,7 \cdot 2000}{0,75 \cdot 0,9} = 2,69 \text{ кВт} \quad (4.2)$$

Приймаємо ККД механічної передачі  $\eta_{\text{п}} = 0,9$ .

По каталогу вибираємо двигун типу АИР90L2 номінальною потужністю

$P_{\text{ном}} = 3 \text{ кВт}$ .

$3 \text{ кВт} > 2,6 \text{ кВт}$  – умова виконується.

Технічні дані двигуна наведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 - Технічні дані двигуна

Р, кВт	об/хв	При номінальному навантаженні			j, кг.м <sup>2</sup>
		S <sub>НОМ</sub> , %	cosφ <sub>М</sub>	η <sub>ОМ</sub> , %	
3	2860	5	0,88	84,5	0,0035

$\frac{M_{\text{н}}}{M_{\text{ном}}}$	$\frac{M_{\text{max}}}{M_{\text{ном}}}$	$M_{\text{мін}}/M_{\text{ном}}$	$I_{\text{пуск}}/I_{\text{ном}}$	Ступінь захисту
2	2,2	1,6	7	1P55

Введіть текст]					Л
Л	№ докум	Полп	Л	КРМ.ЕМ та М.663-03.06.11.23.1.1.11	
					4

Клас ізоляції «F».

Габаритні і установочно-приєднувальні розміри двигуна представлені в табл. 3.2.

Таблиця 3.2- Габаритні і установочно-приєднувальні розміри двигуна

Тип двигуна	Габаритні розміри, мм			Постановочні і приєднувальні розміри, мм						
	d <sub>24</sub>	L <sub>30</sub>	h <sub>31</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>10</sub>	d <sub>1</sub>	d <sub>10</sub>	d <sub>20</sub>	d <sub>22</sub>	d <sub>25</sub>
АИР90L2	250	380	245	8	140	24	10	215	15	180

Настановні і приєднувальні розміри, мм								
h	h <sub>1</sub>	h <sub>s</sub>	L <sub>1</sub>	L <sub>10</sub>	L <sub>11</sub>	L <sub>20</sub>	L <sub>31</sub>	d <sub>30</sub>
90	7	35	50	100	170	4	56	195

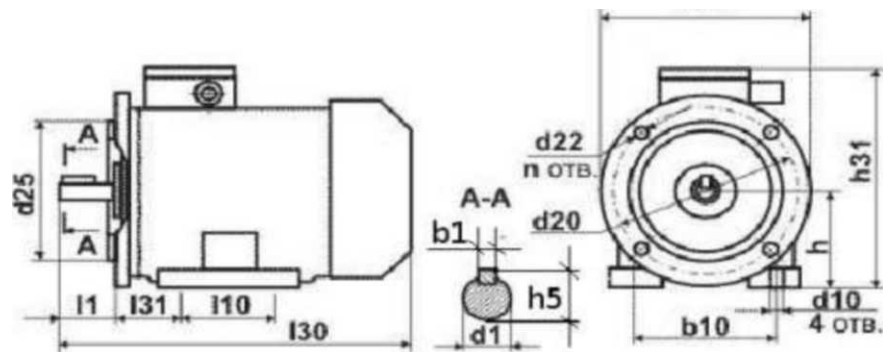


Рис. 3.1 - Габаритні установочно-приєднувальні розміри двигуна.

Синхронна частота обертання:

$$n_0 = \frac{60 \cdot f_{1\text{н}}}{p} = \frac{60 \cdot 50}{1} = 3000 \text{ об / хв } ,$$

де  $f_{1\text{н}}$  - частота мережі ,  $p$ - пар число полюсов.

Синхронна швидкість обертання:

$$\omega_0 = \frac{\pi \cdot n_0}{30} = \frac{3.14 \cdot 3000}{30} = 314 \text{ рад/с}$$

Введіть текст]

КРМ.ЕМ та М.663-03.06.11.23.1.1.11

Л

№ докум

Полп

Л

Л

Номинальна кутова швидкість

$$s_n = \frac{n_0 - n_n}{n_0} = \frac{3000 - 2860}{3000} = 0,047$$

$$\omega_{двн} = (1 - s_n) \cdot \omega_0 = (1 - 0,047) \cdot \omega_0$$

Номинальний момент:

$$M_{двн} = \frac{P_{двн}}{\omega_{двн}} = \frac{3000}{299,3} = 10,024 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Номинальна фазна напруга:

$$U_{1н} = \frac{U_{фн}}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220 \text{ В}$$

Номинальний струм статора:

Струм стора при навантаженні  
0,75 номінального:

$$I_n = \frac{P_n}{3 \cdot U_{1н} \cdot \cos \phi \cdot \eta_n} = \frac{3000}{3 \cdot 220 \cdot 0,88 \cdot 0,845} = 6,1 \text{ А}$$

$$I_{1н} = \frac{P_n \cdot F}{3 \cdot U_{1н} \cdot \cos \phi}$$

Максимальний потребляемый ток двигателя при прямом пуске:

$$I_{1макс} = k_{ид} \cdot I_{1н} = 7 \cdot 6,113 = 42,791 \text{ А}$$

Критический момент:

$$M_k = m_k M_{двн} = 2,2 \cdot 10 = 22 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Пусковой момент двигателя при прямом пуске:

$$M_{двпуск} = m_n M_{двн} = 2 \cdot 10,024 = 20 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

### 3.2. Розрахунок параметрів схеми заміщення дви гуна.

Для розрахунку механічних і електромеханічних характеристик асинхронного двигуна необхідно скористатися його математичною моделлю, яка в загальному випадку представляється різними схемами заміщення.

Найбільш зручною і простою для розрахунку асинхронного двигуна є Т-

Введіть текст]					Л
Л	№ докум	Полп	Л		

подібна схема заміщення:

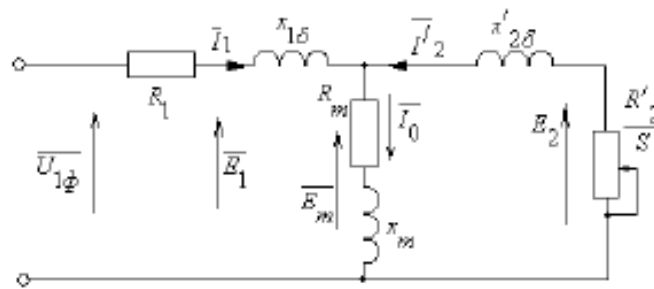


Рис.3.2 – Т-подібна схема заміщення двугуна

$U_{1\phi}$  – фазна напруга мережі;

$I_1$  – струм обмотки статора;

$R_1$  – активний опір обмотки статора;

$X_{1\sigma}$  – індуктивний опір розсіяння обмотки статора;

$I_2'$  – приведений **струм** обмотки ротора до обмотки статора;

$R_2'$  – приведений активний опір обмотки ротора до **кола** обмотки статора;

$X_2'$  – приведений індуктивний опір розсіяння обмотки ротора до **кола** обмотці статора;

$I_0$  – **струм** холостого ходу (намагнічення);

$X_m$  – індуктивний опір контура намагнічення.

Для визначення значень приведенного активного опору ротора і активного опору статора знайдемо коефіцієнти:

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_i \cdot I_{1n}} = 1 + \frac{2,912}{2 \cdot 7 \cdot 6,113} = 1,034;$$

$$A_1 = m \cdot U_{1n}^2 \cdot \frac{1 - s_n}{2 \cdot C_1 \cdot m_k \cdot P_n} = 3 \cdot 220^2 \cdot \frac{1 - 0,047}{2 \cdot 1,034 \cdot 2,2 \cdot 3000} = 10,138,$$

де  $m = 3$  – число фаз,

$I_0$  – ток холостого ходу.

Введіть текст]

Л

КРМ.ЕМ та М.663-03.06.11.23.1.1.11

Л

№ докум

Полп

Л

Активний опір ротора, приведений до обмотки статора:

$$R'_2 = \frac{A_1}{\left(\beta + \frac{1}{s_k}\right) \cdot C_1} = \frac{10,138}{\left(1 + \frac{1}{0,222}\right) \cdot 1,034} = 1,78 \text{ Ом},$$

де  $\beta = 1$ ;

$s_k$  – критичне ковзання.

Активний опір фази обмотки статора:

$$R_1 = C_1 \cdot R'_2 \cdot \beta = 1,034 \cdot 1,78 \cdot 1 = 1,841 \text{ Ом}$$

Індуктивний опір короткого замикання:

де

Індуктивний опір приведений до роторної обмотки, статорної:  $\gamma = \sqrt{\frac{1}{s_k^2} - \beta^2} = \sqrt{\frac{1}{0,222^2} - 1^2} = 4,395$

$$X'_{2\sigma} = 0,58 \cdot \frac{X_{\sigma k}}{C_1} = 0,58 \cdot \frac{8,09}{1,034} = 4,538 \text{ Ом}$$

Індуктивний опір обмотки статора:

$$X_{1\sigma} = 0,42 \cdot X_{\sigma k} = 0,42 \cdot 8,09 = 3,398 \text{ Ом}$$

Критичне ковзання:

$$s_{k1} = \frac{C_1 \cdot R'_2}{\sqrt{R_1^2 + X_{\sigma k}^2}} = \frac{1,034 \cdot 1,78}{\sqrt{1,841^2 + 8,09^2}} = 0,222$$

Набутих значень  $s_k$  і  $s_{k1}$  збігаються.

ЕРС вітки намагнічення, наведена магнітним потоком повітря

зазору в обмотці статора:

Введіть текст]					Л
Л	№ докум	Полп	Л		

$$E_1 = \sqrt{(U_{1a} \cdot \cos \varphi - R_1 \cdot I_{1a})^2 + (U_{1a} \cdot \sin \varphi - X_{1a} \cdot I_{1a})^2} =$$

$$\varphi = \arccos\left(\frac{220 \cdot 0,88 - 1,841 \cdot 6,113}{200}\right) = 200 \text{ В,}$$

$$\sin \varphi = \sin(\dots)$$

Індуктивний опір контура намагнічення:

$$X_{\mu} = \frac{E_1}{I_0} = \frac{200,649}{2,912} = 68,898 \text{ Ом}$$

Індуктивність обмотки статора, обумовлена потоком розсіяння:

$$L_{1\sigma} = \frac{X_{1\sigma}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1a}} = \frac{3,398}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 10,82 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}$$

Приведене значення індуктивності обмотки ротора, обумовленої

$$L_{2\sigma} = \frac{X'_{2\sigma}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1a}} = \frac{4,538}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 14,45 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}$$

потоком розсіяння:

Індуктивність контура намагнічення:

$$L_{\mu} = \frac{X_{\mu}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1a}} = \frac{68,898}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,219 \text{ Гн}$$

Параметри схеми заміщення **представлені** в таб 3.3.

Таблиця 3.3- Параметри схеми заміщення

R <sub>1</sub> , Ом	X <sub>1</sub> , Ом	L <sub>1</sub> , Гн	X <sub>μ</sub> , Ом	L <sub>μ</sub> , Гн	R' <sub>2</sub> , Ом	X' <sub>2</sub> , Ом	L' <sub>2</sub> , Гн	X <sub>кн</sub> , Ом
1,841	3,398	10,82·10 <sup>-3</sup>	68,898	0,219	1,78	4,538	14,45·10 <sup>-3</sup>	8,09

Введіть текст]

Л

КРМ.ЕМ та М.663-03.06.11.23.1.1.11

Л

№ докум

Полп

Л

### 3.3. Розрахунок природних характеристик регульованого електроприводу .

Набудемо значення ковзання  $s = 0..1$ , тоді можна розрахувати залежність приведенного **струму** ротора від ковзання по формулі [1]:

$$I'_2(s) = \frac{U_s}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R'_2}{s}\right)^2 + X_{\text{вн}}^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R'_2}{s \cdot X_{\text{вн}}}\right)^2}},$$

Залежність **струму** статора від ковзання:

$$I_1(s) = \sqrt{I_0^2 + I'_2(s)^2 + 2 \cdot I_0 \cdot I'_2(s) \cdot \sin \left( \frac{X_{\text{вн}}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R'_2}{s}\right)^2 + X_{\text{вн}}^2}} \right)}.$$

Значень кутової швидкості можна набути з **наступної** залежності:

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

Результати розрахунків представлені в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4- Значення приведенного **струму** ротора і **струму** статора від ковзання

s	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
$I'_2, \text{ A}$	15,06	21,74	25	26,74	27,78	28,91	29,24	29,49	29,68	29,85
$I_1, \text{ A}$	16,41	23,48	26,91	28,74	29,83	31,01	31,36	31,61	31,81	31,97

Природні електромеханічні характеристики асинхронного двигуна приведені на рис. 3.4



Результати розрахунку представлені в таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 Механічна характеристика асинхронного двигуна .

s	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
$\omega$ , рад/с	282,74	254,47	226,19	197,92	169,65	113,1	84,82	56,55	28,27	0
$M_c$ , Н·м	25,19	27,645	24,8	21,485	18,645	14,51	13,015	11,785	10,755	9,885

Механічні характеристики асинхронного двигуна і вентилятора наведені на рис. 3.4.

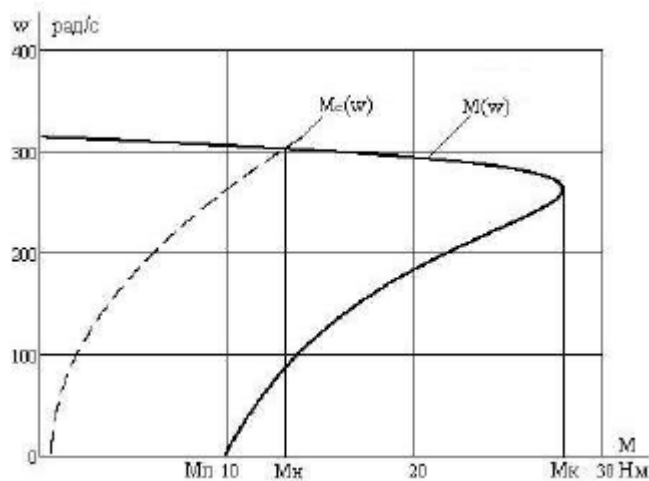


Рис. 3.4-Механічні характеристики  $M(\omega)$  асинхронного двигуна і вентилятора  $M_c(\omega)$

### 3.4. Розрахунок штучних характеристик регульованого електроприводу .

Для регулювання швидкості електроприводу вентилятора застосовують наступні закони регулювання –  $U/f = \text{const}$  або  $U/f^2 = \text{const}$ , оскільки вентилятор не потребує великого діапазону регулювання швидкості і не вимагає забезпечення високої кратності пускового і максимального моментів.

Найчастіше для навантаження вентилятора застосовується закон регулювання  $U/f^2 = \text{const}$ , проте, при його використанні, на низьких частотах рівних 5 ... 10 Гц

статичний момент на валу двигуна був більше пускового моменту, в результаті чого двигун не зможе запуститися.

У зв'язку з цим був вибраний закон регулювання  $U/f = \text{const}$ , який забезпечує стійку роботу двигуна як на малих, так і на великих частотах.

У відповідності цим законом штучні (регульовальні) характеристики розраховуються для декількох вибраних значень частот напруги живлення  $f_{1н1}, f_{1н2}, f_{1н3}, f_{1н4}$ .

Прийmemo  $f_{1н1} = 50$  Гц,  $f_{1н2} = 25$  Гц,  $f_{1н3} = 10$  Гц,  $f_{1н4} = 5$  Гц.

Відносні значення частот **напруги** живлення відповідно

рівні:

$$f_{1к1} = \frac{f_{1н1}}{f_{1н}} = \frac{50}{50} = 1;$$

$$f_{1к2} = \frac{f_{1н2}}{f_{1н}} = \frac{25}{50} = 0,5;$$

$$f_{1к3} = \frac{f_{1н3}}{f_{1н}} = \frac{10}{50} = 0,2;$$

$$f_{1к4} = \frac{f_{1н4}}{f_{1н}} = \frac{5}{50} = 0,1.$$

Значення фазної **напруги** обмотки статора асинхронного двигуна

для заданого **ряду** частот:

$$U_{1н1} = Z_p \cdot f_{1н1} = 4,4 \cdot 50 = 220 \text{ В};$$

$$U_{1н2} = Z_p \cdot f_{1н2} = 4,4 \cdot 25 = 110 \text{ В};$$

$$U_{1н3} = Z_p \cdot f_{1н3} = 4,4 \cdot 10 = 44 \text{ В};$$

$$U_{1н4} = Z_p \cdot f_{1н4} = 4,4 \cdot 5 = 22 \text{ В};$$

де  $Z_p = U_{1н}/f_{1н} = 4,4$ .

Значення **синхронних** кутових швидкостей:

	Введіть текст]			КРМ.ЕМ та М.663-03.06.11.23.1.1.11	Л
Л	№ докум	Полі	Л		

$$\omega_{01} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_{1\#1}}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 50}{1} = 314,159 \text{ рад/с};$$

$$\omega_{02} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_{1\#2}}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 25}{1} = 157,08 \text{ рад/с};$$

$$\omega_{03} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_{1\#3}}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 10}{1} = 62,832 \text{ рад/с};$$

$$\omega_{04} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_{1\#4}}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 5}{1} = 31,416 \text{ рад/с}.$$

Значення кутових швидкостей знаходяться з виразів:

$$\omega_1(s) = \omega_{01} \cdot (1 - s);$$

$$\omega_2(s) = \omega_{02} \cdot (1 - s);$$

$$\omega_3(s) = \omega_{03} \cdot (1 - s);$$

$$\omega_4(s) = \omega_{04} \cdot (1 - s).$$

Задавшись значеннями ковзання  $s = 0.1$ , можна розрахувати і побудувати електромеханічні характеристики, які визначають залежність приведенного струму ротора від ковзання по виразах [1]:

$$I'_{21}(s) = \frac{U_{1\#1}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R'_2}{s}\right)^2 + X_{\text{кн}}^2 \cdot f_{1\#1}^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R'_2}{s \cdot X_{\text{мн}} \cdot f_{1\#1}}\right)^2}};$$

$$I'_{22}(s) = \frac{U_{1\#2}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R'_2}{s}\right)^2 + X_{\text{кн}}^2 \cdot f_{1\#2}^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R'_2}{s \cdot X_{\text{мн}} \cdot f_{1\#2}}\right)^2}};$$

$$I'_{23}(s) = \frac{U_{1\#3}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R'_2}{s}\right)^2 + X_{\text{кн}}^2 \cdot f_{1\#3}^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R'_2}{s \cdot X_{\text{мн}} \cdot f_{1\#3}}\right)^2}};$$

$$I'_{24}(s) = \frac{U_{1\#4}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R'_2}{s}\right)^2 + X_{\text{кн}}^2 \cdot f_{1\#4}^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R'_2}{s \cdot X_{\text{мн}} \cdot f_{1\#4}}\right)^2}};$$

Електромеханічні характеристики приведені на рис. 3.5.

Введіть текст]					Л
Л	№ докум	Поліг	Л		

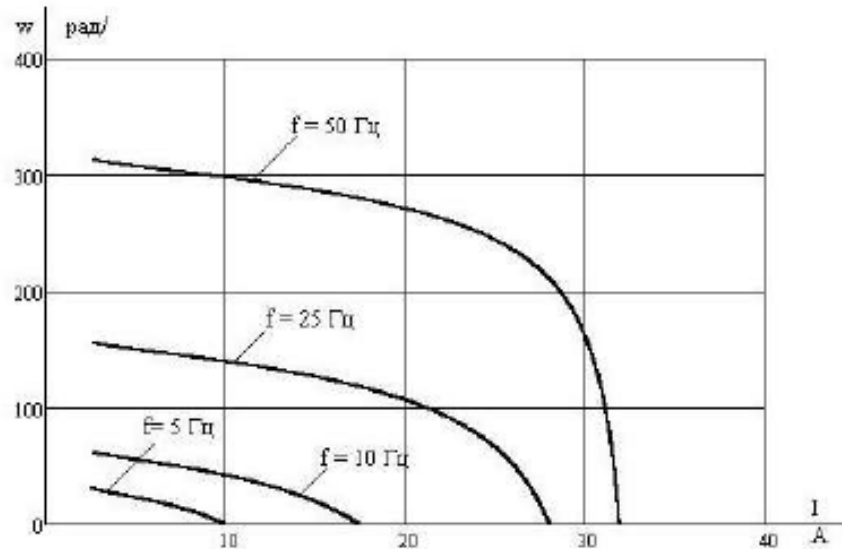


Рис. 3.5– Електромеханічні характеристики  $\omega = f(I'_2)$

Електромеханічні характеристики, що визначають залежність **струму** статора від ковзання можна розрахувати і **побудувати** по **наступних**

$$I_{11}(s) = \sqrt{I_0^2 + I'_{21}(s) + 2 \cdot I_0 \cdot I'_{21}(s) \cdot \sin \frac{X_{en} \cdot f_{1\omega 1}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R'_2}{s}\right)^2 + X_{en}^2 \cdot f_{1\omega 1}^2}}};$$

$$I_{12}(s) = \sqrt{I_0^2 + I'_{22}(s) + 2 \cdot I_0 \cdot I'_{22}(s) \cdot \sin \frac{X_{en} \cdot f_{1\omega 2}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R'_2}{s}\right)^2 + X_{en}^2 \cdot f_{1\omega 2}^2}}};$$

$$I_{13}(s) = \sqrt{I_0^2 + I'_{23}(s) + 2 \cdot I_0 \cdot I'_{23}(s) \cdot \sin \frac{X_{en} \cdot f_{1\omega 3}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R'_2}{s}\right)^2 + X_{en}^2 \cdot f_{1\omega 3}^2}}};$$

$$I_{14}(s) = \sqrt{I_0^2 + I'_{24}(s) + 2 \cdot I_0 \cdot I'_{24}(s) \cdot \sin \frac{X_{en} \cdot f_{1\omega 4}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R'_2}{s}\right)^2 + X_{en}^2 \cdot f_{1\omega 4}^2}}};$$

виразам:

Електромеханічні характеристики приведені на рис. 3.6.

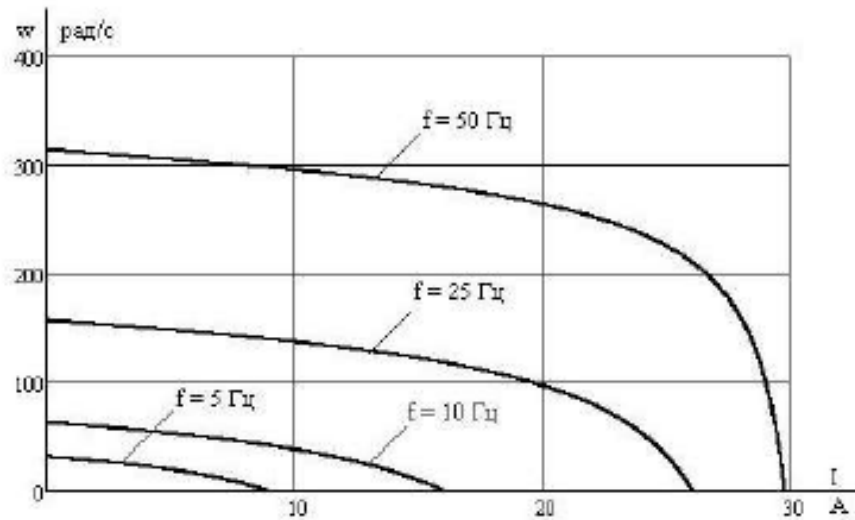


Рис. 3.6-Електромеханічні характеристики залежності швидкості від струму статора.

Розрахунок і **побудова** механічних характеристик проводяться по виразам:

$$M_1(s) = \frac{3 \cdot U_{1a1}^2 \cdot R'_2}{\omega_{01} \cdot s \cdot \left[ X_{sv}^2 \cdot f_{1a1}^2 + \left( R_1 + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + \left( \frac{R_1 \cdot R'_2}{s \cdot X_{\mu v} \cdot f_{1a1}} \right)^2 \right]}$$

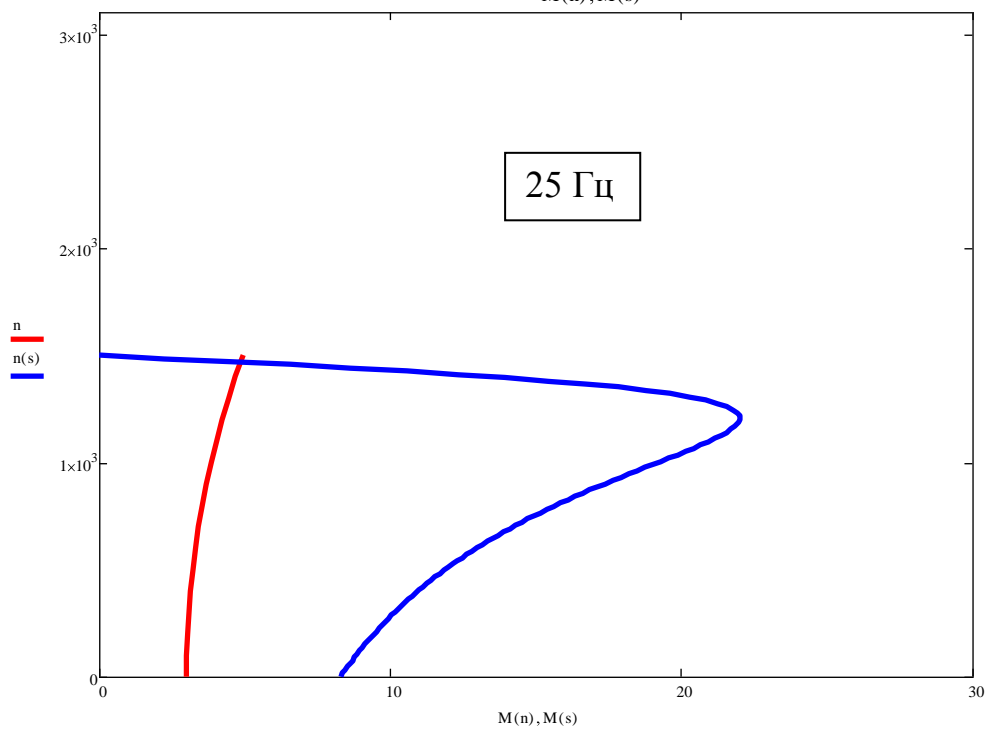
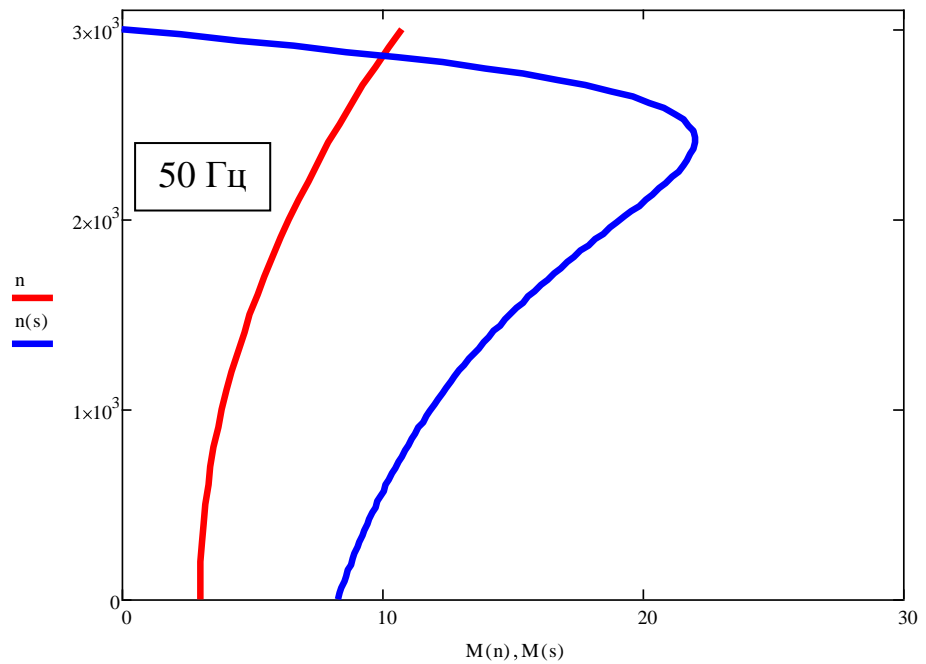
$$M_2(s) = \frac{3 \cdot U_{1a2}^2 \cdot R'_2}{\omega_{02} \cdot s \cdot \left[ X_{sv}^2 \cdot f_{1a2}^2 + \left( R_1 + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + \left( \frac{R_1 \cdot R'_2}{s \cdot X_{\mu v} \cdot f_{1a2}} \right)^2 \right]}$$

$$M_3(s) = \frac{3 \cdot U_{1a3}^2 \cdot R'_2}{\omega_{03} \cdot s \cdot \left[ X_{sv}^2 \cdot f_{1a3}^2 + \left( R_1 + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + \left( \frac{R_1 \cdot R'_2}{s \cdot X_{\mu v} \cdot f_{1a3}} \right)^2 \right]}$$

$$M_4(s) = \frac{3 \cdot U_{1a4}^2 \cdot R'_2}{\omega_{04} \cdot s \cdot \left[ X_{sv}^2 \cdot f_{1a4}^2 + \left( R_1 + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + \left( \frac{R_1 \cdot R'_2}{s \cdot X_{\mu v} \cdot f_{1a4}} \right)^2 \right]}$$

### 3.5. Розрахунок штучних механічних характеристик в Mathcad .

Графіки механічних характеристик при частотах різних частотах (Рис.3.6):



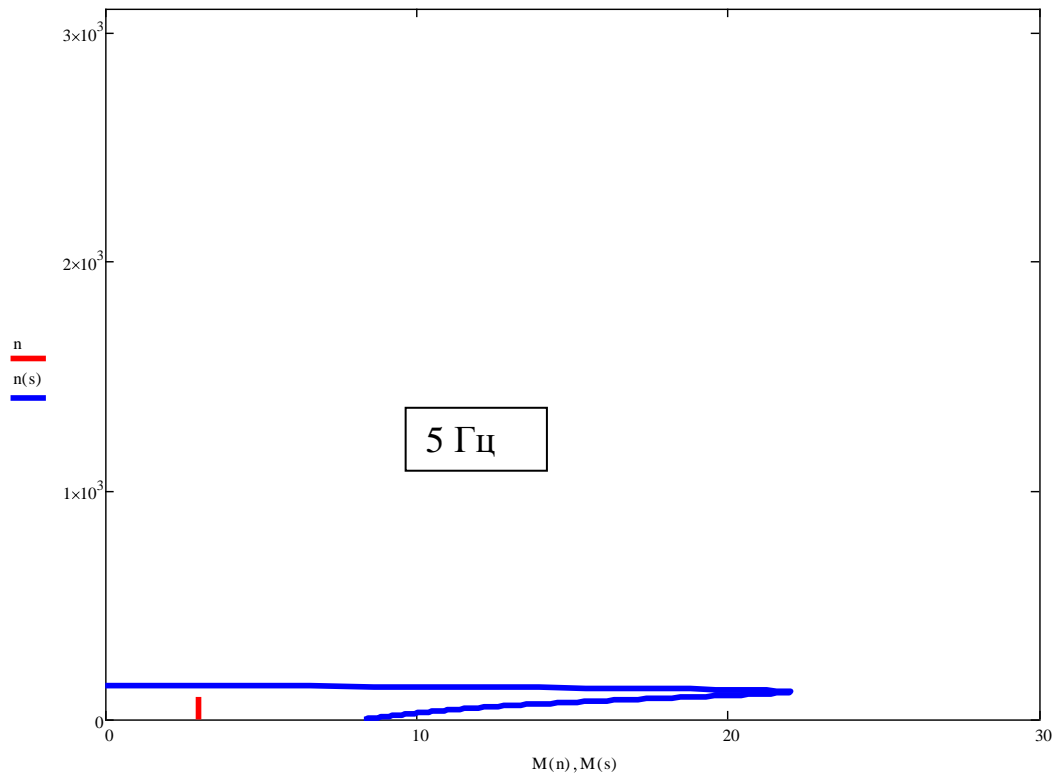
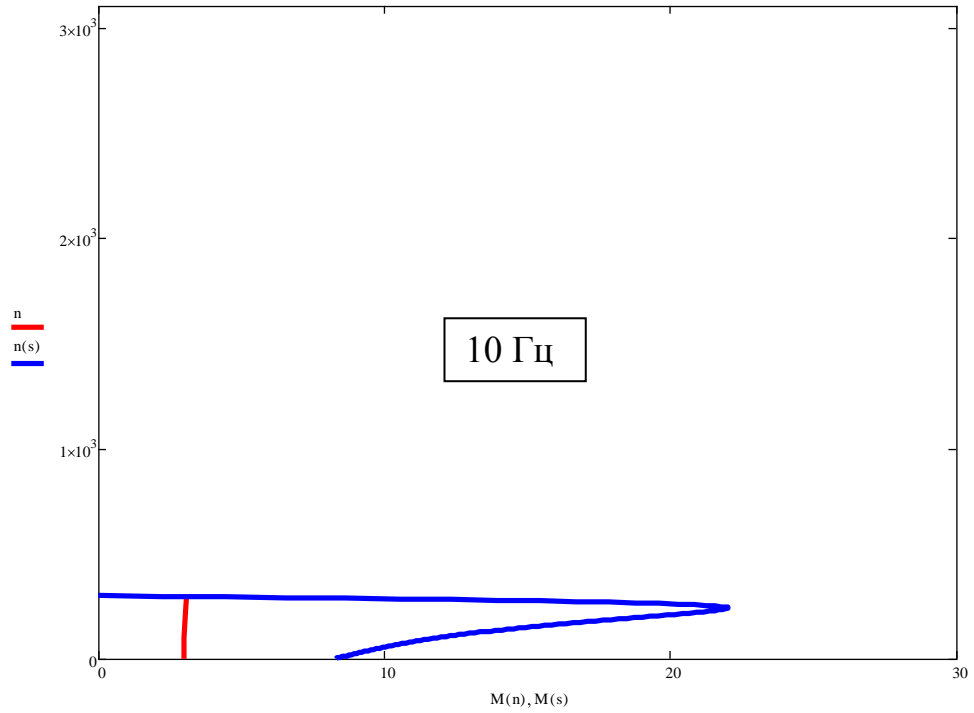


Рис.3.6-Графіки механічних характеристики при різних частотах.

## Розділ 4. Вибір перетворювача частоти.

### 4.1. Обґрунтування вибору перетворювача

Всі статичні перетворювачі частоти (ПЧ) можуть бути розділені на дві групи:

- 1) ПЧ без ланки постійного струму з безпосереднім зв'язком живить мережі і навантаження (безпосередній ПЧ);
- 2) ПЧ з проміжною ланкою постійного струму (дволанкові ПЧ).

Частотне управління є економічним, оскільки регулювання швидкості асинхронного двигуна в цій системі не супроводиться виділенням великих втрат ковзання в роторному ланцюзі, погіршуючих ККД електроприводу і що приводять до необхідності завищення потужності асинхронного двигуна .

Регулювання в цій системі може здійснюватися плавно, в широкому діапазоні, в обидві сторони від природної характеристики, тобто асинхронний двигун може мати швидкість як більше, так і менше номінальною. При цьому регульовальні характеристики мають високу жорсткість, а асинхронний двигун зберігає велику перевантажувальну здатність.

Во багатьох випадках хороші показники регулювання можуть бути досягнуті в розімкненій системі. При підвищених вимогах до електроприводу необхідне використання тих або інших зворотних зв'язків, т. е. застосування замкнутої системи регулювання. Отримуваний діапазон

	Введіть текст]								Л
	Л	№ докум	Полі	Л					
КРМ.ЕМ та М.663-03.06.11.23.1.1.11									

регулювання швидкості в розімкнених системах складає 5–10, а в замкнених його значення може досягати 1000 і більш.

Через відмічені високі показники частотний спосіб управління знаходить в даний час все більш широке застосування. Більш того, можна назвати випадки, де використання частотно-кероване асинхронне електроприводу є єдино можливим, наприклад привід високошвидкісних електрошпінделей, електроверетен, вентиляторів високошвидкісних аеродинамічних труб, різних випробувальних стендів і так далі

#### 4.2. Вибір перетворювача частоти.

Перетворювач частоти (ПЧ) застосовується для плавного регулювання швидкості асинхронного електродвигуна, завдяки **створенню** на виході ПЧ напруга заданої частоти. Перетворювач частоти складається з випрямляча, що перетворює змінний струм в постійний, і інвертора, що перетворює постійний струм в змінний струм, необхідної частоти і амплітуди [1].

Відповідно до умови:

$$I_{\text{и макс}} \geq I_{\text{двн}} = 6,113 \text{ А}$$

де  $I_{\text{и макс}}$  - максимальний струм інвертора;

$I_{\text{двн}}$  - номінальний струм двигуна.

Вибираємо перетворювач частоти моделі Веспер ЕЗ-8100-005 [6]. Компанія "Веспер" одна з небагатьох російських компаній - виробників силової перетворювальної техніки, яка успішно працює на ринку з 1992 року.

Дана модель відрізняється високою продуктивністю, при невеликих габаритах і низькій ціні. Параметри ПЧ приведені нище.

	Введіть текст]					Л
	Л	№ докум	Полп	Л		
КРМ.ЕМ та М.663-03.06.11.23.1.1.11						

## Технічні дані перетворювача частоти серії E3-8100:

### Вихідні характеристики:

- повна потужність: 5 кВА;
- номінальний вихідний струм: 8 А;
- максимальна вихідна напруга: 3-фазне 380В;
- максимальна вихідна частота: 400 Гц.

### Джерела живлення:

- номінальні вхідна напруга: 3-фазне 380~460В;
- номінальна частота: 50/60 Гц;
- допустиме відхилення напруги: -15% ... +10%;
- допустиме відхилення частоти:  $\pm 5\%$ . Захисні функції:
  - електронний тепловий захист двигуна від перевантаження;
  - температурний контроль радіатора;
  - захист ПЧ від короткого замикання на клеммах двигуна;
  - захист від втрати фази відключенням перетворювача;
    - постійний контроль напруги проміжного ланцюга постійного струму;
  - захист від несправності заземлення на клеммах двигуна. Параметри зовнішнього середовища на висоті до 1000 м над рівнем моря:
    - вологість: не більше 90%;
    - температура повітря: відкрита установка -10 °С ...+ 45 °С;
    - температура зберігання: від -20 °С до +60 °С; Ступінь захисту корпусу перетворювача IP 20.

Зовнішній вигляд перетворювача частоти представлений на рис.4.1..



Рис.4.1-Зовнішній вигляд перетворювача частоти

Введіть текст]

Л

КРМ.ЕМ та М.663-03.06.11.23.1.1.11

Л

№ докум

Полп

Л



### Розділ 5. Дослідження системи електрориводу на електронній моделі.

Дослідження системи електроприводу здійснювалася на електронній моделі, приведеній на рис. 8.1

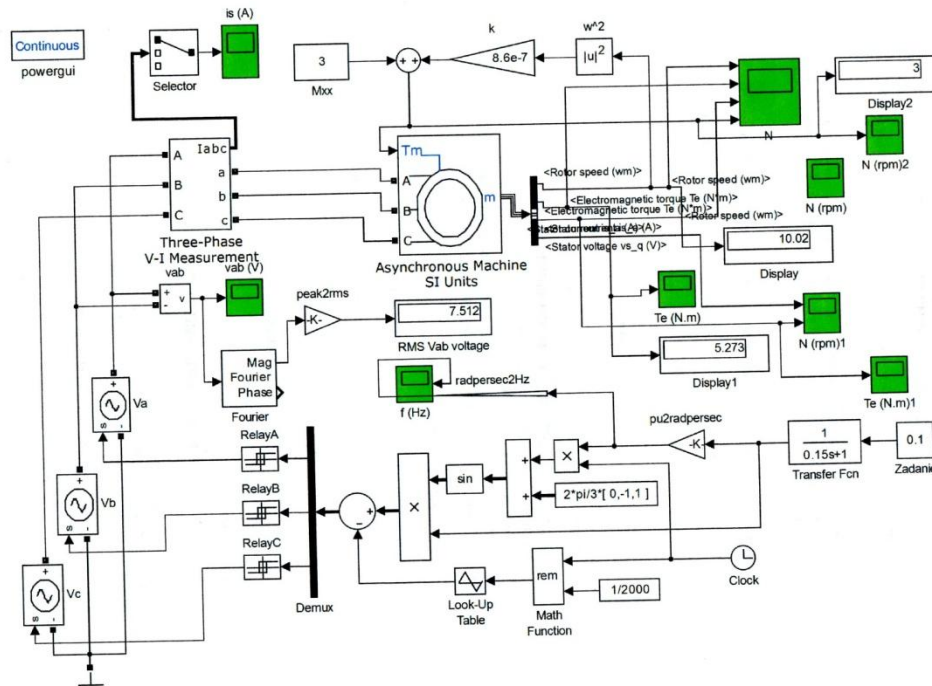
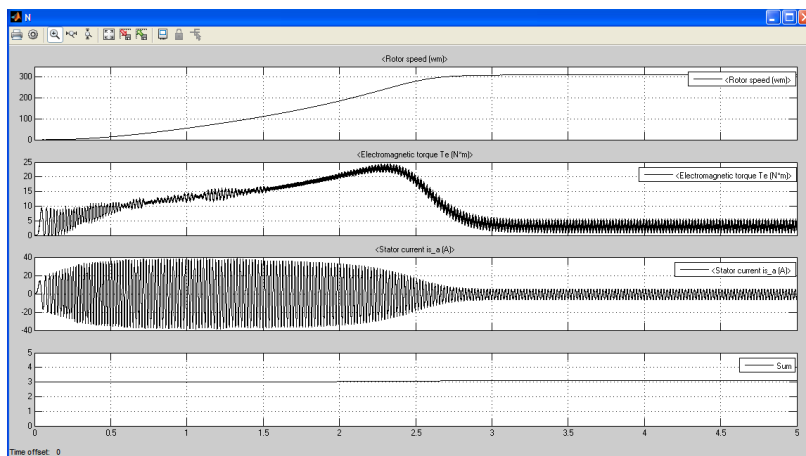


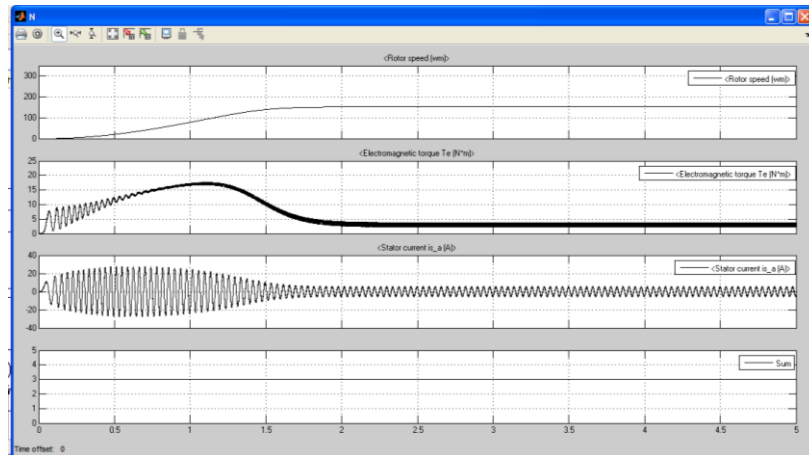
Рис. 5.1- Електронна модель електроприводу

Нижче наведені результати дослідження електроприводу при різних частотах: 50 Гц; 25 Гц; 10 Гц і 5 Гц (Рис. 5.2).

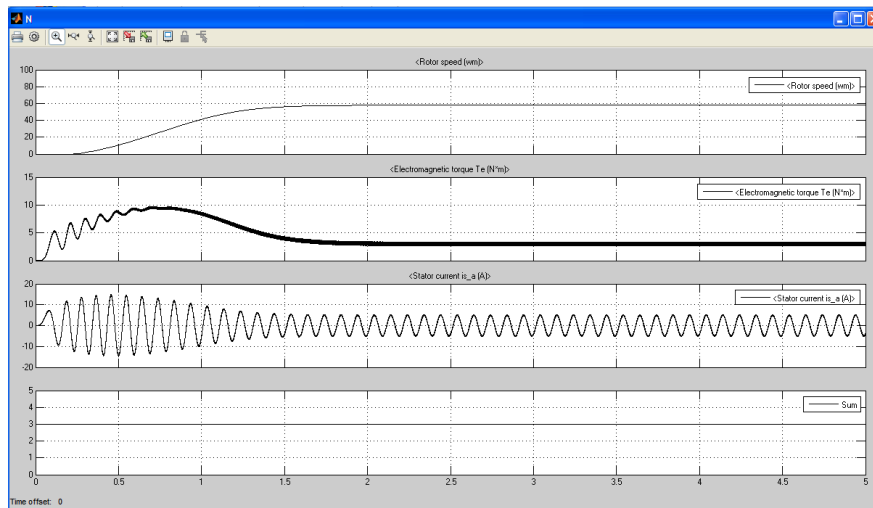
50 Гц



25 Гц



10 Гц



5 Гц

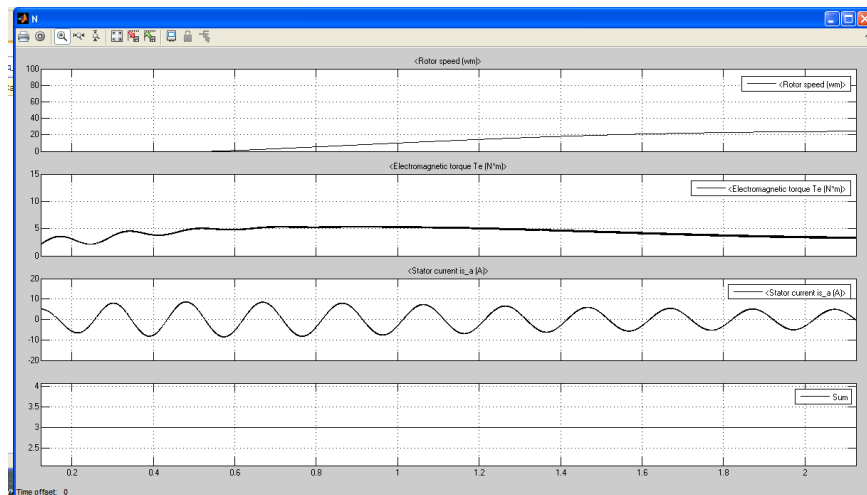


Рис. 5.2- Осциллограммы розгону электроприводу при різних частотах





## Розділ 6 .Економічна частина

Модернізація електроприводу вентилятора процесу сушки цукру виконується за рахунок заміни базової системи управління на систему на основі перетворювача частоти. В порівнянні з базовою системою управління нова система має такі переваги:

- а) покращення показників економії електроенергії;
- б) зменшення похибки управління;
- в) підвищенням ефективності та надійності системи.

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

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

$$Z = C + E_n \cdot K \quad (6.1)$$

де  $E_n = 0,08 \div 0,15$  (для нової техніки  $E_n = 0,15$ ).

Повні економічні витрати:

$$Z_e = Z_{en} + Z_{br} + Z_{ab} + Z_{mb} \quad (6.2)$$

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

Термін окупності:

$$T_{ок} = \frac{K_n - K_b}{Z_b - Z_n} \quad (6.3)$$

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

									Л
	Л	№ докум	Попи	Д					
КРМ.ЕМ та М.663-03.06.11.23.1.1.11									



## 6.2. Розрахунок фонду заробітної платні

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

$$TC4 = 1,27 \cdot TC1 = 1,27 \cdot 6,8 = 8,6 \text{ грн / год} \quad (6.4)$$

Розраховуємо заробітну плату по існуючому тарифу:

$$Z_m = TC4 \cdot m = 8,6 \cdot 24 \cdot 2 \cdot 8 = 3302,4 \text{ грн.} \quad (6.5)$$

де  $TC4$  – це тарифна ставка робітника IV розряду;  $m$  – кількість робочих днів в місяці.

Оплата праці за професійну та майстерну діяльність:

$$P_{nm} = \frac{Z_m \cdot H_{nm}}{100} = \frac{3302,4 \cdot 10}{100} = 330,24 \text{ грн.} \quad (6.6)$$

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

Оплата праці за шкідливі умови праці:

$$P_{nm} = \frac{Z_m \cdot H_{nm}}{100} = \frac{3302,4 \cdot 10}{100} = 330,24 \text{ грн.}$$

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

$$P_{yn} = \frac{Z_m \cdot H_{yn}}{100} = \frac{3302,4 \cdot 17}{100} = 561,41 \text{ грн.} \quad (6.7)$$

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

Всього постійна заробітна плата складає:

					КРМ.ЕМ та М.663-03.06.11.23.1.1.11	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$Z_{\text{пост}} = Z_m + \Pi_{\text{нм}} + \Pi_{\text{ун}} = 3302,4 + 330,24 + 561,41 = 4191,05 \text{ грн.} \quad (6.8)$$

Оплата премій  $K = 15 - 20\%$ .

$$\Pi_{\text{пр}} = \frac{Z_m \cdot K}{100} = \frac{3302,4 \cdot 17}{100} = 561,41 \text{ грн.} \quad (6.9)$$

Всього основна заробітна плата:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{пост}} + \Pi_{\text{пр}} = 4191,05 + 561,41 = 4752,46 \text{ грн.} \quad (6.10)$$

Розрахуємо додаткову заробітну плату:

$$Z_{\text{дод}} = Z_m \cdot 0,1 = 3302,4 \cdot 0,1 = 330,2 \text{ грн.} \quad (6.11)$$

Знайдемо відрахування на єдиний соціальний внесок, що складають 22% від суми додаткової та основної заробітної плати.

$$Z_{\text{ев}} = 0,22 \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{дод}}) = 0,22 \cdot (4752,46 + 330,2) = 1118,19 \text{ грн.} \quad (6.12)$$

Загальний фонд оплати праці складає:

$$\Phi = (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{дод}} + Z_{\text{ев}}) \cdot 2 \cdot 12 = (4752,46 + 330,2 + 1118,19) \cdot 2 \cdot 12 = 148820,4 \text{ грн.} \quad (6.13)$$

### 8.3. Розрахунок експлуатаційних витрат для базового і нового варіантів

Розмір капіталовкладень для базового і нового варіантів:

$$K_{\text{б}} = 24107 \text{ грн,}$$

$$K_{\text{н}} = 46278 \text{ грн.}$$

Витрати на електроенергію при встановленні перетворювача частоти зменшується на 30%:

$$Z_{\text{енб}} = P \cdot \Phi \cdot m_o \cdot K, \quad (6.14)$$

де  $P$  – потужність двигунів;  $\Phi$  – кількість робочих годин в день;  $m_o$  – кількість робочих днів у році;  $K$  – вартість електроенергії.

Для привода насосу живильної води:

$$Z_{\text{енб}} = 6,25 \cdot 24 \cdot 200 \cdot 0,7797 = 23391 \text{ грн.}$$

$$Z_{енн} = Z_{енб} - 0,3 \cdot Z = 23391 - 0,3 \cdot 23391 = 16373,7 \text{ грн.} \quad (6.15)$$

Для базової:

$$Z_{енб} = 23391 \text{ грн.}$$

Для нової:

$$Z_{енн} = 16373,7 \text{ грн.}$$

Витрати на поточний ремонт обладнання. При використанні частотного перетворювача можлива безперервна робота електродвигуна, 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 10%, а при новому 3%.

$$Z_{бр} = 0,1 \cdot K_{\phi} = 0,1 \cdot 24107 = 2410,7 \text{ грн.} \quad (6.16)$$

$$Z_{нр} = 0,03 \cdot K_n = 0,03 \cdot 46278 = 1388,3 \text{ грн.} \quad (6.17)$$

Витрати на амортизаційні відрахування:

$$Z_a = \sum N_{ai} \cdot K_i, \quad (6.18)$$

де  $N_a$  - норма амортизаційних відрахувань.

$$Z_{аб} = 0,5 \cdot 24107 = 12053,5 \text{ грн.}$$

$$Z_{ан} = 0,5 \cdot 46278 = 23139 \text{ грн.}$$

Витрати на допоміжні матеріали для ремонту та обслуговування при базовому варіанті складають 20%, а при новому 5% від фонду оплати праці:

$$Z_m = 0,2 \cdot \Phi \quad (6.19)$$

$$Z_{мб} = 0,2 \cdot 148820,4 = 29764,08 \text{ грн.}$$

$$Z_{мн} = 0,05 \cdot 148820,4 = 7441,02 \text{ грн.}$$

Повні експлуатаційні витрати:

$$Z_e = Z_{ен} + Z_{бр} + Z_{аб} + Z_{мб} \quad (6.20)$$





$E_o$	0,015	
Витрати на обслуговування і ремонт $C_o = E_o \cdot K$ , грн.	361,6	694,17
Вартість електроенергії $m_o$ , грн/кВт год	2,0218	
Коефіцієнт завантаження $k_z$	0,7	
Річний час роботи $T_p$ , год	4800	
ККД $\eta_d$	0,86	0,86
Втрати потужності $\Delta P = k_z \cdot P_H \cdot (1 - \eta_d) / \eta_d$ , кВт	0,80	0,80
Кількість втраченої електроенергії за рік $\Delta W = \Delta P \cdot T_p$ , кВт	3868	3868
Витрати на електроенергію $C_{\Delta W} = m_o \cdot \Delta W$ , грн	7820	7820
Собівартість $C = C_a + C_o + C_{\Delta W}$ , грн.	9387	10828
Нормативний коефіцієнт економічної ефективності $E_H$	0,2	
Зведені витрати $Z = E_H \cdot K + C$ , грн.	14208	20083
Термін окупності $T = K/Z$ , р.	1,7	2,3

					КРМ.ЕМ та М.663-03.06.11.23.1.1.11	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

:

### Список література

1. Бурдо, О. Г. Эволюция сушильных установок [Текст] : монография / Бурдо Олег Григорьевич. - Одесса : Полиграф, 2010. - 368 с.

2. Заборсин, А.Ф. Сушка и охлаждение сахара-песка в псевдооживленном слое / А.Ф. Заборсин, А.А. Дми- трюк. – М. : Пищевая промышленность, 1979.

3. Хафеман, Х. Сушка и охлаждение сахара с учётом специфических требований и условий окружающей среды / Х. Хафеман, Х. Грибель // Сахар и свёкла. – 2013. – № 1. – С. 20–25.

4. Хафеман, Х. Сушка и охлаждение сахара с учётом специфических требований и условий окружающей среды / Х. Хафеман, Х. Грибель // Сахар и свёкла. – 2013. – № 1. – С. 20–25.

5. Meadows, D.M. (1997): Sugar drying, conditioning & storage – an overview. Pak. Sugar Journal, Oct.–Dec. Адрес авторов: H. Hafemann, H. Griebel, BMA Braunschweigische Maschinenbauanstalt AG, P.O. Box 3325, 38022 Braunschweig, Germany ; e-Mail: [sales@bma-de.com](mailto:sales@bma-de.com).

6. Атаназевич В.И. Сушка пищевых продуктов. –М.; 2000 -198с.

7. Филоненко Г.К., Гришин М.А., Гольденберг Я.М. и др. Сушка пищевых растительных материалов. –М: Пищевая промышленность, 1971. -440с.

8. 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.

9. Півняк Г. Г. Електричні машини: навч. посіб. / Г. Г. Півняк та ін. – Д.: НГУ, 2003. – 328 с. – ISBN 966-8271-36-Х.

10. Асинхронные двигатели серии 4А: Справочник /А.Э. Кравчик, М.М. Шлаф, В.И. Афонин, Е.А. Соболенская. - М.: Энергоиздат, 1982. – 324 с.

11. Моделювання електромеханічних систем: Підручник / Чорний О.П., Луговой А.В., Родькін Д.Й., Сисюк Г.Ю., Садовий О.В.– Кременчук, 2001. – 410 с.

12. Моделювання електромеханічних систем. Математичне моделювання систем асинхронного електроприводу: навчальний посібник / О. І. Толочко. – Київ: НТУУ «КПІ», 2016. – 150 с.

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.663-03.06.11.23.1.1.11	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		





.













