

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

(повне найменування вищого навчального закладу)

Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та робототехніки.

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

## Пояснювальна записка

до магістерської роботи

\_\_\_\_\_ магістр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему «Дослідження та удосконалення електропривода системи  
кондиціонування повітря»

Виконав: студент 6 курсу, групи 601-МЕ  
спеціальності 141 «Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка»

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

\_\_\_\_\_ Гавриш В.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник \_\_\_\_\_ Бороздин М.К.

(прізвище та ініціали)

Рецензент \_\_\_\_\_

(прізвище та ініціали)

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»  
Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та робототехніки.  
Кафедра Автоматики, електроніки та телекомунікацій  
Освітньо-кваліфікаційний рівень Магістр  
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

## ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри автоматичної,  
електроніки та телекомунікацій

\_\_\_\_\_ О.В. Шефер  
“ ” 2021 р.

## ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ Гавришу Валентину

1. Дослідження та удосконалення електропривода системи кондиціонування повітря. керівник роботи Бороздин Микола Кирилович, к.т.н., доцент затверджена наказом вищого навчального закладу від “\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2021 року № \_\_\_
2. Строк подання студентом проекту (роботи) 15.12.2021 р.
3. Вихідні дані до проекту (роботи) технологічна документація на систему кондиціонування повітря. Асинхронний двигун с фазним ротором, реостатний спосіб пуску, потужність 4 кВт, напруга 380В. ККД 0,85, перевантажельная здатність 2,7. Апаратура управління. Контролер Рхс36, Частотний перетворювач YLT6006, потужність 4кВт. Економія електроенергії за рахунок автоматизації регулювання продуктивності вентиляторів ..
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Опис роботи системи кондиціонування. Аналіз недоліків електроприводу і постановка задачі на проектування. Розрахунок навантажень та вибір електродвигуна. Розробка структурної та принципової схеми керування електроприводом. Розроблення функціональної та принципової схеми ЕП. Розроблення структурної схеми САК ЕП. Визначення передавальної функції. Визначення якісних параметрів системи.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових плакатів):
  - 1) загальний вид системи кондиціонування повітря ;
  - 2) структурна схема ЕП ;
  - 3) принципова схема ЕП ;
  - 4) функціональна схема ЕП ;
  - 5) принципова схема керування ЕП ;
  - 6) структурна схема САК ЕП ;
  - 7) дослідження САК ЕПі;
  - 8) частотний перетворювач;
  - 9) економічна ефективність.

## 6 Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, Ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Економіка	Григор'єва Олеся Володимирівна, к.е.н., доцент		

7. Дата видачі завдання 10.10.21 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів магістерської роботи	Термін виконання етапів роботи			Примітка (плакати)
		Термін	Кв.	Відсоток	
1	. Аналіз недоліків електроприводу і постановка задач на магістерську роботу.	10.10.21		05%	Пл. 1
2	Розрахунок навантажень та вибір електродвигуна. Розробка структурної схеми керування електроприводом .	15.10.21	I	20%	Пл. 2
3	Модернізація схеми керування електроприводом .	17.10.21		30%	Пл. 4
4	Розроблення структурної схеми ЕП. Розробка структурної та принципової схеми ЕП системи кондиціонування повітря. Визначення якісних параметрів системи. Перевірка стійкості системи	10.11.21		70 %	Пл. 7
5	Розробка схеми керування електропривода системи кондиціонування повітря. Автоматизація регулювання продуктивності вентиляторів. Розрахунок економічної ефективності Оформлення магістерської роботи.	15.012.21	II	100%	Пл. 9

**Студент**

\_\_\_\_\_ ( підпис )

**Керівник роботи**

\_\_\_\_\_ ( підпис )

**Гавриш В.Р.**

(прізвище та ініціали)

**Бороздін М.К.**

(прізвище та ініціали)

## ЗМІСТ

	стор.
ВСТУП	6
<b>РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА</b>	
1.1 Призначення та опис	8
1.2 Класифікація систем кондиціонування	9
1.3 Переваги та недоліки	11
1.4 Конструкція та принцип роботи основних секцій та окремих агрегатів центрального кондиціонера	12
<b>РОЗДІЛ 2 КОНСТРУКТОРСЬКО-РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА</b>	
2.1 Дослідження цеху як об'єкту керування	24
2.2 Визначення потужності двигуна вентилятора	29
2.3 Розрахунок параметрів та характеристик асинхронного електродвигуна	31
2.3.1 Паспортні дані електродвигуна	31
2.3.2 Розрахунок та побудова електромеханічної характеристики	31
2.3.3 Розрахунок та побудова механічної характеристики	35
2.4 Вибір перетворювача частоти	38
2.5 Вибір вимірювального перетворювача тиску	40
2.6 Вибір перетворювача інтерфейсу	41
2.7 Розрахунок механічних та електромеханічних характеристик електроприводу	43
2.8 Схема роботи автоматизації систем вентиляції та кондиціонування повітря	47
2.9 Організація автоматизації системи кондиціонування	48
2.10 Організація роботи центральної системи кондиціонування повітря	49
2.11 Вибір датчиків та виконавчих механізмів	50
2.12 Вибір контролерів VAV	51
<b>РОЗДІЛ 3 ОПТИМІЗАЦІЯ САК ЕЛЕКТРОПРИВОДУ КОНДИЦІОНЕРА</b>	
3.1 Структурна схема асинхронного двигуна	52

3.2 Імітаційна модель асинхронного двигуна	54
3.2.1 Перевірка системи трифазної та двофазної напруги	55
3.2.2 Перевірка адекватності імітаційної моделі АД	56
3.3 Дослідження САК електроприводу при скалярному керуванні	57
3.3.1 Структурна схема САК ЕП при скалярному керуванні	57
3.3.2 Імітаційна модель САК ЕП при скалярному керуванні	58
3.3.3 Імітаційне моделювання САК ЕП при скалярному керуванні	58
3.4 Дослідження САК електроприводу при скалярному керуванні з компенсацією моменту та ковзання	62
3.4.1 Структурна схема САК ЕП при скалярному керуванні компенсацією моменту та ковзання	62
3.4.2 Імітаційна модель САК ЕП при скалярному керуванні компенсацією моменту та ковзання	62
3.4.3 Імітаційне моделювання САК ЕП при скалярному керуванні з компенсацією моменту та ковзання	64
3.5 Опис системи керування	67
<b>РОЗДІЛ 4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА</b>	
4.1 Техніко-економічне обґрунтування	69
4.2 Визначення витрат на модернізацію електропривода кондиціонера	69
4.3 Розрахунок річного фонду роботи	71
4.4 Розрахунок річної експлуатаційної продуктивності кондиціонера	72
4.5 Розрахунок поточних річних витрат	73
4.6 Розрахунок вартості машино–години роботи кондиціонера	75
4.7. Розрахунок вартості технологічної операції на одиницю продукції	76
4.8 Розрахунок економічного ефекту від проведення модернізації	76
<b>ВИСНОВКИ</b>	78
<b>ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ</b>	80
<b>ДОДАТКИ</b>	

## ВСТУП

Актуальність. Сучасні системи повітряного опалювання, вентиляції і кондиціонування останніми роками набули широкого поширення. Параметри повітря виробничих приміщень істотним чином впливають на самопочуття і працездатність людини. Оснащення приміщень системами кондиціонування збільшує вартість нерухомості, проте цей чинник не може перешкоджати розповсюдженню кліматотехніки.

Особлива роль кліматотехніки відводиться в промисловій сфері. Наприклад, на фармацевтичних та харчових виробництвах, де необхідні приміщення з особливою чистотою, де до якості повітря пред'являються особливі вимоги. VAV (Various Air Volume) або системи з об'ємом повітря, що змінюється, використовуються для регулювання швидкості подачі і параметрів повітря, що подається в приміщення, щоб підтримувати необхідні мікрокліматичні умови в будівлях. Централізовані кліматичні системи є найбільш ефективним методом для будівель з кондиціонуванням повітря.

За допомогою заміни розподілених систем на централізовані вища ефективність досягається за рахунок використання великих вентиляторів та охолоджувачів, які володіють вищим ККД ніж невеликі двигуни та розподілені охолоджувачі повітря. Зменшення витрат відбувається також в результаті зниження вимог до обслуговування.

Установки кондиціонування повітря виготовляються за модульним принципом, з окремих секцій, в які вмонтовані різні компоненти: вентилятори, теплообмінники, фільтри, зволожувачі та осушувачі повітря тощо. Гнучка модульна конструкція дозволяє створити різні конфігурації з компонентів, які можуть задовольнити різним вимогам до системи.

Автоматизація систем вентиляції і кондиціонування є обов'язковою умовою створення комфортного мікроклімату. Постійний розвиток апаратної бази, а також програмного забезпечення з кожним роком виводить цю сферу автоматизації на якісно новий рівень. Постійно зростає вживання регульованих

приводів вентиляторів та насосів для забезпечення вищої енергоефективності та надійності.

Останнім часом широкого розповсюдження набувають системи комплексної автоматизації та диспетчеризації будівель, що об'єднані в єдину мережу системи керування приводами ліфтів, дверей, вікон, установками кондиціонування, водопостачання, пожежогасіння тощо, керовані з одного диспетчерського пункту. В цьому випадку контролери, керівники окремими системами, об'єднані в єдину локальну мережу, що взаємодіють по спеціальному протоколу і можуть управлятися з одного комп'ютера.

Об'єктом дослідження виступають системи кондиціонування робочих приміщень цеху.

Предмет дослідження – модернізація електропривода кондиціонування повітря.

Мета дослідження – розробка системи автоматичного керування кондиціонування.

Для досягнення поставленої мети були поставлені наступні завдання:

- дослідити цех як об'єкт керування;
- визначити потужність двигуна;
- дослідити електропривод у статичному режимі;
- вибрати датчик та виконавчі механізми;
- виконати оптимізацію системи автоматичного керування електропривода кондиціонера;
- дослідити систему автоматичного керування електроприводу при скалярному керуванні з компенсацією моменту та ковзання.

## РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

### 1.1 Призначення та опис

Кондиціонування повітря – це створення та автоматична підтримка (регулювання) у закритих приміщеннях всіх або окремих параметрів (температури, вологості, чистоти, швидкості руху повітря) на певному рівні з метою забезпечення оптимальних метеорологічних умов, найбільш сприятливих для самопочуття людей або ведення технологічного процесу.

Кондиціонування повітря здійснюється комплексом технічних засобів, що називається системою кондиціонування повітря (СКВ). Системи кондиціонування повітря призначені для цілодобового та цілорічного забезпечення необхідних параметрів повітря у виробничих приміщеннях чистого, повітряного середовища із заданими температурними та вологими умовами[2].

До складу СКВ входять технічні засоби забору повітря, підготовки, тобто надання необхідних комплектацій (фільтри, теплообмінники, зволожувачі або осушувачі повітря), переміщення (вентилятори) та його розподілу, а також засоби автоматики, дистанційного керування та контролю. СКВ великих виробничих будівель обслуговуються, як правило, комплексними автоматизованими системами керування.

Автоматизована система кондиціонування підтримує заданий стан повітря в робочих приміщеннях незалежно від коливань параметрів довкілля (атмосферних умов) та внутрішніх умов мікроклімату [3].

Основне обладнання системи кондиціонування для підготовки та переміщення повітря компонується в єдиному корпусі в апарат, званий кондиціонером. В даному випадку всі технічні засоби для кондиціонування повітря скомпоновані в одному блоці або в двох блоках, «СКВ» та «кондиціонер» однозадачні.



## 1.2 Класифікація систем кондиціонування

Сучасні системи кондиціонування можуть бути класифіковані за такими ознаками:

- за основним призначенням (об'єктом застосування): комфортні та технологічні;
- за принципом розташування кондиціонера по відношенню до приміщення, що обслуговується: центральні та місцеві;
- за наявністю власного (що входить до конструкції кондиціонера) джерела тепла та холоду: автономні та неавтономні;
- за принципом дії: прямоточні, рециркуляційні та комбіновані;
- за способом регулювання вихідних параметрів кондиціонованого повітря: з якісним (однотрубним) та кількісним (двотрубним) регулюванням;
- за ступенем забезпечення метеорологічних умов в приміщенні, що обслуговується: першого, другого і третього класу;
- за кількістю обслуговуваних приміщень (локальних зон): однозональні та багатозональні;
- за тиском, що розвивається вентиляторами кондиціонерів: низького, середнього та високого тиску [15].

Крім наведених класифікацій, існують різноманітні системи кондиціонування, що обслуговують спеціальні технологічні процеси, включаючи системи з метеорологічними параметрами, що змінюються в часі (за певною програмою).

Технологічні СКВ призначені для забезпечення параметрів повітря, що максимально відповідають вимогам виробництва.

Технологічне кондиціонування у приміщеннях, де перебувають люди, здійснюється з урахуванням метеорологічних умов стану повітряного середовища. До цього класу належить системи кондиціонування із центральним кондиціонуванням.

Центральні СКВ (рис. 1.1) постачаються ззовні холодом (доставляється холодною водою або холодоагентом), теплом (доставляється гарячою водою, паром або електрикою) та електричною енергією для приводу електродвигунів вентиляторів, насосів тощо [16].



Рисунок 1.1 – Фрагмент центрального кондиціонера

Центральні СКВ розташовані поза приміщеннями, що обслуговуються, і кондиціонують одне велике приміщення, кілька зон такого приміщення або багато окремих приміщень.

Центральні СКВ мають такі переваги:

- можливістю ефективної підтримки заданої температури та відносної вологості повітря у приміщеннях;
- зосередженням обладнання, що потребує систематичного обслуговування та ремонту, як правило, в одному місці (підсобному приміщенні, технічному поверсі тощо);
- можливостями забезпечення ефективного шумо- та віброгасіння, тобто пристроїв глушників шуму та гасників вібрації.

Незважаючи на ряд переваг центральних СКВ великі габарити та проведення складних монтажних-будівельних робіт з встановлення кондиціонерів, прокладання повітроводів та трубопроводів. Звідси системи вентиляції та кондиціонування повітря встановлюють окремо один від одного у робочих приміщеннях.

Класифікація кондиціонування повітря за принципом впливу на прямоточні та рециркуляційні визначається, головним чином, вимогами та умовами технологічного процесу виробництва або техніко-економічними міркуваннями [17].

Прямоточні кондиціонери зазвичай використовуються в тих виробничих приміщеннях, в яких виділяються шкідливі для здоров'я людей речовини (дрібна стружка, пил, пари, токсичні гази, пожежонебезпечні та вибухонебезпечні реагенти), а також у приміщеннях, що містять яскраво виражені неприємні запахи. Найбільш популярна модель прямоточних ЦК – це прямоточні ЦК зі змінною витратою повітря (системи VAV – Variable Air Volume). Система VAV може підтримувати температуру в приміщенні, змінюючи кількість холодного або теплого повітря, що надходить усередину. Для цього в кожному приміщенні цеху встановлюються датчики температури. Вони регулюють положення вентиляційних заслін, обмежуючи вхід та вихід повітря.

Подача свіжого повітря та видалення витяжного повітря при цьому виконується, як правило, центральними системами припливно-витяжної вентиляції [18].

### 1.3 Переваги та недоліки

Центральні СКВ з якісним регулюванням метеорологічних параметрів є широкий ряд найбільш поширених одно-канальних систем, в яких все оброблене повітря при заданих параметрах (повітряного потоку і температури повітря) виходить з кондиціонера по одному каналу і надходить далі в одне або кілька приміщень. Система VAV є оптимальним кондиціонуванням великих виробничих приміщень.

Недоліком таких систем є підвищені витрати на теплову ізоляцію паралельних повітроводів, що підводяться до кожного приміщення, що

обслуговується, а також необхідність високих потужностей у охолоджуючої та нагрівальної секцій [23].

За тиском, створюваним вентиляторами центральних кондиціонерів, СКВ поділяються на системи низького тиску (до  $100 \text{ кг/м}^2$ ), середнього тиску (від  $100$  до  $300 \text{ кг/м}^2$ ) та високого тиску (вище  $300 \text{ кг/м}^2$ ).

#### 1.4 Конструкція та принцип роботи основних секцій та окремих агрегатів центрального кондиціонера

Секція охолодження. Секція охолодження є водяним або фреоновим теплообмінником-повітроохолоджувачем, виготовленим з мідних трубок (від 4 до 8 рядів) з алюмінієвими ребрами. Як холодоагент (робоче середовище) може бути: охолоджена вода, суміш води та гліколю, фреон (наприклад, R-22). Холодоагент, залежно від типу робочого середовища, може надходити від чилера, градирні, артезіанської свердловини тощо. Колектори виконані із сталеві оцинкованої (або з антикорозійним покриттям) труби.

Вхідні та вихідні патрубки колектора мають зовнішнє різьблення. Стандартно колектори оснащуються додатковими патрубками для спуску холодоагенту та відведення повітря.

Розподільний та зворотний колектор фреонових теплообмінників виготовляють із мідних трубок [2].

Патрубки колекторів виведені назовні секції. Повітроохолоджувач має кожух із оцинкованої сталі. Кожух може бути обладнаний спеціальними транспортними утримувачами, що полегшують демонтаж та транспортування.

Оброблення трубок повітроохолоджувача проводиться, як правило, пластинчастими ребрами, що забезпечує високу тепловіддачу при низькому аеродинамічному опорі теплообмінника. Кількість рядів трубок та відстань між ребрами, залежно від типорозміру секції, може бути різною [3].

Стандартно в секцію охолодження встановлюється піддон для конденсатної води, зроблений з нержавіючої листової сталі та оснащений зливним патрубком, до якого приєднується переливний сифон, такзваний водяний затвор (постачається, як правило, разом із секцією охолодження). Водяні охолоджувачі повітря оснащуються проти заморозуючими термостатами. На рисунку 1.2 представлена конструкція водяного трубчастого охолоджувача повітря. Крім холодопродуктивності та витрати холодоагенту, водяні повітроохолоджувачі характеризуються такими параметрами [17]:

- мінімальна температура робочого середовища (вода)  $+3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- максимальний робочий тиск робочого середовища 1,6 МПа;
- гідравлічний опір 5–30 кПа.

Всі водяні охолоджувачі повітря проходять випробування на заводах-виробниках при навантаженні 2,1 МПа.

Фреонові повітроохолоджувачі характеризуються такими параметрами:

- мінімальна температура кипіння фреону  $+2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- максимальний робочий тиск фреону 2 МПа.

Фреонові охолоджувачі повітря випробовуються на міцність з навантаженням 2,9 МПа.

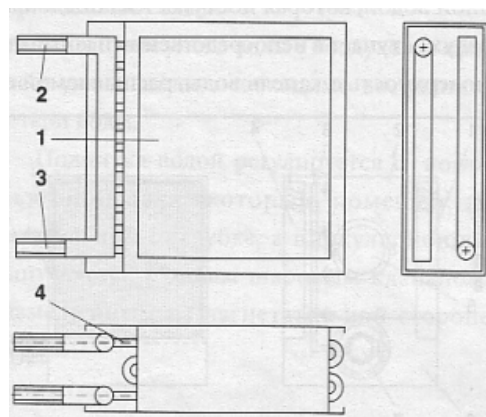


Рисунок 1.2– Конструкція водяного трубчастого повітроохолоджувача

1 – кожух з оцинкованої сталі; 2,3 – вхідний та вихідний патрубки колектора з різьбленням; 4 – мідні трубки з алюмінієвим пластинчастим оребренням

За секцією охолодження в центральному кондиціонері встановлюються, як правило, при швидкостях оброблюваного повітря вище 2,5 м/с ефективні сепаратори (краплеуловлювачі).

На рисунку 1.3. представлена одна з можливих конструкцій краплеуловлювача, зібраного із спеціально спрофільованих пластмасових пластин, які вертикально розміщені у кожусі із нержавіючої сталі.

Швидкість повітря повинна бути в діапазоні від 2,5 до 5,0 м/с. Втрати тиску при цьому становитимуть до 16 Па.

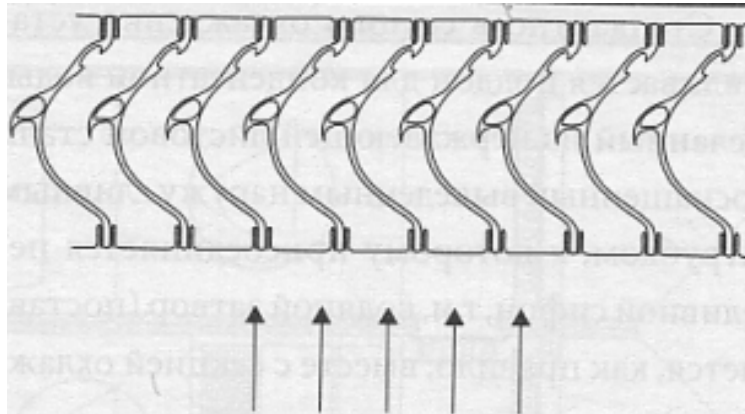


Рисунок 1.3– Профіль краплеуловлювача

Секція нагріву. У секції нагрівання повітря можуть використовуватись водяні, парові або електричні нагрівачі.

Конструктивно повітрянагрівачі виконані, як охолоджувачі повітря, з мідних трубок з алюмінієвим оребренням. Колектори та патрубки діаметром до 25 мм виконані з мідних трубок, а діаметром понад 32 мм – із сталевих трубок з антикорозійним покриттям [23].

Стандартно колектори оснащуються додатковими патрубками з різьбленням, призначеними для спуску води та відведення повітря. Патрубки колекторів виведені назовні. Кінці патрубків подавального та зворотного колектора також мають різьблення.

Кожух теплообмінників має спеціальні транспортні утримувачі, що полегшують демонтаж та транспортування. Оброблення трубок повітрянагрівача вироблено пластинчастими ребрами з кроком від 1,6 до 4,0

мм. Як зазначалося вище, як теплоносії можуть бути використані вода або водяна пара. Водяні повітрянагрівачі випробовуються на міцність з навантаженням 2,1 МПа, парові – з навантаженням 1,5 МПа.

При використанні води:

- максимальна температура води 150 °С;
- максимальний робочий тиск води 1,6 МПа;
- гідравлічний опір 5–25 кПа.

При використанні пари:

- максимальна температура пари 185°С;
- максимальний робочий тиск пари 1,0 МПа.

Електричні нагрівачі виконані у формі прямокутного паралелепіпеда з укріпленими в корпусі елементами, що гріють у вигляді спіралі або оребрених ТЕНів. Електричні нагрівачі підключаються до електромережі: 3/380 В/50 Гц.

Така конструкція дозволяє легко демонтувати нагрівач із секції для огляду та ремонту (попередньо потрібно зняти панель). Елементи нагрівача укріплені вертикально, а контакти виведені до клемової панелі на бічній стінці корпусу нагрівача. Кожен елемент окремо виведений до клемової панелі, проте для ступінчастого регулювання їх з'єднують блоками три штуки. Нагрівач має термостат безпеки, що обмежує надмірне зростання температури всередині системи, а також відключення нагрівачів у разі припинення подачі повітря [2].

Секція зволоження. Зволоження повітря в центральному кондиціонері здійснюється в секції зрошувального зволоження водою (форсуночної камери) або секції парового зволоження.

Камера зрошення (рис.1.4.) складається з корпусу, в який встановлені трубні гребінки, піддон та насос.

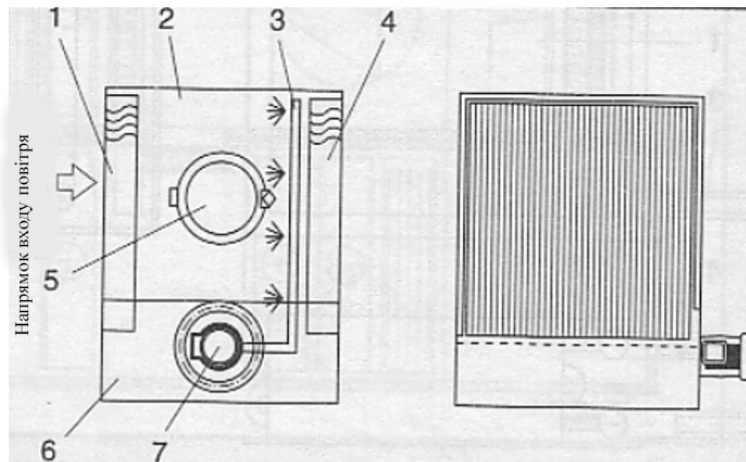


Рисунок 1.4– Конструкція секції форсунокового зволоження

1 – перший сепаратор –краплеуловлювач; 2 – кожух секції; 3 – трубні гребінки з форсунками; 4 – другий сепаратор –краплеуловлювач; 5 – вікно;  
6 – піддон; 7– водний циркуляційний насос

У форсуночній камері відбувається адіабатичне зволоження повітря циркуляційною водою, яка надходить з піддону. Повітря входить у безпосередній контакт із поверхнею крапель води, що розпорошується за допомогою форсунок. Розпорошуючись, вода перетворюється на густий туман дрібних крапель, крізь який рухається повітря, поглинаючи водяні пари [3].

Продуктивність форсунок залежить від діаметра вихідного отвору, тиску та температури води перед форсункою. Установка форсунок у поперечному перерізі форсунової камери виконується на трубних гребінках, до яких циркуляційним насосом подається вода з піддону. Розпорошувальні форсунки виконані так, щоб знизити забруднення відкладеннями.

Піддон виконує функції резервуара запасної ємності води, що забезпечує плавну роботу насоса. Піддон оснащений водозливом із поплавковим клапаном для спуску оборотної води, а також водняним введенням для поповнення випареної води.

Циркуляційний насос розміщений біля піддону на кронштейні. На всмоктувальному патрубку насоса розташований сітчастий фільтр.



Конструкцію форсункової камери доповнюють два сепаратори – краплеуловлювача, що запобігають винесення крапель води до наступних секцій центрального кондиціонера.

Один працює на виході із секції як сепаратор, інший є напрямним для вирівнювання потоку повітря на вході. Ці сепаратори є високоефективними елементами обладнання. Сепаратори виготовлені з пластмасових профілів та мають несучу конструкцію з нержавіючої сталі.

Внаслідок віднесення води з повітрям у процесі зволоження необхідно заповнювати втрати води [15].

Підживлення водою регулюється за допомогою поплавця, який розміщений на живильному патрубку, а циркуляційна випускається ручним кульовим клапаном, розміщеним на стороні нагнітального насоса.

Кожух секції зволоження виготовляється з нержавіючого листа, що повністю виключає корозію, має вікно для контролю та освітлення внутрішнього об'єму.

Ефективність зволоження у секції такого типу становить близько 90%.

До складу секції парового зволоження входять:

- кожух секції;
- сепаратор пари;
- термодинамічний конденсатовідвідник;
- фільтр;
- інжекційне сопло;
- серводвигун у стандартному виконанні, напругою живлення 220 В та сигналом керування 0-10 В.

Принцип роботи парового зволожувача простий і представлений на рисунку 1.5.

Тип парогенератора підбирається залежно від необхідної витрати пари.

У конструкцію секції входить також розподільна парова труба з нержавіючої сталі з інжекційними соплами, фільтр пари, термодинамічний

відводник конденсату, а також електронні пристрої регулювання рівня води та автоматичного продування.

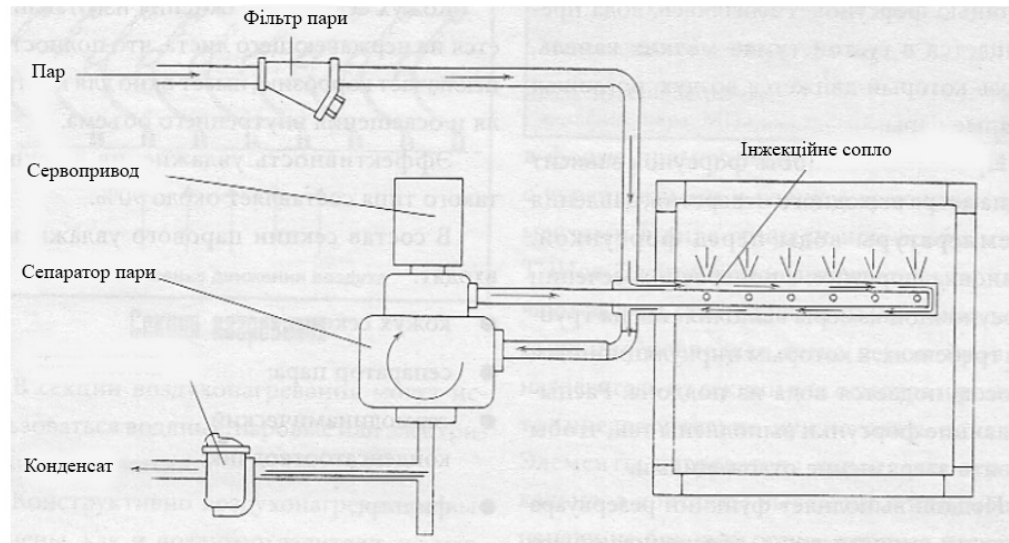


Рисунок 1.5– Схема циркуляції пари в паровому зволожувачі

Зволоження повітря сухою перегрітою парою має безліч переваг:

- швидке змішування водяної пари з повітрям і легко регульована кількість пари, що впорскується, дозволяє дуже точно регулювати вологість повітря;

- суха перегріта пара не містить мінеральних частинок та бактерій;

- мінімальні експлуатаційні витрати;

- консервацію парового зволожувача зведено до мінімуму [16].

Секція фільтрації.

При необхідності забезпечення фільтрації підвищеної якості компонування центрального кондиціонера можуть бути включені дві секції: первинної і вторинної фільтрації.

Фільтри розміщуються в тих пашах кондиціонера, через які проходить все оброблене повітря, і так, щоб захистити від пилу можливо більше секцій кондиціонера.

У секцію первинного фільтрування можуть бути вмонтовані сітчасті фільтри класу EU1 або кошикові фільтри класу EU3. Сітчасті фільтри – це тканинні фільтри з розгорнутою поверхнею, покладеною в «зігзаг». Тканина

армована алюмінієвою сіткою та змонтована у кожусі, виконаному з оцинкованих сталевих листів.

Фільтр закріплений в установці за допомогою напрямних, які дозволяють легко демонтувати [17].

Кошиковий фільтр збирається з декількох фільтруючих елементів зі стандартними розмірами. Кількість та розміри фільтруючих елементів, що застосовуються в установці, залежать від моделі.

Фільтруючі елементи корзинчастих фільтрів закріплені в рамках за допомогою пружинних прихватів, що забезпечують герметичність, а також легку та швидку зміну. Тканина, що фільтрує, виконана з супертонких синтетичних волокон, не гігроскопічних, кислотостійких і стійких до більшості органічних розчинників. Усі фільтри можуть працювати за температури до 60 °С.

Середнє значення ефективності фільтрації, що означає процентну частку затриманого пилу, для фільтрів класу EU1 становить до 60%, для класу EU3 – до 80–90%.

У секції вторинного фільтрування використані кошикові фільтри класу EU5-EU9.

Розміри та кількість елементів, що фільтрують, також залежать від моделі установки. Тип фільтруючої тканини, а також елементи кріплення аналогічні секції первинного фільтрування.

Ці фільтри можуть працювати при температурі до 60 °С. Середнє значення ступеня очищення визначено методом дослідження повітряних фільтрів із застосуванням кварцового пилу [18].

Середнє значення ефективності фільтрації становить:

Для фільтрів класу EU5 – від 40 до 60%;

Для фільтрів класу EU7 – від 80 до 90%;

Для фільтрів класу EU9 – понад 90%.

Для поточного контролю забруднення фільтрів рекомендується застосування дифманометрів. Дифманометр при певному кінцевому перепаді

тиску, що допускається, сигналізує (електричний сигнал) про необхідність зміни фільтра при його забрудненні.

Допустимий кінцевий перепад тиску:

Для сітчастих, фільтрів 120 Па;

Для корзинчастих фільтрів 200–250 Па.

Секція шумоглушення.

Секція шумоглушення призначена для зниження рівня шуму, створюваного центральним кондиціонером (вбудованими вентиляторами, насосами, потоками робочих середовищ тощо)

Усередині секції шумоглушення закріплені звукопоглинаючі пластини, які виготовляються, наприклад, з кількох шарів мінеральної вати спеціально підібраної густини. Зовнішня поверхня мінеральної вати посилена скловолокнистим покриттям. Секції шумоглушення виробляються кількох типорозмірів (від 0,5 до 2,0 м) з різними кількостями звукопоглинаючих пластин. Якщо за умовами технологічного компонування безпосередньо перед секцією шумоглушення необхідно встановити вентиляторну секцію, то потрібно застосовувати спеціальну секцію з розсікачами повітря, що дозволяє вирівняти швидкість та напрямок потоків повітря у поперечному («живому») перерізі секції шумоглушення [23].

Вентиляторна секція.

Вентиляторна секція призначена для забору повітря в центральний кондиціонер та його подачі в приміщення, що обслуговуються (рис. 1.6).

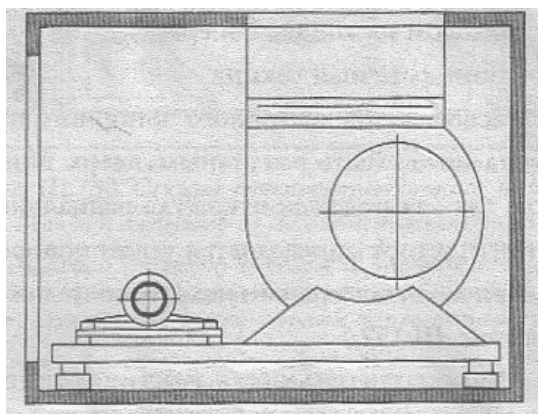


Рисунок 1.6– Вентиляторна секція центрального кондиціонера

У кондиціонерах застосовуються радіальні (відцентрові) вентилятори одностороннього та двостороннього всмоктування низького та середнього тиску.

Залежно від необхідної продуктивності та напору використовуються вентилятори з робочими лопатками, загнутими вперед, або з загнутими назад лопатками, що забезпечує легке регулювання параметрів мережі. Вентилятори характеризуються високим ККД і дозволяють регулювати продуктивність зміною числа обертів [2].

Колесо вентилятора обертається електродвигуном через ремінну передачу. Залежно від потужності використовуються клиноподібні ремені різного типу. Шківні закріплюються на валах двигуна та вентилятора за допомогою затискної втулки, завдяки якій демонтаж здійснюється просто та швидко. Шківні можуть бути одно- або двочасні.

Вентилятор із двигуном та ремінною передачею розміщений на загальній рамі всередині секції, утворюючи вентиляторну групу. Вся група монтується на пружинних або гумових амортизаторах (віброізоляторах), на санках всередині корпусу. Амортизатори демпфують коливання та попереджають передачу шуму. Напірний патрубок вентилятора відокремлений від кожуха еластичною вставкою, яка забезпечує герметичність та запобігає перенесенню вібрації [3].

Вентиляторна секція має два виконання:

- нагнітальний патрубок є виходом із кондиціонера;
- проміжна секція.

Розташування вихідного напірного патрубку може бути різним: вгору, вниз, убік, оскільки положення кожуха радіального вентилятора визначається кутом повороту корпусу щодо вихідного положення (рис. 1.7).

Продуктивність вентиляторної секції відповідає потужності центрального кондиціонера.

Максимальна температура вентилятора 85 °С, максимальна температура роботи стандартного двигуна 40 °С, діапазон робочих

(експлуатаційних) температур від мінус 30 до + 80 °С. Напір вентилятора від 200 до 2500 Па.

Можливе постачання вентиляторної групи у вибухобезпечному виконанні.

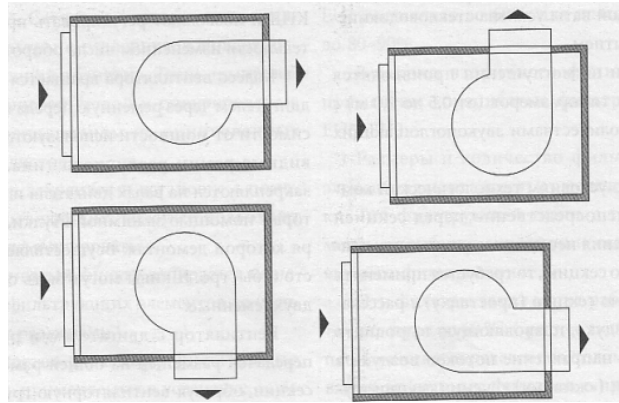


Рисунок 1.7– Різні орієнтації вихідних патрубків вентиляторної секції (вхід та вихід повинні бути у різних площинах)

Теплоутилізатори. При проектуванні вентиляції та кондиціонування для економії тепла та холоду доцільно використовувати теплові вторинні енергетичні ресурси, такі як:

- тепло повітря, яке видаляється системами загальнообмінної вентиляції кондиціонування повітря та місцевих відсмоктувачів, коли рециркуляція повітря неприпустима;
- тепло та холод технологічних установок, придатні для вентиляції та кондиціонування.

Для використання тепла повітря, що видаляється з приміщень, застосовуються теплоутилізатори, які поділяються на три типи:

- перехресноточні (рекуперативні) теплообмінники;
- обертові (регенеративні) теплообмінники;
- система з проміжним теплоносієм, що складається із двох теплообмінників.

Тип теплоутилізатора визначає тип відповідної секції центрального кондиціонера.

Повітряні клапани. Регулювання кількості повітря (зовнішнього та рециркуляційного), що надходить у центральний кондиціонер, здійснюється повітряними клапанами [15].

Існують повітряні клапани двох типів: клапани, призначені для пропуску зовнішнього або рециркуляційного повітря (так звані приймальні клапани), та клапани для регулювання теплопродуктивності повітрянагрівачів шляхом зміни кількості повітря, що проходить через обвідний канал. Регулювання здійснюється за допомогою електроприводу, що встановлюється на клапані. Конструкція клапана, як правило, багатоступенева, з паралельно встановленими лопатками, як показано на рисунку 1.8.

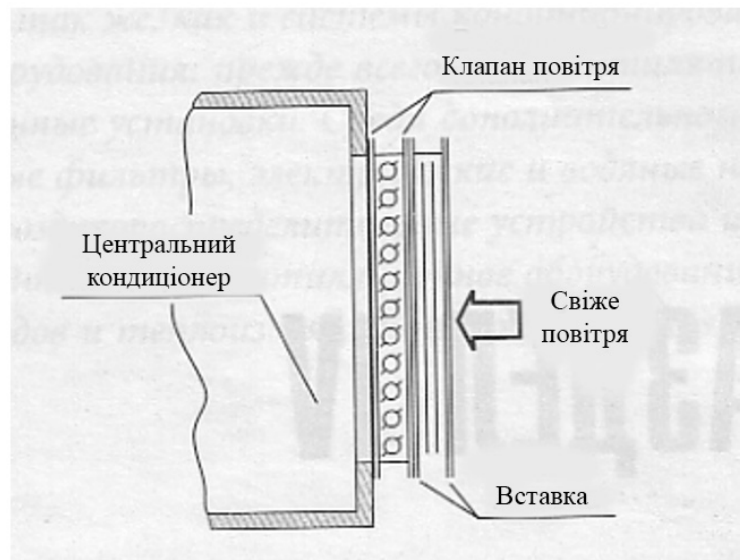


Рисунок 1.8 – Повітряний клапан, встановлений на вході центрального кондиціонера (привід не показаний)

Головним доводом на користь застосування VAV-систем є інтенсивна оптимізація роботи систем кондиціонування, підвищення економічності та ефективності роботи припливних та витяжних установок, що використовуються в будівлі за рахунок особливої програмної узгодженості їх дії, заключним процесом є спрощення та розподіл функціональної роботи з системою вентиляції за допомогою мереж повітря та щитів автоматики.

## РОЗДІЛ 2 КОНСТРУКТОРСЬКО-РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

### 2.1 Дослідження цеху як об'єкту керування

Початкові дані для розрахунку

Цех розташований в будівлі без ліхтарів закритого типу з технічним горищем. Освітлений люмінесцентними світильниками, вбудованими в перекриття. Тип цеху – трикотажний.

Таблиця 2.1– Параметри цеху

Найменування міста	Довжина, L м	Розміри цеху Ширина, B м	Висота, H м	Питомі теплові втрати, q
Київ	48	24	4,8	0,1

Площа цеху  $F_{ц} = 48 \cdot 24 = 1152 \text{ м}^2$ .

Об'єм цеху  $V_{ц} = 1152 \cdot 4.8 = 5529,6 \text{ м}^3$ .

Кількість встановленого устаткування:  $n_{н} = 64$  шт.

Середня потужність одиниці устаткування:  $N_{уст} = 2$  кВт.

Кількість обслуговуючого персоналу однієї зміни:  $n_{п} = 16$ .

Список нормативних документів, використаних при розробці розділу:

- СНіПА 2.04.05-91 «Опалювання, вентиляція і кондиціонування»;
- СНіПА 2.01.01 -82 «Будівельна кліматологія і геофізика».

Розрахункова географічна широта – 51 град, північної широти, тривалість опалювального періоду 187 діб. Середня температура опалювального періоду мінус 1,1 °С.

Складання теплового та вологого балансу для приміщення, що кондиціонує, проводиться загальновідомими методами, прийнятими в опалювально-вентиляційній техніці. Тут повинні бути враховані всі чинники, що впливають на зміну стану повітряного середовища приміщення. Для



складання теплового балансу приміщення необхідно визначити всі надходження і втрати тепла в приміщенні.

Таблиця 2.2– Розрахунок параметрів зовнішнього повітря

Пора року	Параметри повітря		Швидкість вітру, м/с
	Температура	Удільна ентальпія, кДж/кг	
1	2	3	4
холодно	-22	-20,7	4,2
тепло	23,7	53,6	1

У приміщеннях різного призначення діють дві основні категорії теплових навантажень:

- теплові навантаження, приміщення, що виникають зовні (зовнішні);
- теплові навантаження, що виникають усередині будівель (внутрішні).

Зовнішні теплові навантаження представлені наступними складовими:

- тепло надходження та тепловтрати в результаті різниці температур зовні і усередині будівлі через стіни, стелі, підлоги, вікна і двері. Різниця температур зовні будівлі і усередині нього влітку є позитивною, внаслідок чого має місце притока тепла зовні у всередину приміщення; і навпаки – взимку ця різниця є негативною і напрям потоку тепла міняється;
- тепло надходження від сонячного випромінювання через засклені площі. Дане навантаження виявляється у формі тепла, що відчувається; сонячне випромінювання завжди створює позитивне навантаження як літом, так і зимою. Влітку це навантаження повинне бути компенсоване, а взимку воно незначне і інтегрується з теплом, що виробляється установкою штучного клімату;
- зовнішнє вентиляційне повітря проникаюче в приміщення повітря (за рахунок інфільтрації) може мати також різні властивості, які, проте, майже

завжди контрастують з метеорологічними вимогами приміщень: влітку тепле і вологе (у деяких широтах навпаки – сухе) зовнішнє повітря істотно впливає на роботу установки, що охолоджує і осушує повітря; взимку холодне і сухе (або навпаки вологе) зовнішнє повітря повинне бути підігрітим і зволженим. Лише в проміжний період між двома цими часом роки зовнішнє повітря може в якійсь мірі бути використане у формі безкоштовного охолодження приміщень.

Внутрішні теплові навантаження в житлових, офісних або таких, що відносяться до сфери обслуговування приміщеннях складаються в основному з:

- тепла, що виділяється людьми;
- тепла, що виділяється лампами і освітлювальними приладами, електропобутовими приладами;
- тепла, що виділяється працюючими приладами і устаткуванням: комп'ютерами, друкуючими пристроями, машинами, що фотокопіюють тощо.

У виробничих і технологічних приміщеннях різного призначення додатковими джерелами тепловиділень можуть бути:

- нагріте виробниче устаткування;
- гарячі матеріали, зокрема рідини і різного роду напівфабрикати;
- продукти згорання і хімічних реакцій.

Тепловтрати через зовнішні будівельні огорожі будівлі, Вт:

$$Q_{MH} = Q_o \cdot V_{4h} (t_{ex} - t_{zx}); \quad (2.1)$$

де:  $Q_o$  – питома теплова характеристика будівлі, Вт / (м<sup>3</sup> х 3);

$V_{4h}$  – об'єм цеху, м<sup>3</sup>;

$t_{bx} \cdot t_{zx}$  – внутрішня і зовнішня розрахункові температури повітря для холодного розрахункового періоду.

$$Q_{MH} = 0,1 \cdot 5529 \cdot (22 - (-22)) = 24327,6 \text{ Вт}.$$

Теплонадходження від технологічного устаткування, що має електродвигуни, Вт:

$$Q_{МАШ} = 0,14 \cdot N_{вст} \cdot n \cdot n_3 \cdot n_{ор}; \quad (2.2)$$

де:  $N_{вст}$ —встановлена потужність електродвигунів одиниці устаткування, кВт;

$n_{ор}$ — коефіцієнт одночасної роботи;

$n_{сер} = n_3$ —коефіцієнт завантаження;

$n$ —кількість устаткування даної марки.

$$Q_{МАШ} = 0,14 \cdot 2 \cdot 64 \cdot 0,8 \cdot 1 = 14336 \text{ Вт}.$$

Теплонадходження від штучного освітлення, Вт:

$$Q_{осв} = 1000 \cdot N_{осв} \cdot F_n \cdot b; \quad (2.3)$$

де:  $N_{осв}$ —питома електрична потужність на освітленні рівна 0,05 кВт/м<sup>2</sup>;

$F_n$ —площа підлоги цеху, м<sup>2</sup>;

$b$  — коефіцієнт, що враховує фактичне надходження тепла від світильників в приміщенні рівний 0,4.

$$Q_{осв} = 1000 \cdot 0,05 \cdot 1152 \cdot 0,4 = 23040 \text{ Вт}.$$

Тепловиділення від людей, Вт:

$$Q_l = q \cdot m; \quad (2.4)$$

де:  $q$  —повне тепловиділення однією людиною приймається рівним 222 Вт;

$m$  —число людей що одночасно працюють в цеху в одній зміні.

$$Q_l = 222 \cdot 16 = 3552 \text{ Вт}.$$

Теплонадходження через перекриття з технічної стелі розраховується тільки для теплого періоду.

$$Q_{ТГ} = K_{ТГ} (t_4 \cdot t_{BT}) \cdot F_u; \quad (2.5)$$

де:  $K_{ТГ}$ — коефіцієнт теплопередачі перекриття технічного горища приймається рівним 2.5 Вт/(м<sup>2</sup> x C0);

$t_4$ —температура повітря на технічному горищі приймається рівною на 5 градусів вище за розрахункову температуру зовнішнього повітря в теплий період;

$t_{BT}$ — розрахункова температура повітря в цеху в теплий період;

$F_u$ –коефіцієнт враховуючий вільну площу стелі за вирахуванням площі, приймається рівним 0,6.

Таблиця 2.3– Звідна таблиця теплового балансу цеху

№ п.п	Найменування величин, приєднаних в тепловий баланс	Умовні позначення	Величини	Розрахунковий режим	
				Холодний	Теплий
1	Теплоподача через зовнішню огорожу	$Q_{\text{мн}}$	Вт	24327,6	–
2	Теплоподача від обладнання	$Q_{\text{обл}}$	Вт	14336	14336
3	Теплоподача від штуч. освітлення	$Q_{\text{осв}}$	Вт	23040	23040
4	Теплоподача від людей	$Q_{\text{л}}$	Вт	3552	3552
5	Теплоподача через перекриття з тех. дахом	$Q_{\text{т.д.}}$	Вт	–	8121,6
	Загалом: Теплові надлишки в цехові	Холодне $Q_{\text{надл}}$	Вт	16600,4	
		Тепле $Q_{\text{надл}}$	Вт	49049,6	

Згідно нормам у в'язальних цехах повинні підтримуватися певні кліматичні умови: температура повітря для теплого періоду в межах 22–24°С, для холодного 22–23°С, а відносна вологість повітря при будь-якому значенні температури у вказаних вище межах повинна бути постійною і рівна 65%.

Звідна таблиця зміни тепловологового стану повітря. (табл. 2.4).

Таблиця 2.4 – Зміна тепловологового стану повітря

Літній розрахунковий режим			
Стан повітря	Параметри повітря		
	°С	%	Кдж/кг

Зовнішній	23,7	55,2	53,6
Внутрішній	24	65	52
Приточування (П)	18	90	48,5
Зимовий розрахунковий період			
Стан повітря	Параметри повітря		
	°C	%	Кдж/кг
Зовнішній	-22	80	-20,7
Внутрішній	22	65	51,2
Проточний	19	85	49

## 2.2 Визначення потужності двигуна вентилятора

Кількість повітря приточування, кг/год.

Літній період:

$$G_n^l = Q_{\text{надл}}^l / (i_g - i_n); (2.6)$$

$$G_n^l = 49049,6 / (52 - 48,5) = 14014,17 \text{ кг} / \text{год}.$$

Зимовий період:

$$G_n^z = Q_{\text{надл}}^z / (i_g - i_n); (2.7)$$

де:  $Q_{\text{надл}}^l$   $Q_{\text{надл}}^z$  – сумарна величина теплонадлишків в цеху в теплий і холодний розрахунковий період;

$i_v, i_n$  – ентальпія внутрішнього та приточного повітря, кДж/кг.

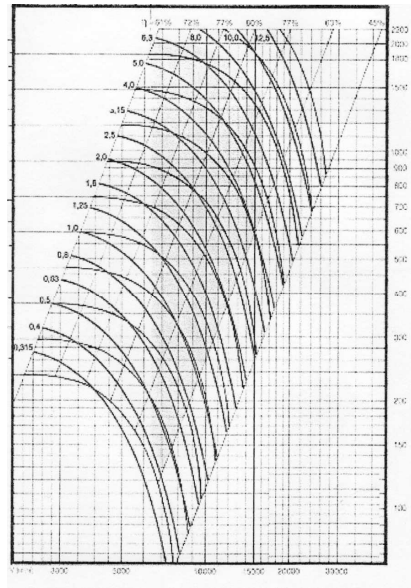


Рисунок 2.1– Діаграми характеристик

Витрата повітря приточування, м³/год.

$$G_n^3 = 16600,4 / (51,2 - 49) = 7545,64 \text{ кг} / \text{год.}$$

Літній період:

$$L_n^l = G_n^l / p; \quad (2.8)$$

$$L_n^l = 14014,17 / 1,2 = 11678,3 \text{ м} / \text{год.}$$

Зимовий період:

$$L_n^3 = G_n^3 / p; \quad (2.9)$$

де:  $p$  –об'ємна вага повітря,  $\text{кг}/\text{м}^3 = 1,2$ .

$$L_n^3 = 7545,64 / 1,2 = 6288,3 \text{ м} / \text{год.}$$

Виходячи з даних про об'єм приміщення, по будівельних галузевих нормах необхідний натиск складе:  $H = 700 \text{ Па} = 70 \text{ мм.вод.ст.}$

З урахуванням ККД вентилятора  $\eta_{\text{вент}}$  на його потужність валу визначиться таким чином:

$$P_{\text{вент}} = \frac{H Q_d}{\eta_{\text{вент}}}; \quad (2.10)$$

Згідно приведеним графікам при тиску рівному  $700 \text{ Па}$  і максимальній витрати повітря  $11678,3 \text{ м}^3 / \text{год.}$  ККД вентилятора  $0,77$ .

Номінальна потужність електродвигуна вентилятора:

$$P_{\text{вент}} = \frac{70 \cdot 11,638 \cdot 9,81}{0,77 \cdot 3600} = 2,96 \text{ кВт.}$$

Номинальна потужність двигуна вентилятора визначається з умови:

$$P_{\text{мін}} > P_{\text{вент}}; \quad (2.11)$$

## 2.3 Розрахунок параметрів та характеристик асинхронного електродвигуна

### 2.3.1 Паспортні дані електродвигуна

Паспортні дані електродвигуна наведено у таблиці 2.5 [9].

Таблиця 2.5 – Паспортні дані електродвигуна 4A112M4У3

$P_H$ , кВт	s %	$\eta$ , %	$\cos\phi$ , в.о.	$\frac{M_{\text{макс}}}{M_H}$ , в.о	$\frac{M_{II}}{M_H}$ , в.о	$\frac{M_{xв}}{M_H}$ , в.о	$\frac{I_{II}}{I_H}$ , в.о	$n_0$ , об/хв	J, кг·м <sup>2</sup>
5,5	5	85,5	0,85	2,2	2	1,6	6	1500	0,0306

Номинальний момент двигуна:

$$M_{\text{ов.ном}} = \frac{9550 \cdot P_{2H}}{n_0 \cdot (1 - S_H)}; \quad (2.1)$$

$$M_{\text{ов.ном}} = \frac{9550 \cdot 5,5}{1500 \cdot (1 - 0,05)} = 36,86 \text{ Н·м.}$$

### 2.3.2 Розрахунок та побудова електромеханічної характеристики

На рисунку 2.2 представлена Т-подібна схема асинхронного заміщення двигуна серії 4A112M4У3.

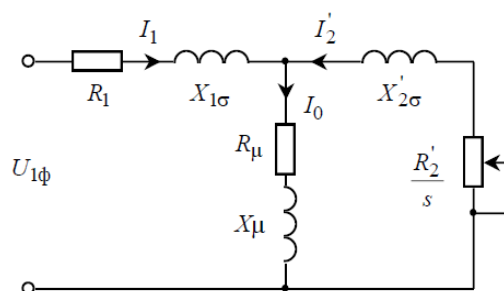


Рисунок 2.2 – Схема заміщення асинхронного двигуна

Струм холостого ходу асинхронного двигуна:

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{11}^2 - \left[ \frac{p_* I_{1H} (1 - S_H)}{(1 - p_* S_H)} \right]^2}{1 - \left[ \frac{p_* (1 - S_H)}{(1 - p_* S_H)} \right]^2}}; \quad (2.2)$$

$$I_0 = \sqrt{\frac{8,96^2 - \left[ \frac{0,75 \cdot 11,47 \cdot (1 - 0,05)}{(1 - 0,75 \cdot 0,05)} \right]^2}{1 - \left[ \frac{0,75 \cdot (1 - 0,05)}{(1 - 0,75 \cdot 0,05)} \right]^2}} = 4,26 \text{ A.}$$

де:

$$I_{1H} = \frac{P_H}{3 \cdot U_{1H} \cdot \cos \varphi_H \cdot h_H}; \quad I_{1H} = \frac{5500}{3 \cdot 220 \cdot 0,85 \cdot 0,855} = 11,47 \text{ A.}$$

номінальний струм статора двигуна;

$S_H = 0,05$  в.о. – номінальне ковзання;

$$I_{11} = \frac{p_* \cdot P_H}{3 \cdot U_{1H} \cdot \cos \varphi_{p_*} \cdot h_{p_*}}; \quad I_{11} = \frac{0,75 \cdot 5500}{3 \cdot 220 \cdot 0,816 \cdot 0,855} = 8,96 \text{ A} \text{ – струм}$$

статора двигуна при частковому завантаженні;

$$\cos \varphi_{p_*} = 0,96 \cdot \cos \varphi_H; \quad \cos \varphi_{p_*} = 0,96 \cdot 0,85 = 0,816 \text{ – коефіцієнт}$$

потужності при часткове завантаження;

$$h_{p_*} = h_H = 0,855 \text{ – ККД при частковому завантаженні;}$$

$$p_* = P / P_H = 0,75 \text{ – коефіцієнт завантаження двигуна.}$$

З формули Клосса співвідношення для розрахунку критичного ковзання знаходимо [12]:

$$S_k = S_H \frac{k_{MAX} + \sqrt{(k_{MAX})^2 - [1 - 2 \cdot S_H \cdot \beta (k_{MAX} - 1)]}}{1 - 2 \cdot S_H \cdot \beta (k_{MAX} - 1)}; \quad (2.3)$$

$$S_k = 0,02 \cdot \frac{2,2 + \sqrt{(2,2)^2 - [1 - 2 \cdot 0,05 \cdot 1 \cdot (2,2 - 1)]}}{1 - 2 \cdot 0,05 \cdot 1 \cdot (2,2 - 1)} = 0,238.$$

Визначимо коефіцієнт  $A_1$ :

$$A_1 = m U_{1\phi}^2 (1 - S_H) / (2 \cdot C_1 \cdot k_{MAX} \cdot P_H); \quad (2.4)$$

$$A_1 = 3 \cdot 220^2 (1 - 0,05) / (2 \cdot 1,027 \cdot 2,2 \cdot 5500) = 5,553.$$

де:



$$C_1 = 1 + (I_0 / (2 \cdot k_i \cdot I_{1H})); \quad (2.5)$$

$$C_1 = 1 + (4,26 / (2 \cdot 7 \cdot 11,47)) = 1,027.$$

Активний опір ротора, наведений до обмотування статора асинхронного двигуна:

$$R_2' = A_1 / (\beta + 1 / S_k) C_1; \quad (2.6)$$

$$R_2' = 5,553 / 1(\beta + 10,238) \cdot 1,027 = 1,04 \text{ Ом.}$$

Активний опір обмотки статора:

$$R_1 = C_1 R_2' \beta; \quad (2.7)$$

$$R_1 = 1,027 \cdot 2,238 \cdot 1 = 1,068 \text{ Ом.}$$

Визначимо параметр  $\gamma$ , який дозволяє знайти індуктивний опір короткого замикання  $X_{KH}$ :

$$\gamma = \sqrt{(1 / S_k^2) - \beta^2}; \quad (2.8)$$

$$\gamma = \sqrt{(1 / 0,238^2) - 1^2} = 4,081.$$

Тоді:

$$X_{KH} = \gamma C_1 R_2'; \quad (2.9)$$

$$X_{KH} = 4,081 \cdot 1,027 \cdot 1,04 = 4,356 \text{ Ом.}$$

Індуктивний опір роторної обмотки, наведений до статорної:

$$X_{2H}' = 0,58 \cdot X_{KH} / C_1; \quad (2.10)$$

$$X_{2НОМ}' = 0,58 \cdot 4,356 / 1,027 = 2,461 \text{ Ом.}$$

Індуктивний опір статорної обмотки:

$$X_{1H} = 0,42 X_{KH}; \quad (2.11)$$

$$X_{1H} = 0,42 \cdot 4,356 = 1,83 \text{ Ом.}$$

За знайденими значеннями змінних  $C_1$ ,  $R_2'$ ,  $R_1$  і  $X_K$  визначимо критичне ковзання:

$$S_K = \frac{C_1 R_2'}{\pm \sqrt{R_1^2 + X_{KH}^2}}; \quad (2.12)$$

$$S_K = \frac{1,027 \cdot 1,04}{\pm \sqrt{1,068^2 + 4,356^2}} = 0,238.$$

Це і розраховане раніше значення критичного ковзання  $s_K$  рівні. ЕРС гілки намагнічування  $E_1$ :

$$E_1 = \sqrt{(U_{1j} \cos \varphi_{1H} - R_1 I_{1H})^2 + (U_{1j} \sin \varphi_{1H} + X_1 I_{1H})^2}; \quad (2.13)$$

$$E_1 = \sqrt{(220 \cdot 0,85 - 1,068 \cdot 11,47)^2 + (220 \cdot 0,527 + 1,83 \cdot 11,47)^2} = 221,986 \text{ В}.$$

Індуктивний опір намагнічування [13]:

$$X_{\mu H} = E_1 / I_0; \quad (2.14)$$

$$X_{\mu H} = 221,986 / 4,26 = 52,116 \text{ Ом}.$$

Рівняння, що визначає залежність наведеного струму ротора від ковзання, для розрахунку природної електромеханічної характеристики:

$$I_2'(s) = \frac{U_{1H}}{\sqrt{(R_1 + R_2' / s)^2 + X_{KH}^2 + \left(\frac{R_1 R_2'}{s X_{\mu H}}\right)^2}} =$$

$$I_2'(s) = \frac{220}{\sqrt{(1,068 + 1,04 / s)^2 + 4,356^2 + \left(\frac{1,068 \cdot 1,04}{s \cdot 52,116}\right)^2}}; \quad (2.15)$$

За наведеним вище рівнянням розраховуємо електромеханічну характеристику.

Вважаючи струм намагнічування асинхронного двигуна  $I_0$  реактивним ( $I_{0A} = 0$ ), струм статора  $I_1$  через наведений струм ротора  $I_2'$  можна знайти за формулою:

$$I_1(s) = \sqrt{I_0^2 + I_2'^2 + 2 \cdot I_0 \cdot I_2' \cdot \sin \varphi_2} =$$

$$I_1(s) = \sqrt{4,26^2 + I_2'^2 + 2 \cdot 4,26 \cdot I_2' \cdot \sin \varphi_2}; \quad (2.16)$$

де:

$$\sin \varphi_2 = \frac{x_{KH}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + x_{KH}^2}} = \frac{4,356}{\sqrt{\left(1,068 + \frac{1,04}{s}\right)^2 + 4,356^2}}; \quad (2.17)$$

Результати розрахунку зводимо до таблиці 2.6.

Таблиця 2.6– Результати розрахунку електромеханічних характеристик

s, в. о.	0	0,5	0,5	0,75	1,0
$\omega_1$ , рад/с	157,1	149,2	78,5	39,27	0
$I_2$ , А	0	9,86	40,9	44	45,5
$I_1$ , А	4,3	11,4	44,3	47,6	49,16

За даними таблиці 2.6 будемо електромеханічні характеристики (рис. 2.3).

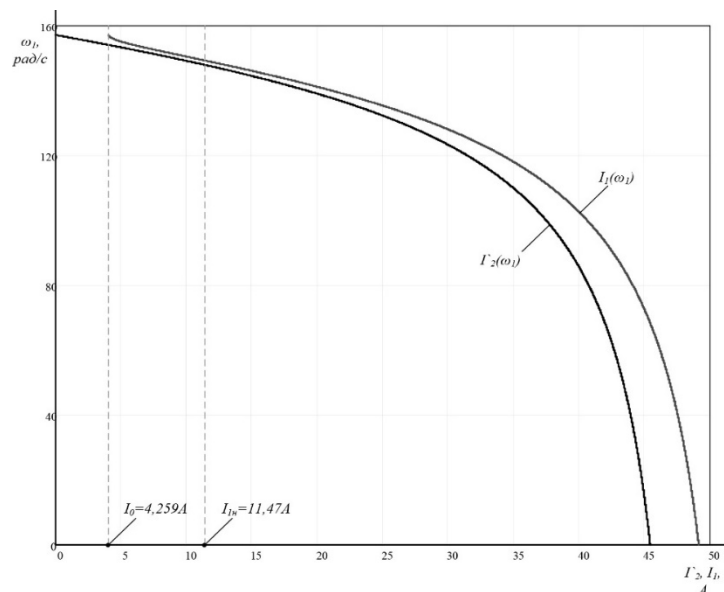


Рисунок 2.3 – Природні електромеханічні характеристики АЛ серії 4А112М4У3

### 2.3.3 Розрахунок та побудова механічної характеристики

Механічна характеристика асинхронного двигуна при змінних значеннях величини та частоти напруги живлення визначається наступним виразом:

$$M(s) = \frac{3 \cdot U_{1H}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 s \cdot \left[ X_{KH}^2 + \left( R_1 + \frac{R_2'}{s} \right) + \left( \frac{R_1 R_2'}{s X_{\mu H}} \right)^2 \right]} = \quad (2.18)$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 2,286}{157,1 \cdot s \cdot \left[ 4,356^2 + \left( 1,068 + \frac{1,04}{s} \right)^2 + \left( \frac{1,068 \cdot 1,04}{s \cdot 52,113} \right)^2 \right]}$$

Результати розрахунку зводимо до таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 – Результати розрахунку механічної характеристики

$s$ , в.о.	0	0,05	0,5	0,75	1,0
$\omega_1$ , рад/с	157,1	149,2	78,5	39,27	0
$M$ , Н·м	0	38,66	66,57	51,28	41,06

За даними таблиці 2.3 будемо механічну характеристику.

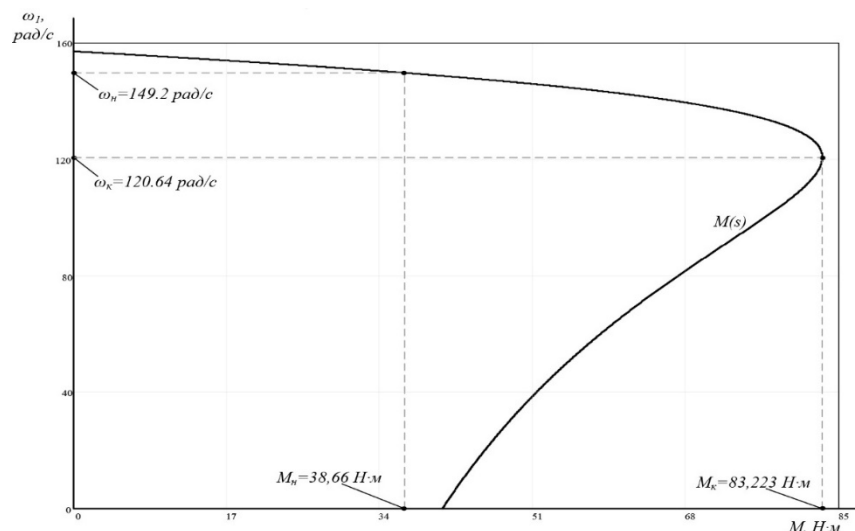


Рисунок 2.4– Природна механічна характеристика АД серії 4А112М4У3

Номінальний електромагнітний момент двигуна:

$$M_{ем.н} = \frac{3 \cdot U_{1\phi H}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot S_n \cdot \left[ X_{KH}^2 + \left( R_1 + \frac{R_2'}{S_n} \right)^2 + \left( \frac{R_1 \cdot R_2'}{S_n \cdot X_{\mu H}} \right)^2 \right]} \quad (2.19)$$

$$M_{ем.н} = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 2,286}{157,1 \cdot 0,05 \cdot \left[ 4,356^2 + \left( 1,068 + \frac{1,04}{0,05} \right)^2 + \left( \frac{1,068 \cdot 1,04}{0,05 \cdot 52,113} \right)^2 \right]} = 38,66 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Момент від сил тертя на валу двигуна:

$$M_{с.дв} = M_{ем.н} - M_{дв.н}; \quad (2.20)$$

$$M_{с.дв} = 38,66 - 36,86 = 1,8 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Оцінка достовірності розрахованих характеристик двигуна.

Згідно з паспортними даними (табл. 2.2)

$$M_{дв.н} = 36,86;$$

$$M_{дв.макс} = K_{макс} - M_{дв.н}; \quad (2.21)$$

$$M_{дв.макс} = 2,2 - 36,86 = 81,092 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$$M_{дв.пуск} = K_{п} - M_{дв.н}; \quad (2.22)$$

$$M_{дв.пуск} = 2 - 36,86 = 73,72 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$$M_{дв.мін} = K_{мін} - M_{дв.н}; \quad (2.23)$$

$$M_{дв.ном} = 1,6 - 36,86 = 58,98 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$$I_{дв.ном} = K_{ном} \cdot M_{дв.н}; \quad (2.24)$$

$$I_{дв.ном} = 7 \cdot 11,47 = 80,29 \text{ А}.$$

В результаті розрахунку природних характеристик двигуна отримані наступні параметри для їх характерних точок:

$$S_{н} = 5\%; S_{к} = 0,238; I_{1н} = 11,4 \text{ А}; I_{1макс} = 49,16 \text{ А}; I_{1макс}/I_{1н} = 4,32;$$

$$M_{ем.н} = 38,66 \text{ Н} \cdot \text{м}; M_{ем.макс} = 83,2 \text{ Н} \cdot \text{м}; M_{ем.макс}/M_{ем.н} = 2,15;$$

$$M_{ем.пуск} = 41,06 \text{ Н} \cdot \text{м}; M_{ем.пуск}/M_{ем.н} = 1,06.$$

З порівняння розрахованих параметрів характеристик з довідковими даними випливає, що розраховані характеристики з допустимою похибкою (менше 10%) збігаються лише з робочому ділянці характеристик ( $0 < s < s_{к}$ ).

## 2.4 Вибір перетворювача частоти

Перетворювач частоти вибирається з умов:

$$P_{\text{дв}} \leq P_{\text{ПЧ}}; I_{\text{дв}} \leq I_{\text{ПЧ}}.$$

Для двигуна потужністю  $P_{\text{дв}} = 5,5 \text{ кВт}$  і номінальним струмом  $I_{\text{ном}} = 11,47 \text{ А}$  вибираємо перетворювач частоти серії VLT 2855 фірми Danfoss, що має такі параметри:

- вихідний струм  $I_{\text{вих}} = 12 \text{ А}$ ;
- максимальний струм (60 с)  $I_{\text{макс}} = 19,2 \text{ А}$ ;
- повна вихідна потужність  $S_{\text{вих}} = 8,3 \text{ кВА}$ ;
- активна номінальна потужність  $P_{\text{вих}} = 5,5 \text{ кВт}$ ;
- вихідна частота  $f_1 = 0,2 \pm 132 \text{ Гц}$ ;
- роздільна здатність за частотою  $0,013 \text{ Гц}$ ;
- діапазон регулювання швидкості обертання (розімкнена система)

$D=15:1$ ;

- похибка швидкості обертання (розімкнена система) макс.  $\pm 23 \text{ об/хв}$ ;
- максимальний переріз дроту  $S_{\text{др}} = 4 \text{ мм}^2$ .

Контрольні входи та виходи:

– 5 цифрових входів для функцій старт/стоп, скидання, підключення термістора тощо;

- 2 аналогові входи для сигналів завдання та зворотного зв'язку;
- 1 цифровий вихід та 1 аналоговий вихід;
- 1 релейний вихід для сигналізації стану та помилок;
- RS-485 для повного контролю та керування приводом.

На рисунку 2.5 представлений зовнішній вигляд перетворювачів частоти VLT серії 2855.

Серія VLT 2800 була розроблена для застосування з електричними двигунами невеликої потужності. Модельний ряд представлений потужностями від  $0,37$  до  $18,5 \text{ кВт}$ . Перетворювачі цієї серії мають малі

розміри та допускають монтаж «стінка до стінки». Внутрішня конструкція складається з двох модулів: силової частини та плати керування.

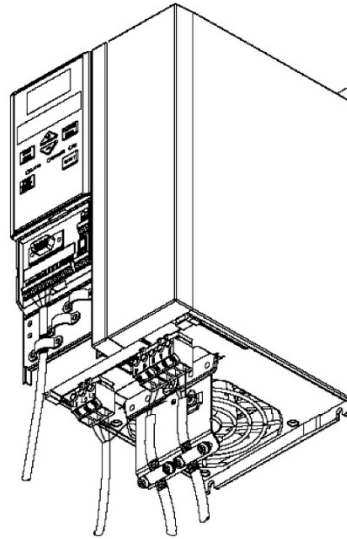


Рисунок 2.5 –Зовнішній вигляд перетворювачів частоти серії VLT 2855

Перетворювач частоти VLT 2855 PT4 B20 ST RO DB F10 має ряд переваг:

- Завдяки АМД – автоматичній адаптації до двигуна, яка вимірює параметри двигуна для оптимального керування, підвищується ККД системи «перетворювач частоти-двигун».

- Вбудований ПІД-регулятор здійснює оптимальне керування процесом регулювання. Точний старт/стоп забезпечує хорошу повторюваність та точність позиціонування.

Серія VLT 2800 сконструйована для стабільної роботи у промислових умовах. RFI-фільтр пригнічує високочастотні перешкоди в мережі живлення і дозволяє нормально працювати обладнання, що пред'являє додаткові вимоги до електромагнітної сумісності.

- Вбудований фільтр придушення гармонік дозволяє укладатись у норми стандарту IEC 61000-3-2.

- Всі перетворювачі частоти серії VLT 2800 легко використовувати завдяки функції «Швидке меню», яка включає всі необхідні параметри для запуску і нормальної роботи. Привід також може керуватися та

програмуватися із зовнішньої панелі керування, забезпеченої графічним дисплеєм. Протоколи зв'язку Profibus та DeviceNet дозволяють повністю контролювати та керувати приводом з персонального комп'ютера або контролера.

Типові застосування: відцентрові насоси та вентилятори [9].

Переваги цього типу перетворювача та невелика вартість (близько 60 тис. грн.) визначили його застосування у цій роботі.

На рисунку 2.6 представлена схема підключення ПЛ.

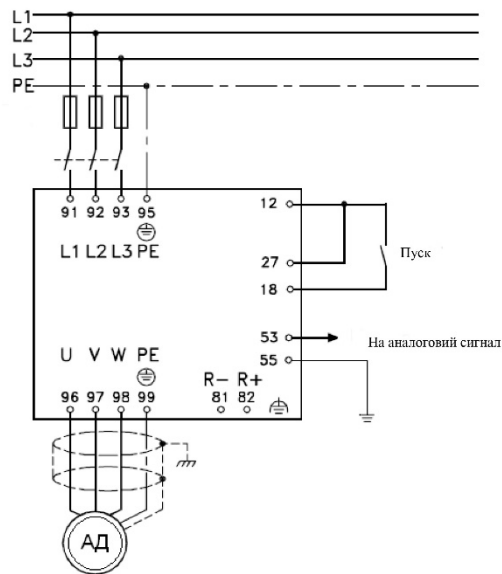


Рисунок 2.6 – Схема підключення ПЛ

Перетворювач частоти живиться від трифазної мережі з лінійною напругою 380, фази якої підключаються до клем L1, L2, L3, клем PE заземляється. Знявши задню панель, замкнути клеми 12 і 27. Асинхронний двигун приєднується до клем U, V, W, а клему PE заземлюється.

## 2.5 Вибір вимірювального перетворювача тиску

Технологічним процесом горіння накладаються вимоги, які необхідно враховувати під час виборів перетворювача тиску (ПД). ПД встановлюється в обсязі камери згорання, тому вибір проводиться за максимально можливим



розрідженням, створюваному в камері згоряння, а також по надмірному тиску.

ПД призначений для вимірювання абсолютного тиску агресивних середовищ і перетворення його в електричний сигнал. Параметри ПД наведені нижче:

- вихідний сигнал 4...20мА;
- постійна тривалість часу без демпфінгування 150 мс;
- живлення 11,5...30В постійної напруги;
- діапазон вимірювання  $-1...100$ бар ( $-100$ кПа...10МПа).

Значення абсолютного тиску фіксуються з кількох робочих точок: у пальників, у сопел подачі газоповітряної суміші, потім значення передаються на аналогові входи контролера Реміконт Р-130. Завдяки посиленню сигналу в самому ПД установки підсилювача (а також гальванічної розв'язки) не потрібно [13].

На рисунку 2.8 показано підключення ПД до джерела живлення.



Рисунок 2.8 – Вимірювальний перетворювач тиску

## 2.6 Вибір перетворювача інтерфейсу

Для того, щоб з'єднати порти RS-232 і RS-485, необхідно пристрій перетворення – перетворювач інтерфейсу. Модельний ряд перетворювачів інтерфейсів дуже різноманітний. Підбираємо перетворювач, який задовольняє умовам: наявність гальванічної розв'язки для запобігання

перебігу силових струмів у ланцюзі керування; наявність захисту від К.З. та електромагнітних перешкод від силової частини ПЧ; можливість передачі на відстані не менше 50 м.

Цим умовам відповідає перетворювач інтерфейсу серії RealLab RL-232-485.

На рисунку 2.9 представлена функціональна схема перетворювача інтерфейсу RL-232-485.

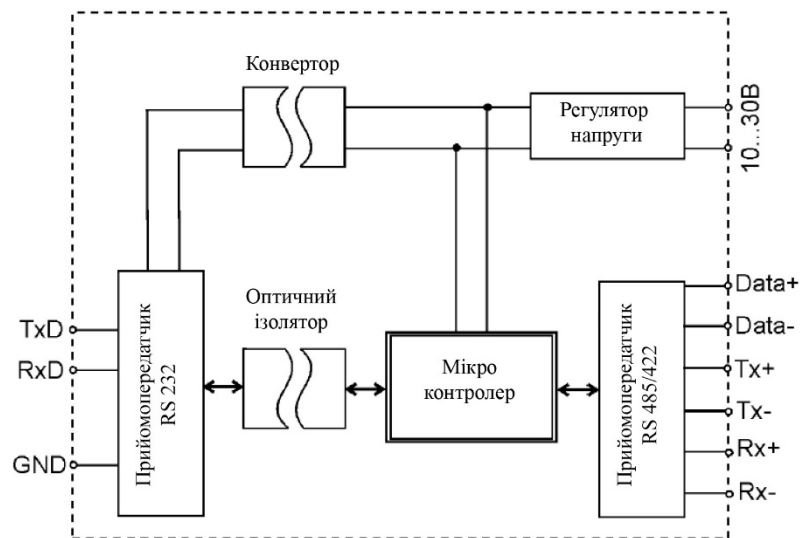


Рисунок 2.9 – Функціональна схема перетворювача інтерфейсу RL-232-485 серії RealLab

Перетворювач інтерфейсу RL-232-485 забезпечує гальванічно розв'язаний напівдуплексний зв'язок пристрою, що має інтерфейс RS-232 з пристроєм, що має інтерфейс RS-485 або дуплексний зв'язок з пристроєм, що має інтерфейс RS-422. Може бути використаний також для збільшення дальності зв'язку шляхом застосування перетворення інтерфейсу RS-232 в інтерфейс RS-485/422 і зворотного перетворення після передачі сигналу на велику відстань (до 1,2 км).

З'єднання перетворювача з комп'ютером проводиться стандартним мінімальним або повним нуль-модемним кабелем. Для отримання гальванічної розв'язки використовуються перетворювачі напруги та оптрони

з напругою 3кВ. Вихідні каскади побудовані на базі приймача ADM485AR фірми AnalogDevices. Живлення оптичного ізолятора здійснюється від джерела постійної напруги діапазоні від 10 до 30 В з боку інтерфейсу RS-485. Живлення пристрою з боку інтерфейсу RS-232 здійснюється через вбудований перетворювач напруги. Швидкодія використаної елементної бази забезпечує швидкість передачі сигналу 115200 біт/с. Пристрій має захист з боку інтерфейсу RS-485 від електростатичних розрядів величиною до 15кВ і з боку інтерфейсу RS-422 величиною 3 кВ, що тестується за моделлю тіла людини, а також захист від електричних розрядів і захист від електромагнітних полів напруженістю до 10 В/ м, а також захист від електромагнітних спалахів до 2 кВ. Додатково застосовано оптичну розв'язку між інтерфейсом RS-232 і RS-485.

## 2.7 Розрахунок механічних та електромеханічних характеристик електроприводу

Момент опору турбомеханізму складається з моменту аеродинамічного опору, пропорційного квадрату частоти обертання та моменту, обумовленого механічним опором [9]:

$$M_c(\omega) = M_{c0} + (M_{CH} + M_{c0}) \cdot \left( \frac{\omega}{\omega_H} \right)^2; \quad (2.25)$$

Для кондиціонерів початковий момент опору [28]:

$$M_{c0} = 0,15 \cdot M_{CH}; \quad (2.26)$$

тоді характеристика моменту опору кондиціонера від кутової швидкості виражається залежністю [28]:

$$\begin{aligned} M_c(\omega) &= 0,15 \cdot M_{CH} + 0,15 \cdot M_{CH} \cdot \left( \frac{\omega}{\omega_H} \right)^2 = 0,15 \cdot 36,865 + \frac{0,85 \cdot 36,86}{157,1} \cdot \omega^2 = \\ &= 5,5 + 0,0013 \cdot \omega^2; \end{aligned} \quad (2.27)$$

З метою забезпечення заданого діапазону регулювання  $D=10:1$  регулювання швидкості вниз від основної  $\omega_0=157,1$  рад/с до швидкості  $\omega_0=15,71$  рад/с здійснюється при реалізації закону керування  $U_1/f_1 = \text{const}$ .

Механічна характеристика асинхронного двигуна при змінних значеннях величини та частоти напруги живлення визначається наступним виразом:

$$M(s) = \frac{3 \cdot U_{1j}^2 \cdot R_2'}{\omega_{0j} \cdot s \cdot \left[ X_{KH}^2 \cdot f_{1*}^2 + \left( R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + \left( \frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu H} \cdot f_{1*}} \right)^2 \right]} = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot f_{1*}^2 \cdot 1,04}{\omega_{0j} \cdot s \cdot \left[ 4,356^2 \cdot f_{1*}^2 + \left( 1,068 + \frac{1,04}{s} \right)^2 + \left( \frac{1,068 \cdot 1,04}{s \cdot 52,116 \cdot f_{1*}} \right)^2 \right]}; \quad (2.28)$$

де:  $U_{1j}$  – фазне напруження обмоток статора асинхронного двигуна;

$\omega_{0j}$  – синхронна частота обертання двигуна;

$f_{1*} = f_{1j} / f_{1H}$  – відносне значення частоти напруги живлення.

Механічні характеристики двигуна при частотному керуванні наведено на рисунку 2.10.

Вираз для розрахунку електромеханічних характеристик, що визначають залежність наведеного струму ротора від ковзання  $s$  при законі керування  $U/f = \text{const}$ ,

$$I_2'(s) = \frac{U_{1j}}{\pm \sqrt{\left( R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + X_{KH}^2 \cdot f_{1*}^2 + \left( \frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu H} \cdot f_{1*}} \right)^2}} = \frac{220 \cdot f_{1*}}{\pm \sqrt{\left( 1,068 + \frac{1,04}{s} \right)^2 + 4,356^2 \cdot f_{1*}^2 + \left( \frac{1,068 \cdot 1,04}{s \cdot 52,116 \cdot f_{1*}} \right)^2}}; \quad (2.29)$$

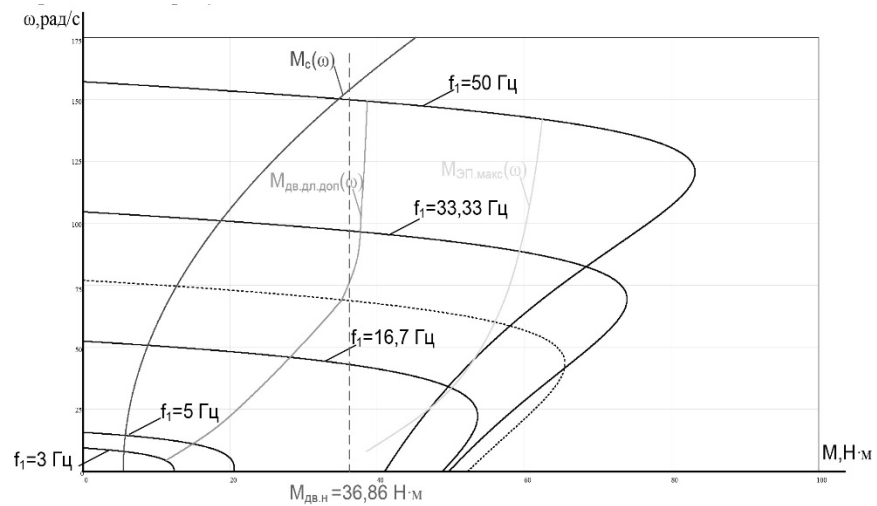


Рисунок 2.10 – Механічні характеристики розімкнutoї системи перетворювач частоти – асинхронний двигун

Розрахунковий вираз для електромеханічних характеристик  $I_1 = f(s)$ , що відображають залежність струму статора  $I_1$  від ковзання [12]:

$$\begin{aligned} I_1(s) &= \sqrt{I_0^2 + I_2'^2(s) + 2 \cdot I_0 \cdot I_0'(s) \cdot \sin \phi_2(s)} = \\ &= \sqrt{4,26^2 + I_2'^2(s) + 4,26 \cdot I_0'(s) \cdot \sin \phi_2(s)}; \end{aligned} \quad (2.30)$$

де:

$$\sin \phi_2 = \frac{x_{KH} \cdot f_{1*}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + x_{KH}^2 \cdot f_{1*}^2}} = \frac{4,356 \cdot f_{1*}}{\sqrt{(1,068 + 1,04/s)^2 + 52,116^2 \cdot f_{1*}^2}}; \quad (2.31)$$

$$I_0 = \frac{U_{1j}}{\sqrt{R_1^2 + (x_{1H} + x_{\mu H})^2 \cdot f_{1*}^2}}; \quad (2.32)$$

Електромеханічні характеристики  $\Gamma_2(\omega)$  та  $I_1(\omega)$  при законі керування  $U_1/f_1 = \text{const}$  представлені на рисунках 2.11 та 2.12.

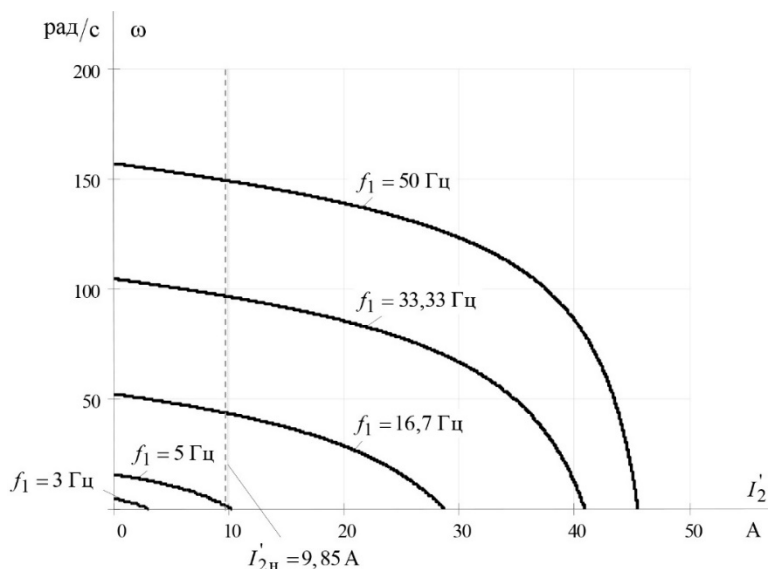


Рисунок 2.11 – Електромеханічні характеристики  $I_2'(s)$  розімкнутої системи перетворювач частоти-асинхронний двигун

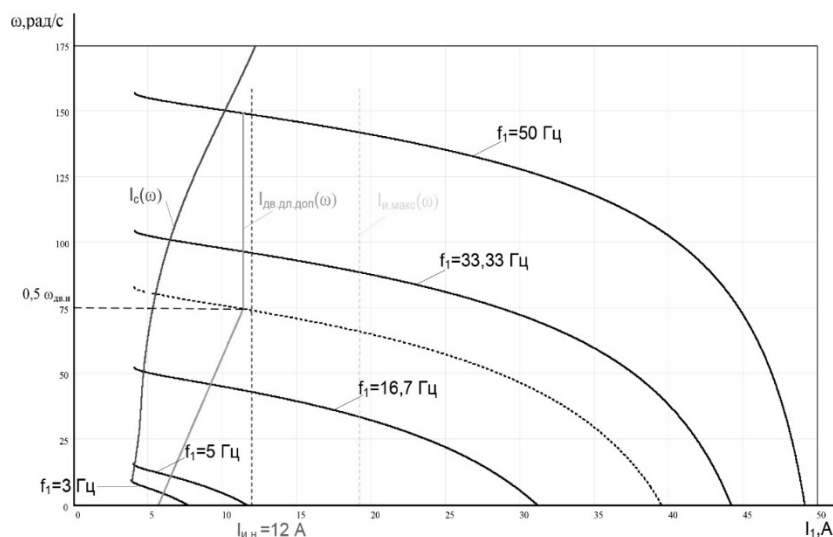


Рисунок 2.12 – Електромеханічні характеристики  $I_1(s)$  розімкнутої системи перетворювач частоти – асинхронний двигун

Аналіз розрахованих механічних характеристик (рис. 2.10) показує, при реалізації закону керування  $U_1/f_1 = \text{const}$  електропривод кондиціонера забезпечує необхідний діапазон регулювання швидкості від  $\omega_0 = 15,71$  рад/с до  $\omega_0 = 157,1$  рад/с.

Пускова характеристика може бути забезпечена при початковому значенні частоти  $f_1 = 3$  Гц.

## 2.8 Схема роботи автоматизації систем вентиляції та кондиціонування повітря

Структурна схема систем вентиляції цеху меблевої збірки та кондиціонування повітря лакофарбового цеху представлена на рисунку 2.13. Складається з секцій обладнання вентиляційних установок, нагрівальної, охолоджувальної, зволожуючої або сушильної, виконавчих (електроприводів та датчиків), а також регулюючої, силової та керуючої.

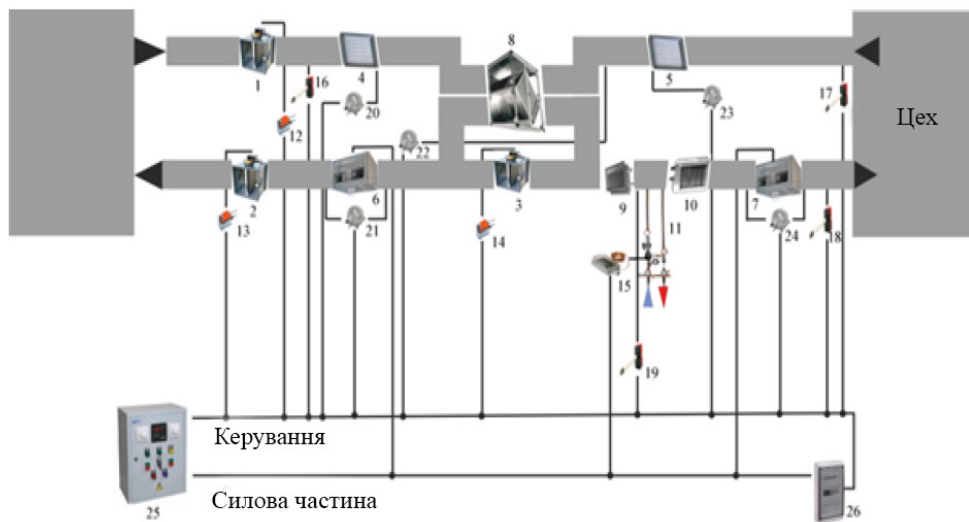


Рисунок 2.13 – Структурна схема автоматизації систем вентиляції та кондиціонування повітря цеху

До складу вентиляювання приміщення (цеху збирання меблевої продукції) та кондиціонування (лакофарбового цеху) входить:

1–3 – заслінки з електроприводом; 4, 5 – фільтри для очищення повітря; 6, 7 – припливний та витяжний вентилятори; 8 – пластинчастий рекуператор (теплообмінник); 9 – водяний повітрянагрівач; 10 – водяний охолоджувач або зволожувач; 11 – змішувальний вузол (подача гарячої та холодної води за допомогою насоса води); 12–14 – електроприводи заслінок потоку повітря; 15 – циркуляційний насос із датчиком зворотної води; 16–19 – температурний датчик припливного та витяжного повітря; 20–24 – диференціальне реле тиску (контроль роботи вентиляторів, контроль

обмерзання рекуператора, контроль засмічення фільтрів);25 – автоматизований щит керування;26 – контролер систем вентиляції та кондиціонування.

У системі вентиляції широко використовується поєднання груп припливних та витяжних пристроїв, що працюють у режимі підтримки однакової температури припливного та витяжного повітря.

Для цього в схемі автоматизації передбачається автоматичне регулювання теплопродуктивності повітрянагрівальних, охолоджувальних та зволожувальних установок зміною температури теплоносія, що подається при постійній витраті повітря і температури.

У режимі пуску зі щита керування включається циркуляційний насос з відкриттям клапана регулювання подачі холодної (відповідно 2/3) і гарячої води в вузлі змішувача. Холодна вода подається в повітрянагрівальну секцію, де нагрівається до  $+95^{\circ}\text{C}$ , (протягом десяти хвилин), а зайва теплота відводиться на зволожуючий модуль, що окремо підключається для ВКВ. Остання частина холодної води йде в охолоджувальну секцію, і потім включаються вентилятори і відкриваються повітряні заслінки, тобто. подається повітря в припливний канал, далі контроль температури та вологості виконує рекуператор. Завершується все у витяжній камері. Далі функціонування процесом автоматизації виконується з щита автоматизації та керування та за допомогою контролера (за допомогою меню користувача за табл.3.2).

## 2.9 Організація автоматизації системи кондиціонування

На рисунку 2.14 показана схема VAV з паралельним регулюванням припливом і витяжкою повітря, що надходить.



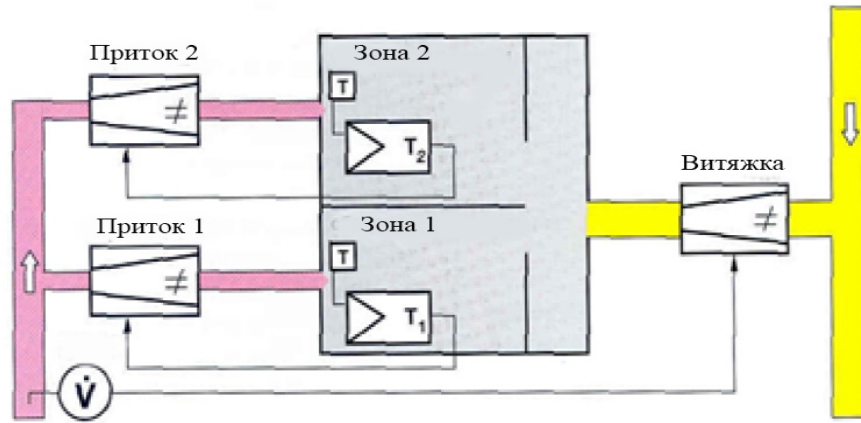


Рисунок 2.14 –Схема VAV з паралельним регулюванням припливу та  
ВИТЯЖКИ

Температура в приміщенні регулюється терморегулятором, що впливає на місцеві змішувачі (повітряні клапани), які змінюють співвідношення витрат холодного і підігрітого повітря в суміші, що подається з припливно-витяжної системи вентиляції.

## 2.10 Організація роботи центральної системи кондиціонування повітря

Водяний охолоджувач Shuft WHR-W 1000x500/3 на рисунку 2.15 призначений для охолодження повітря в каналних системах вентиляції та кондиціонування. Встановлюється безпосередньо в прямокутні канали систем припливної вентиляції виробничих приміщень, в яких потрібне охолодження повітря, що подається.

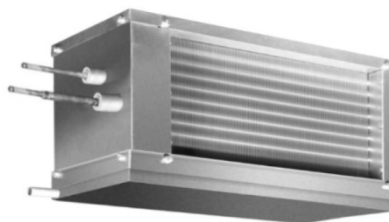


Рисунок 2.15 – Водяний охолоджувач Shuft WHR-W 1000/500/3

Канальний зволожувач КХМ-85 (рис.2.16) призначений для випарного зволоження та адіабатичного охолодження повітря в системах кондиціонування.



Рисунок 2.16 –Канальний зволожувач КХМ-85

Зволожувач КХМ-85 відносяться до зволожувачів з насадкою, що зрошується, тобто повітря проходить через зволожуючі водою зволожуючі касети із спеціального матеріалу та асимілює вологу. Таким чином, реалізується процес адіабатичного зволоження: повітря охолоджується і збільшує свій вміст води при постійному теплоутриманні.

### 2.11 Вибір датчиків та виконавчих механізмів

На рисунку 2.17 представлено температурний регулятор CR24. Він призначений для підтримки заданої температури повітря при опаленні, вентиляції та кондиціонуванні. Температурний датчик вбудований у корпус. При необхідності є можливість підключення зовнішнього каналного термодатчика.



Рисунок 2.17 –Температурний регулятор CR24

Функціональність CR24 дозволяє застосовувати їх з пристроями VAV, регулюючими клапанами спільно з кімнатними повітрянагрівачами/охолоджувачами, а також комбінованими системами.

Необхідні параметри роботи регулятора легко налаштовуються за допомогою перемикачів DIP.

На рисунку 21.8 показаний електропривод NM24-SR призначений для керування повітряними заслінками у вентиляційних системах та системах кондиціонування повітря будівель.



Рисунок 2.18– Електропривод NM24A-SR

Конструктивні особливості.

Електропривод встановлюється безпосередньо на вал заслінки за допомогою універсального захоплення, забезпечується фіксатором, який запобігає обертанню корпусу приводу. Є можливість ручного керування за допомогою кнопки самоповернення (при натиснутій кнопці редуктор виводиться із зачеплення).

## 2.12 Вибір контролерів VAV

Контролер VRP-M (STP) показаний рисунку 2.19 здійснює вимірювання на підставі даних про статичний тиск за допомогою статичного діафрагмового сенсора, що має зовнішню установку для визначення перепаду тиску виносний датчик статичного тиску VFP-100/200/30. Даний тип контролера ідеальний для застосування в приміщеннях з високою агресивністю повітряних мас, що переміщуються.



Рисунок 2.19 –Контролер VRP-M

## РОЗДІЛ 3 ОПТИМІЗАЦІЯ САК ЕЛЕКТРОПРИВОДУ КОНДИЦІОНЕРА

### 3.1 Структурна схема асинхронного двигуна

Оптимізацію САК електроприводу кондиціонера виконуємо методом імітаційного моделювання у програмному середовищі MatLab 6.

Асинхронний двигун представляємо системою рівнянь у нерухомій щодо обмоток статора системі координат [6,12]:

$$U_s = R_s \cdot i_s + \frac{dW_s}{dt}; \quad (3.1)$$

$$U_r = R_r' \cdot i_r' + \frac{dW_r'}{dt} - j \cdot \omega_r \cdot \psi_r; \quad (3.2)$$

$$\psi_s = L_s \cdot i_s + L_\mu \cdot i_r'; \quad (3.3)$$

$$\psi_r = L_r' \cdot i_r' + L_\mu \cdot i_s; \quad (3.4)$$

$$M = \frac{3}{2} \cdot p \cdot (\psi \times i_s); \quad (3.5)$$

Після математичних перетворень отримуємо систему рівнянь:

$$p \cdot i_{s\alpha} = \frac{1}{L_e} \cdot (U_{s\alpha} - R_e \cdot i_{s\alpha} + p \cdot K_r \cdot \omega_r \cdot \psi_{r\beta} + K_r \cdot A_r \cdot \psi_{r\alpha}); \quad (3.6)$$

$$p \cdot i_{s\beta} = \frac{1}{L_e} \cdot (U_{s\beta} - R_e \cdot i_{s\beta} + p \cdot K_r \cdot \omega_r \cdot \psi_{r\alpha} + K_r \cdot A_r \cdot \psi_{r\beta}); \quad (3.7)$$

$$p \cdot \psi_{r\alpha} = R_r \cdot K_r \cdot i_{s\alpha} - A_r \cdot \psi_{r\alpha} - \omega_r \cdot \psi_{r\beta} \cdot p; \quad (3.8)$$

$$p \cdot \psi_{r\beta} = R_r \cdot K_r \cdot i_{s\beta} - A_r \cdot \psi_{r\beta} - \omega_r \cdot \psi_{r\alpha} \cdot p; \quad (3.9)$$

$$M = \frac{3}{2} \cdot Z_p \cdot K_r (\psi_{r\alpha} \cdot i_{r\beta} - \psi_{r\beta} \cdot i_{r\alpha}); \quad (3.10)$$

$$p \cdot \omega_r = \frac{1}{J} \cdot (M - M_c); \quad (3.11)$$

За вищенаведеною системою рівнянь складено структурну схему асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором в нерухомій системі координат (рис. 3.1).

На схемі прийнято позначення:

$$A_r = \frac{R_r}{L_r} = \frac{R'_{2n}}{L'_{2n}}; A_r = \frac{1,04}{0,17681} = 5,9840 \text{ с.}^{-1} \text{ — коефіцієнт, обернений до}$$

величини постійної часу,

$$\text{де: } L'_{2n} = \frac{X'_{2n}}{2 \cdot \pi} = \frac{X'_{2\sigma} + X_{\mu n}}{2 \cdot \pi}; L'_{2n} = \frac{2,461 + 52,116}{2 \cdot 3,14} = 0,17381 \text{ Гн.} \quad \text{—}$$

індуктивність ротора;

$X'_{2n\sigma}$  — індуктивний опір розсіювання ротора;

$Z_p=2$  — число пар полюсів АД;

$$K_r = \frac{L_{\mu n}}{L'_{2n}}; K_r = \frac{16,597}{0,17381} = 0,955 \text{ — коефіцієнт пропорційності};$$

$R_e = R_1 + R'_2 \cdot K_r^2; R_e = 1,08 + 1,04 \cdot 0,955^2 = 2,016 \text{ Ом.}$  — еквівалентний активний опір, введений для спрощення системи рівнянь;

$$L_e = L_1 - \frac{L_{\mu n}^2}{L'_{2n}}; L_e = 0,1718 - \frac{0,16597^2}{0,17381} = 0,0133 \text{ Гн.} \quad \text{еквівалентна}$$

індуктивність структурної схеми, введене для спрощення системи рівнянь;

$$L_1 = \frac{X_{1n}}{2 \cdot \pi} = \frac{X_{1n\sigma} + X_{\mu n}}{2 \cdot \pi}; L_1 = \frac{1,83 + 52,116}{2 \cdot 3,14} = 0,1718 \text{ Гн.} \quad \text{— індуктивність}$$

статора;

$X_{1n\sigma}$  — індуктивний опір розсіювання статора;

$U_{s\alpha}, U_{s\beta}$  — значення напруг у нерухомій системі координат.

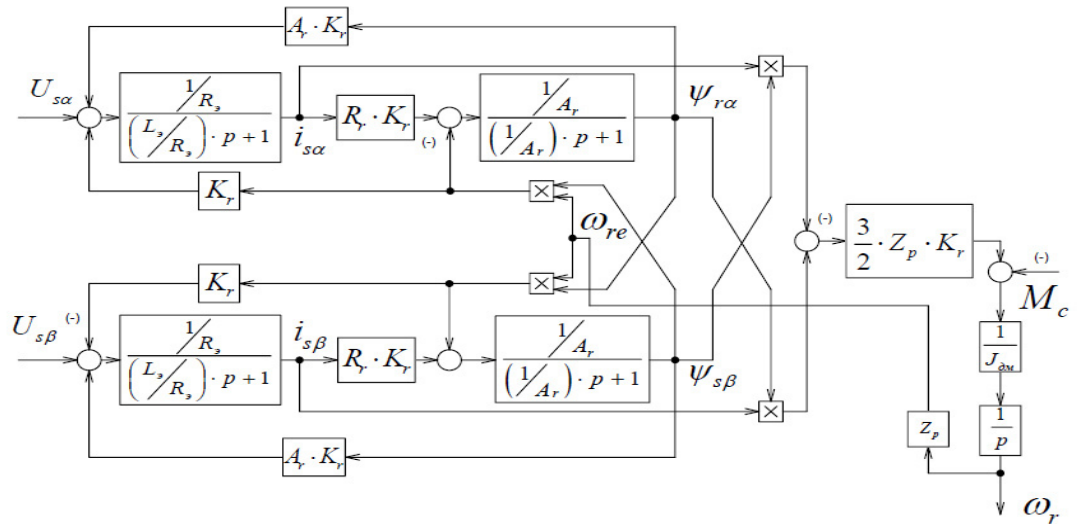


Рисунок 3.1 – Структурна схема асинхронного двигуна у нерухомій системі координат

### 3.2 Імітаційна модель асинхронного двигуна

За структурною схемою асинхронного двигуна, представленій на рисунку 3.1, програмою середовищі MatLab 6.1 складена імітаційна модель, наведена на рисунку 3.2.

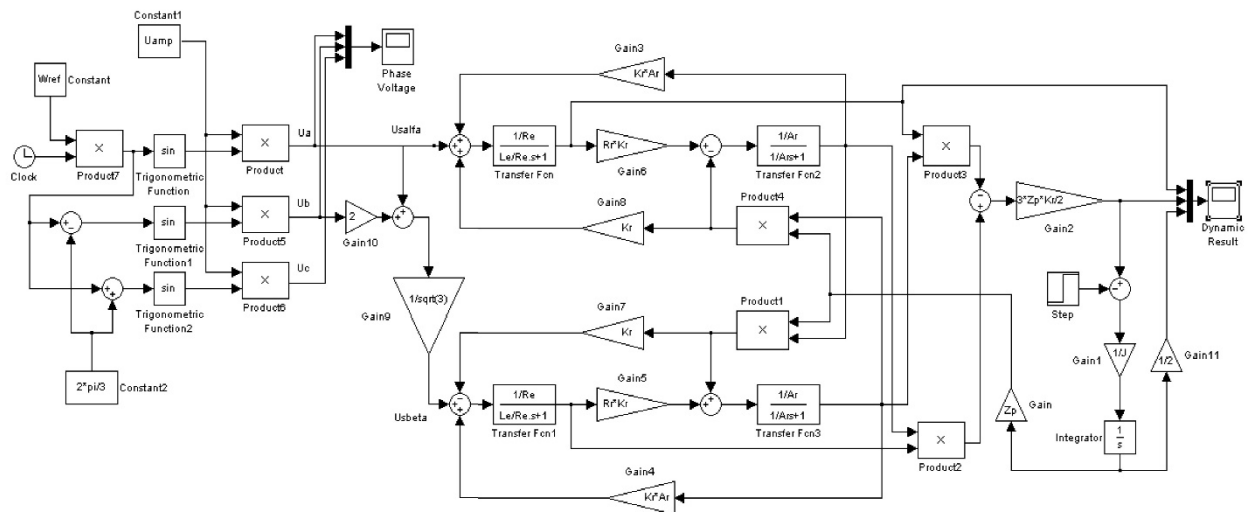


Рисунок 3.2 – Імітаційна модель асинхронного двигуна серії 4A112M4У3

### 3.2.1 Перевірка системи трифазної та двофазної напруги

Для перевірки трифазної мережі використовуємо такі параметри: частота мережі (період синусоїд) та амплітуда фази [13].

На рисунку 3.3 представлена осцилограма живильної трифазної мережі.

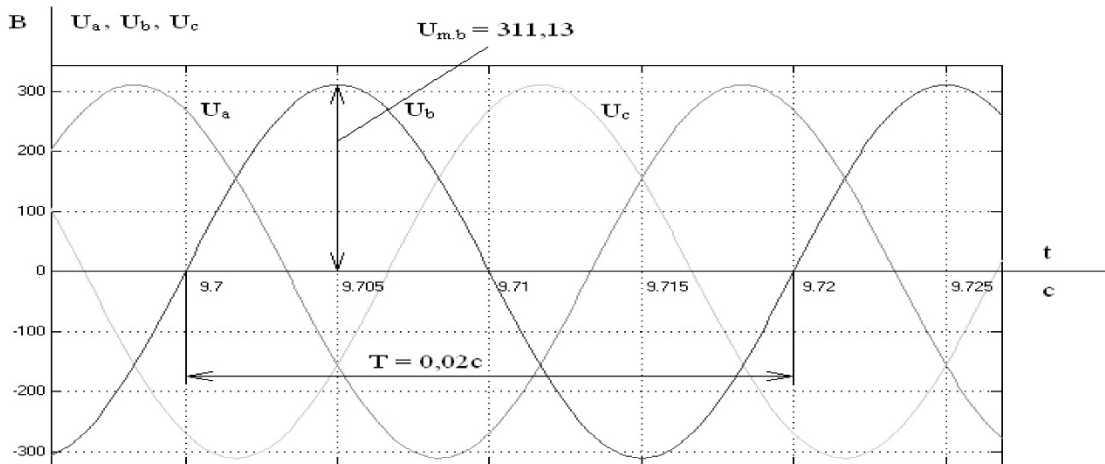


Рисунок 3.3 – Осцилограма напруг трифазної мережі живлення

$$\text{Частота мережі } f_c = \frac{\omega}{T} = \frac{1}{0,02} = 50 \text{ Гц.}$$

$$\text{Амплітуда напруги } U_m = 220 \cdot \sqrt{2} = 311,13 \text{ В.}$$

Як видно з осцилограми та розрахунків, мережа живлення задовольняє умов і може використовуватися для живлення перетворювача частоти.

Перевірка двофазної мережі живлення аналогічна перевірці трифазної мережі, осцилограма напруги наведена на рисунку 3.4.

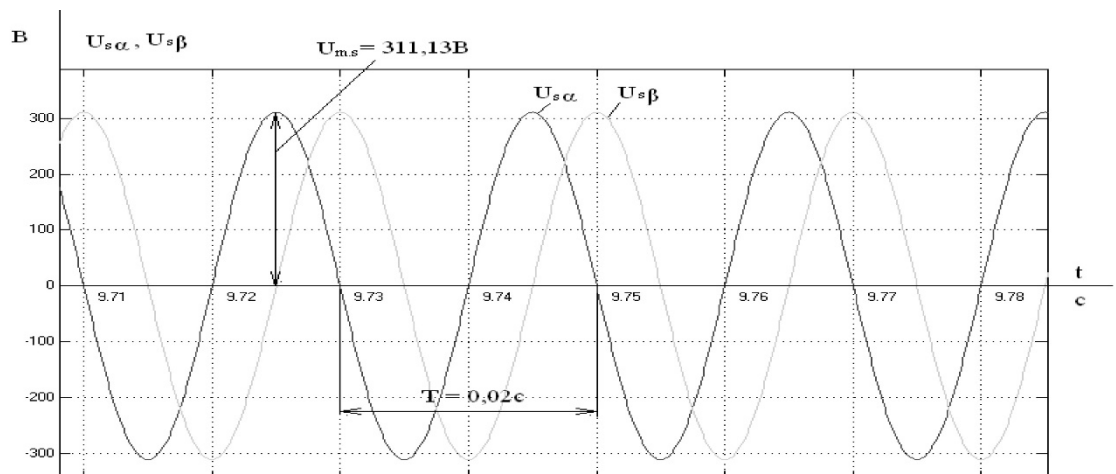


Рисунок 3.4 – Осцилограма двофазної мережі живлення

$$\text{Частота мережі } f_c = \frac{\omega}{T} = \frac{1}{0,02} = 50 \text{ Гц.}$$

$$\text{Амплітуда напруги } U_m = 220 \cdot \sqrt{2} = 311,13 \text{ В.}$$

Двофазну мережу можна використовувати для дослідження імітаційної моделі.

### 3.2.2 Перевірка адекватності імітаційної моделі АД

Перевірка адекватності імітаційної моделі полягає у розрахунку та побудові перехідних характеристик АД та порівнянні отриманих показників з паспортними даними двигуна [12].

На рисунку 3.5 показані перехідні процеси при прямому запуску асинхронного двигуна на номінальну швидкість. У момент часу  $t = 0,25$  с (після стабілізації швидкості) до валу двигуна додається номінальний момент  $M_H = 36,86$  Н·м.

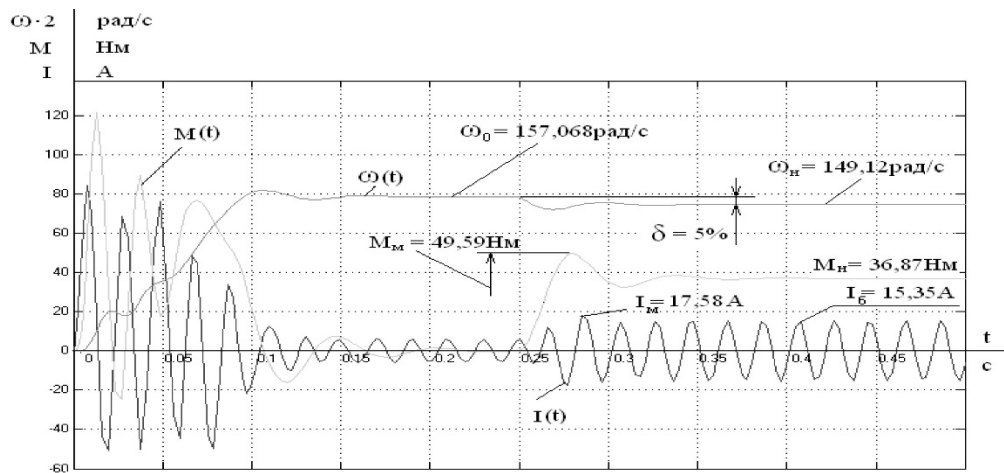


Рисунок 3.5 – Перехідні процеси пуску асинхронного двигуна та накидання навантаження

Як видно з графіка, при накиданні навантаження, що дорівнює номінальному моменту двигуна, частота обертання валу двигуна зменшується з синхронної  $\omega_0 = 157,068$  рад/с до  $\omega = 149,2$  рад/с, відповідає номінальному значенню (табл. 3.1).



Струм статора  $I_n = \frac{I_{\sigma}}{\sqrt{2}} = \frac{15,35}{\sqrt{2}} = 10,85 \text{ В}$ . трохи відрізняється від розрахованого раніше номінального значення.

Крім того, за даним графіком видно, що пусковий струм перевищує номінальний у 7 разів, а максимальне значення моменту – у 3 рази, що також відповідає паспортним даним.

Таким чином, можна стверджувати, що імітаційна модель, створена в програмному середовищі Matlab, адекватно відбиває процеси, які у асинхронному двигуні серії 4А112М4У3. Тому використання цієї моделі як вихідна для досліджень виправдано.

### 3.3 Дослідження САК електроприводу при скалярному керуванні

#### 3.3.1 Структурна схема САК ЕП при скалярному керуванні

Перехідні процеси прямого пуску (рис. 3.5) характеризуються суттєвою коливальністю моменту, що є неприпустимим. Тому прямий пуск на номінальну швидкість не застосовується. Потрібна крива розгону, що формується за допомогою задатчика інтенсивності [9].

На рисунку 3.6 представлено функціональну схему САУ електроприводу при скалярному керуванні.

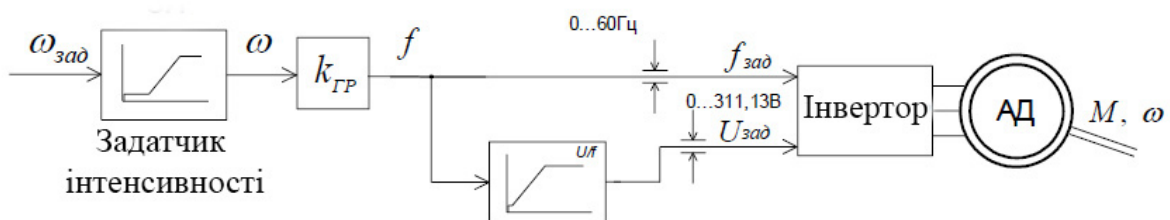


Рисунок 3.6 – Функціональна схема скалярної САК ЕП кондиціонера

ЗІ– задатчик інтенсивності; КГР =  $2 \cdot \pi / 2$  – коефіцієнт перетворення; АД – асинхронний двигун; U/f – блок формування вольт-частотної характеристики



Перехідні процеси пуску на мінімальну швидкість  $\omega_0 = 15,7$  рад/с на холостому ходу з наступним накидом навантаження представлені рисунку 3.8.

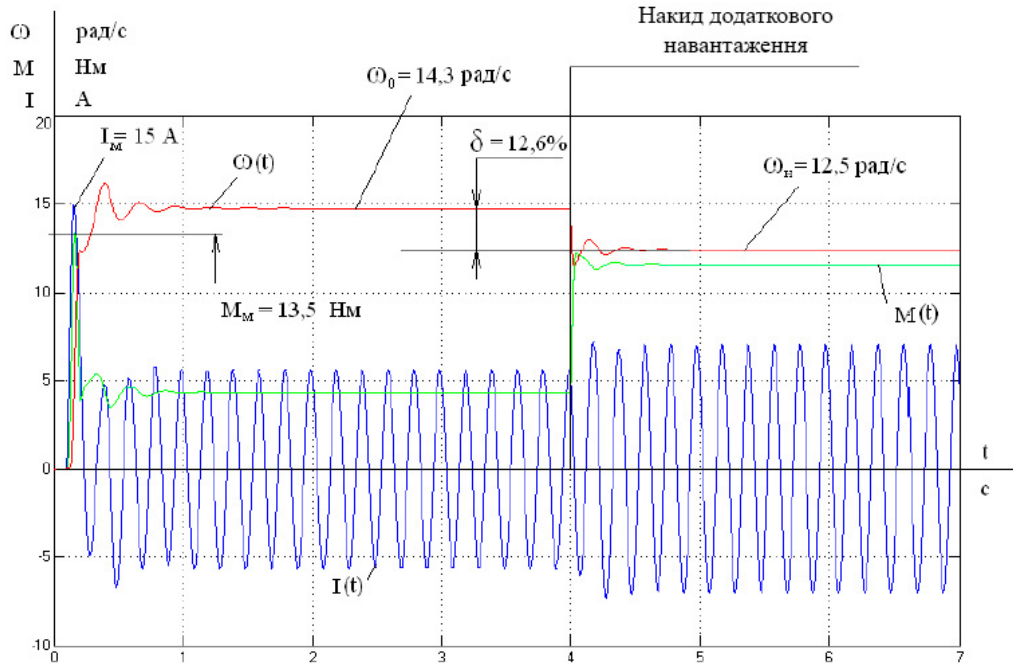


Рисунок 3.8 – Пуск на мінімальну швидкість та накидання навантаження

За графіком рисунка 3.8 видно, що значення пускового струму та моменту не перевищують допустимих значень. Однак, при накиданні додаткового навантаження, що дорівнює  $0,2 \cdot M_n$  швидкість зменшується з  $\omega = 14,3$  рад/с до  $\omega = 12,5$  рад/с, похибка становить  $\delta = 12,6\%$ . Відповідно до технічного Завдання потрібна похибка за швидкістю на нижній характеристиці  $\delta \leq 10\%$ . Зважаючи на припущення, прийняті при складанні математичної моделі, можна зробити висновок, що робота електроприводу на нижня швидкість незадовільна.

Перехідні процеси пуску на максимальну швидкість представлені на рисунку 3.9. Похибка за швидкістю становить  $\delta = 5,2\%$ .

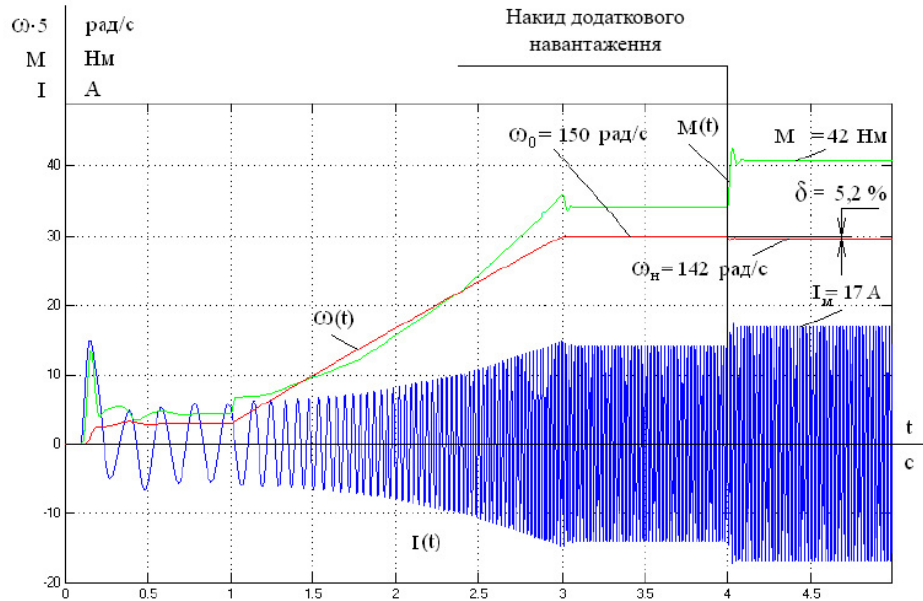


Рисунок 3.9 – Пуск на максимальну швидкість та накидання навантаження

Графік переходу з мінімальної швидкості на максимальну представлений рисунку 3.10.

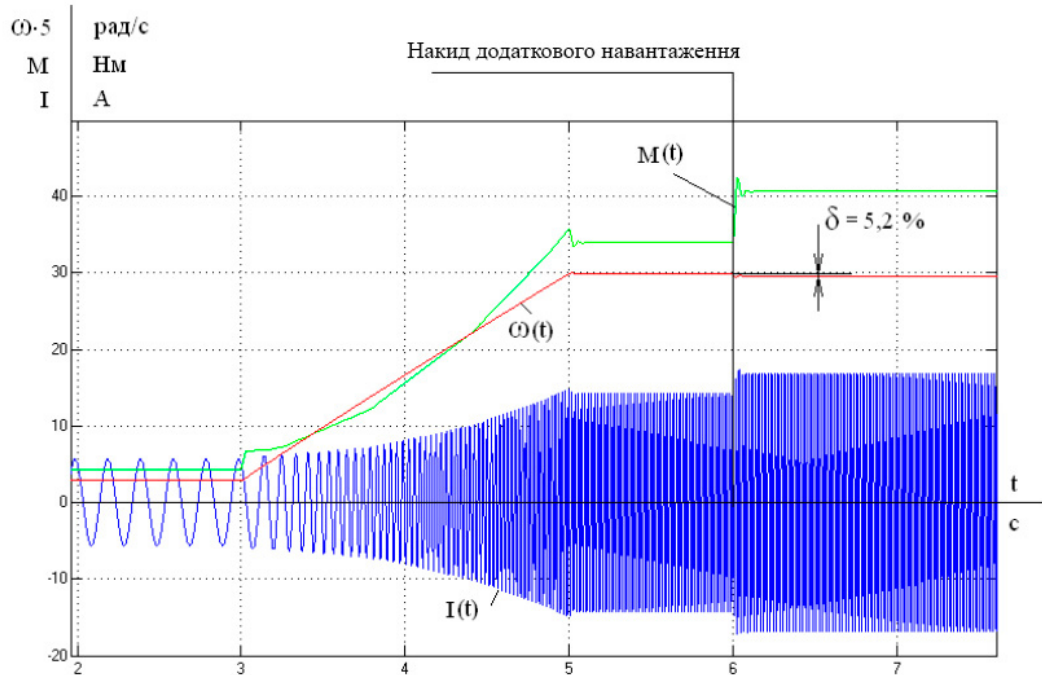


Рисунок 3.10 – Перехід з мінімальної швидкості на максимальну швидкість та накидання навантаження

Перехід електроприводу з мінімальною на максимальну швидкість аналогічний пуску АД на максимальну швидкість.

Графік переходу з максимальної на мінімальну швидкість представлений рисунку 3.11.

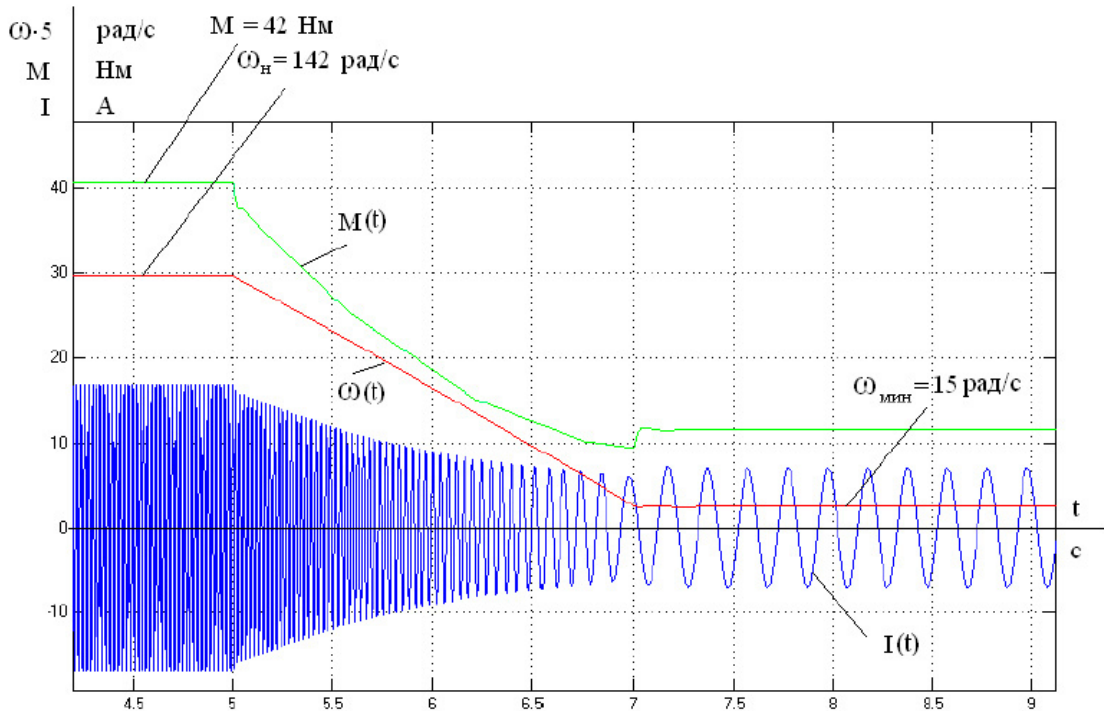


Рисунок 3.11 – Графік переходу з максимальної швидкості на мінімальну швидкість та накидання навантаження

Привід здійснює перехід із максимальною швидкістю на мінімальну за 2 с. Контур додаткового навантаження відбувається в момент часу  $t = 7$  с. У цьому швидкість зменшується з  $\omega = 14,8$  рад/с до  $\omega = 12,4$  рад/с, тобто. на  $\delta \leq 13,9$  %.

Проаналізувавши отримані графіки перехідних процесів, можна сказати, що електропривод не задовольняє вимогам.

Точність підтримки швидкості низька, кидки струмів у деяких випадках неприпустимі. Для усунення цих недоліків вводимо у схему зворотні зв'язку по моменту та ковзанню[13].

### 3.4 Дослідження САК електроприводу при скалярному керуванні з компенсацією моменту та ковзання

#### 3.4.1 Структурна схема САК ЕП при скалярному керуванні компенсацією моменту та ковзання

На рисунку 3.12 представлена функціональна схема САК ЕП при скалярному керуванні з компенсацією моменту та ковзання [12].

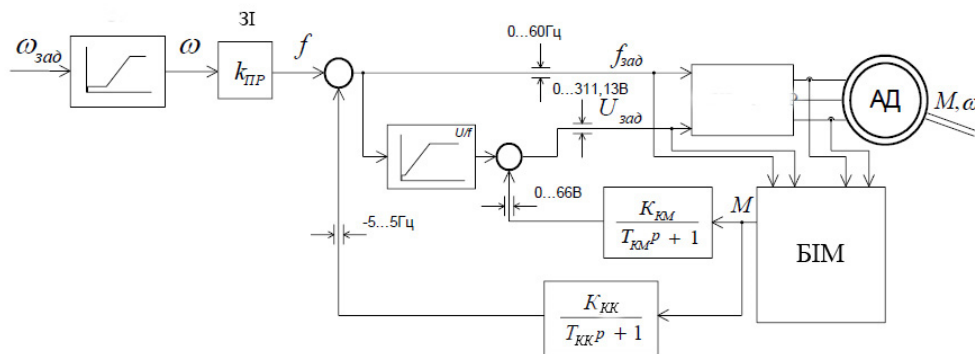


Рисунок 3.12 – Функціональна схема САК ЕП при скалярному керуванні з компенсацією моменту та ковзання

ЗИ – задатчик інтенсивності;  $K_{\text{ПР}} = 2 \cdot \pi / 2$  – коефіцієнт перетворення; БІМ – блок ідентифікації моменту; АД – асинхронний двигун; U/f – блок формування вольт-частотної характеристики

У схемі є два зворотні зв'язки: компенсації моменту та ковзання. Вхідні сигнали на блоки компенсації моменту та швидкості розраховуються блоком ідентифікації моменту (БІМ), де за допомогою математичних перетворень вхідних параметрів (струмів статора, напруги та частоти завдання) обчислюються сигнали корекції частоти та моменту.

#### 3.4.2 Імітаційна модель САК ЕП при скалярному керуванні компенсацією моменту та ковзання

За структурною схемою рисунка 3.13 складено імітаційну модель САУ ЕП, показана рисунку 3.13.

Значення коефіцієнтів передачі ланцюгів компенсації за умови забезпечення стійкості [9]:

$$K_{\text{КС}} = k_{\text{КС}}^* \cdot \frac{S_{\text{НОМ}}}{M_{\text{НОМ}}} = 0,5 \cdot \frac{5}{36,89} = 0,06782 - \text{коефіцієнт компенсації}$$

ковзання при неповній компенсації ( $k_{\text{КС}}^* = 0,5$ );

$$K_{\text{КМ}} = k_{\text{КМ}}^* \cdot \frac{U_{\text{НОМ}}}{M_{\text{НОМ}}} = 0,2 \cdot \frac{220}{36,89} = 1,1937 - \text{коефіцієнт компенсації моменту}$$

( $k_{\text{КС}}^* = 0,2$ ).

Постійні часу ланцюгів компенсації:

$$T_{\text{КМ}} = T_{\text{КС}} = (3 \div 10) \cdot T_e; \quad (3.12)$$

$$T_{\text{КМ}} = T_{\text{КС}} = 10 \cdot 0,006597 = 0,06597 \text{ с.}$$

де:

$$T_e = \frac{L_e}{R_e}; \quad (3.13)$$

$$T_e = \frac{0,0133}{2,016} = 0,006597 \text{ с.}$$

Обмеження ланцюгів компенсації:

– за частотою –  $-5 \dots 5$  Гц;

– за напругою –  $0 \dots 66$  В.

Характеристика блоку формування навантаження розрахована за емпіричною формулою:

$$M = 0,001344 \cdot \omega^2 - 3,7; \quad (3.14)$$

або:

$$\omega = \sqrt{\frac{M - 3,7}{0,001344}}; \quad (3.15)$$

і представлена в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Параметри блоку формування навантаження

$\omega, \text{рад} / \text{с}$	0	31,1	68,47	110,1	139,9	157,068	170
$M, \text{Н} \cdot \text{м}$	3,7	5	10	20	30	36,86	42

Таблиця 3.2 – Параметри задатчика інтенсивності

$t, c$	0	0,1	0,1	1,0	3,0	5,0	7,0	9,0
$\omega, рад / c$	0	0	15,7	15,7	157,067	157,068	15,7	15,7

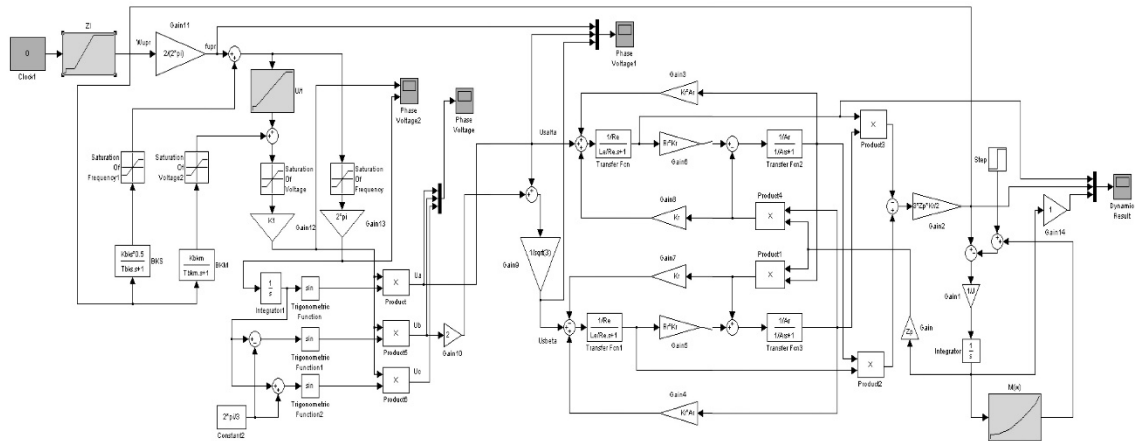


Рисунок 3.13 – Імітаційна модель САК електроприводу при скалярному керуванні з компенсацією моменту та ковзання

### 3.4.3 Імітаційне моделювання САК ЕП при скалярному керуванні з компенсацією моменту та ковзання

За допомогою імітаційної моделі рисунка 3.13 розраховані та побудовані графіки перехідних процесів для чотирьох можливих режимів роботи електроприводу: запуск на мінімальну швидкість, пуск на максимальну швидкість, перехід із мінімальною на максимальну швидкість та перехід із максимальною на мінімальну швидкість [9].

Графік перехідного процесу під час пуску на мінімальну швидкість представлений рисунку 3.14.

За графіком рисунка 3.14 видно, що під час пуску електроприводу під навантаженням встановилася швидкість становить  $\omega = 15,7$  рад/с, що відповідає синхронній, тобто коефіцієнт компенсації моменту підібрано коректно. При накиданні додаткового навантаження, що дорівнює  $0,2 \cdot M_n$ , швидкість зростає з  $\omega = 15,7$  рад/с до  $\omega = 16,2$  рад/с, проте похибка  $\delta = 3\%$  знаходиться у допустимих згідно з технічним завданням межах.



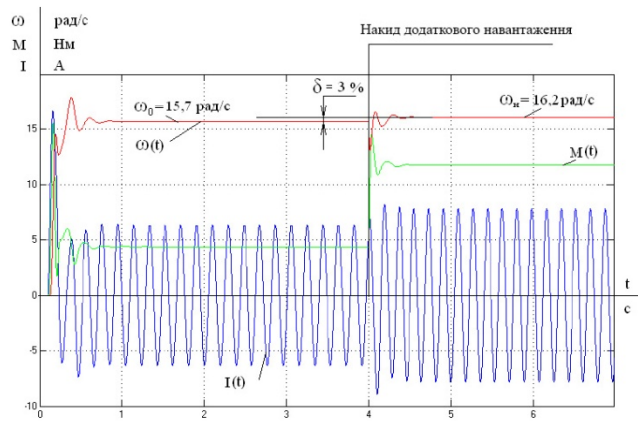


Рисунок 3.14 – Пуск на мінімальну швидкість і накид навантаження компенсації моменту та ковзання

Графік пуску на максимальну швидкість представлений рисунку 3.15.

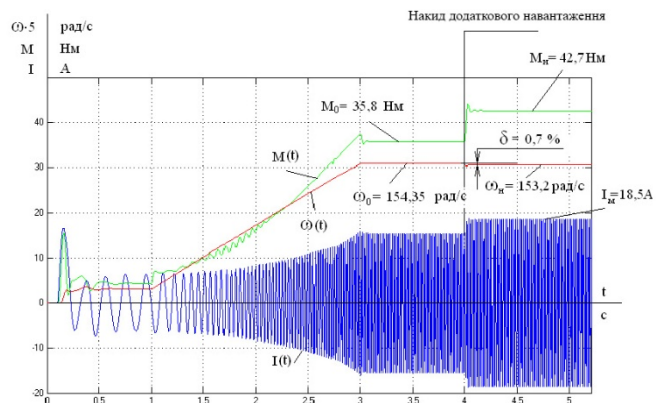


Рисунок 3.15 – Пуск на максимальну швидкість та накидання навантаження при компенсації моменту та ковзання

Похибка підтримки швидкості:

$$\delta = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0} \cdot 100\%; \quad (3.16)$$

$$\delta = \frac{157,1 - 154,35}{157,1} \cdot 100 = 1,7\%.$$

при накиданні додаткового навантаження, що дорівнює  $0,2 \cdot M_n$ , похибка становить  $\delta = 0,7\%$ . Максимальне значення струму  $I_{\text{макс}} = 18,5 \text{ A}$  не перевищує допустимого струму перетворювача.

Графік переходу з мінімальної швидкості на максимальну швидкість представлений рисунку 3.16. Перехід електроприводу з мінімальної швидкості на максимальну швидкість при компенсації моменту і ковзання аналогічний пуску на максимальну швидкість.

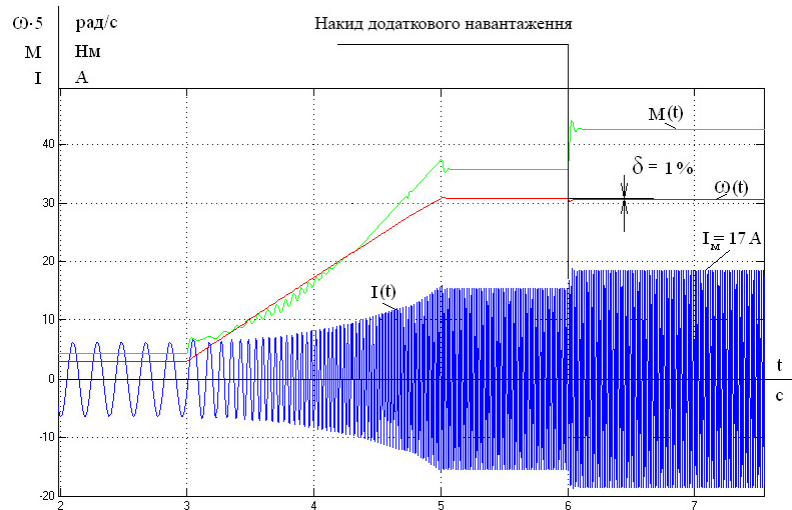


Рисунок 3.16 – Перехід з мінімальної швидкості на максимальну швидкість та накладання навантаження при компенсації моменту та ковзання

Графік переходу з максимальною на малу швидкість представлений рисунку 3.17.

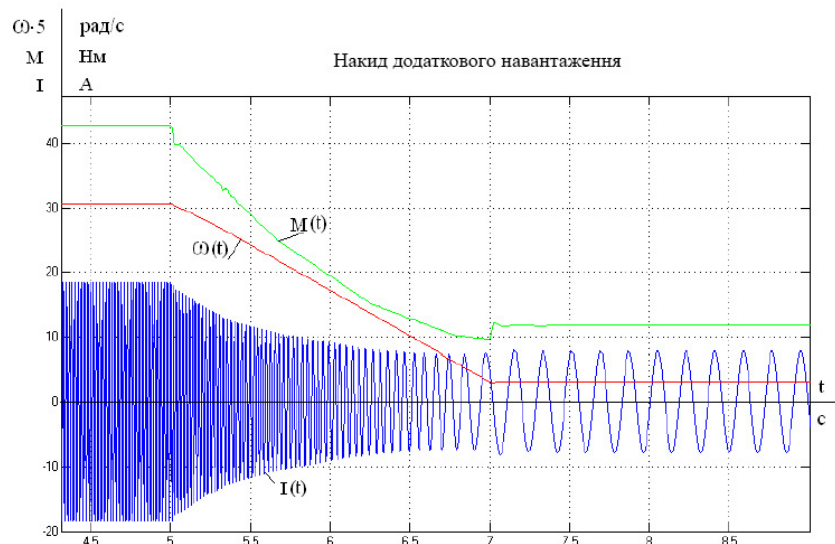


Рисунок 3.17 – Графік переходу з максимальної швидкості на мінімальну при компенсації моменту та ковзання

Привід здійснює перехід з максимальною швидкістю на мінімальну за 2 с, що визначається обраною постійною часом задатчика інтенсивності. Компенсація моменту та ковзання дозволяє забезпечити задану швидкість  $\omega_0 = 15,7$  рад/с. При накиданні додаткового навантаження  $0,2 \cdot M_n$  у момент часу  $t = 7$  с швидкість зростає  $\omega = 15,7$  рад/с до  $\omega = 16,0$  рад/с, похибка становить  $\delta = 2\%$ .

Проаналізувавши отримані графіки перехідних процесів, можна сказати, що розроблений електропривод задовольняє вимог. Використання функцій компенсації моменту та ковзання дозволяє забезпечити точність підтримки швидкості не гірше 3%; Застосування задатчика інтенсивності виключає коливання перехідного процесу та забезпечує заданий темп розгону та гальмування.

### 3.5 Опис системи керування

На рисунку 3.18 показано підключення роз'ємів та їх функціональні можливості контролера RegVent PRO, для яких буде настроєно програматор і оновлення може виконуватися за допомогою роз'єму RS232.

Для зручності використання меню контролера розділено на три рівні доступу. Основні функції доступні будь-якому користувачеві (рівень «Користувач»), а рівні «Службовий» та «Службовий+» дозволяють фахівцям здійснювати налаштування роботи системи під певні умови роботи.

Нижче на рисунку 3.19 наведено інструкцію з підключення з підведеннями контакторів до входів/виходів, а також з можливістю віддаленого керування та оновлення (додавання) функцій контролю та регулювання в автоматизованому середовищі розробки та моніторингу «ounet».

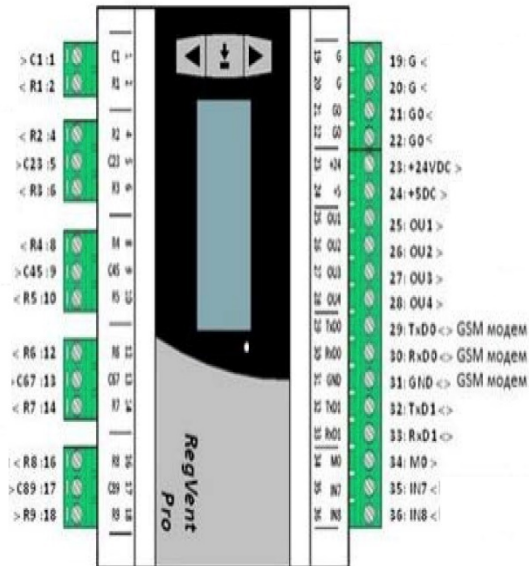


Рисунок 3.18 – Функції роз'ємів контролера RegVent PRO

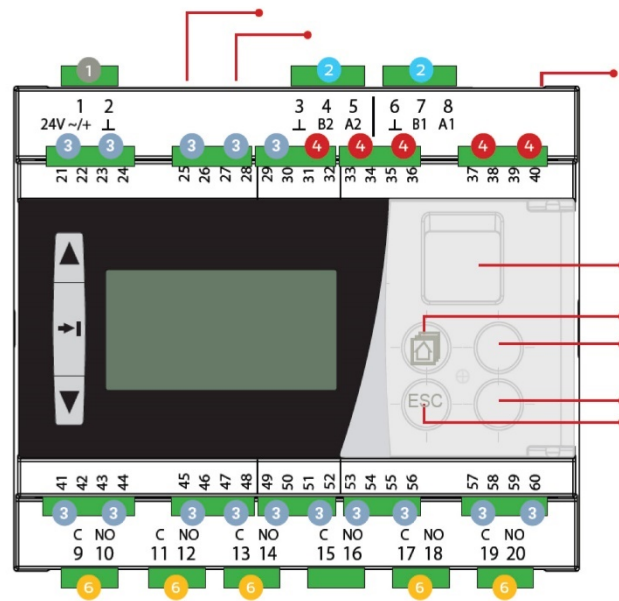


Рисунок 3.19–Інструкція підключення контролера RegVent PRO

## РОЗДІЛ 4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

### 4.1 Техніко-економічне обґрунтування

Основна ідея магістерського дослідження полягає в дослідженні та модернізації електропривода кондиціонера. Було вирішено низку проблем ефективного використання та автоматизації систем кондиціонування ґрунту.

Головною причиною застосування VAV-систем є інтенсивна оптимізація роботи систем кондиціонування, підвищення економічності та ефективності роботи припливних та витяжних установок, що використовуються в будівлі за рахунок особливої програмної узгодженості їх дії, заключним процесом є спрощення та розподіл функціональної роботи з системою вентиляції за допомогою мереж повітря та щитів автоматики.

Важливими параметрами автоматизації та керування ВКВ є такі як:

- швидкість регулювання потоку повітря в каналному повітроводі та роботи пристроїв вентиляторів;
- температура теплообмінників та повітрянагрівачів;
- вологість охолоджувачів та зволожувачів повітря;
- зменшиться кількість ремонтів чи технічних обслуговувань за міжремонтний період;
- зменшиться споживання електричної енергії за рахунок оптимального керування електроприводом;
- подовжиться термін придатності механічних частин кондиціонера за рахунок зниження впливу динамічних навантажень.

### 4.2 Визначення витрат на модернізація електропривода кондиціонера

Для модернізації електропривода кондиціонера закуплені комплектуючі, перелік яких зведений у таблицю 4.1.

Таблиця 4.1 – Перелік необхідних комплектуючих

Найменування	Кількість	Ціна, грн./од.	Загальна ціна, грн.
Електродвигун 112M4У3	1	3800	3800
Перетворювач частоти VLT 2855	1	17600	17600
Контролер PegVENT	1	1000	1000
Усього, грн.			22 400

Таким чином, витрати на придбання комплектуючих для модернізації електропривода кондиціонера дорівнюють:

$$Z_k = 22400 \text{ грн.}$$

Розрахунок заробітної плати з нарахуваннями.

Для встановлення системи необхідно виконати роботи по встановленню, монтажу системи керування, демонтажу старого обладнання, налагодці та пуску системи. Вказані роботи будуть проводити бригада з 2-ми слюсарів 5-го розряду протягом 1-го дня.

Витрати на заробітну плату з нарахуваннями визначимо за формулою:

$$S_{\text{ЗПМ}} = K_{\text{нз}} \cdot \lambda \cdot t \cdot \sum_{i=1}^m C_{\text{ti}} (1 + H); \quad (4.1)$$

де:  $K_{\text{нз}}$  – коефіцієнт, який враховує накладні витрати на заробітну плату,  $K_{\text{нз}} = 1,3$ ;

$\lambda$  – коефіцієнт, який враховує премії,  $\lambda = 1,25$ ;

$t$  – час виконання робіт, год;

$C_{\text{ti}}$  – часова тарифна ставка працівника  $i$ -го розряду.

$H$  – норма нарахування на заробітну плату,  $H = 0,22$ ;

$m$  – кількість робочих, чол.

$$S_{\text{зпм}} = 1,3 \cdot 1,25 \cdot 1 \cdot (37,87 \cdot 2) \cdot (1 + 0,22) = 1201,24 \text{ грн.}$$

Визначення загальної суми витрат на розроблення.

Витрати на модернізацію електропривода кондиціонера як суму витрат на купівлю комплектуючих та витрат на заробітну плату з нарахуваннями робітникам, які проводять модернізацію:

$$Z_M = Z_K + Z_{\text{зпм}}; \quad (4.2)$$

$$Z_M = 22400 + 1201,24 = 23601,24 \text{ грн.}$$

### 4.3 Розрахунок річного фонду роботи кондиціонера

Розрахунок річного фонду часу роботи кондиціонера проведемо за формулою:

$$T_P = \frac{T_{\Phi}}{\frac{1}{t_{\text{см}} \cdot K_{\text{см}}} + D_P}; \quad (4.3)$$

де:  $T_{\Phi}$  – річний фонд робочого часу,  $T_{\Phi} = 251$  днів;

$t_{\text{см}}$  – тривалість зміни в машино-годинах,  $t_{\text{см}} = 8$  годин;

$K_{\text{см}}$  – коефіцієнт змінності роботи устаткування,  $K_{\text{см}} = 2$ ;

$D_P$  – простой в машино-днях у всіх видах технічного обслуговування і ремонту, який приходить на одну машино-годину, визначимо за формулою:

$$D_P = \frac{\sum_{i=1}^n d_{pi} \cdot a_i}{T_{\text{ц}}}; \quad (4.4)$$

де:  $n$  – число різновидів технічних обслуговувань та ремонтів за міжремонтний період;

$d_{pi}$  – тривалість перебування в  $i$ -му ремонті чи технічному обслуговуванні;

$a_i$  – кількість  $i$ -х ремонтів чи технічних обслуговувань за міжремонтний період;

До та після модернізації час міжремонтного циклу складає 8760 годин. До модернізацію електропривода кондиціонера проводилось 5 оглядів впродовж 1,0 години, а після 4 оглядів впродовж 1,0 години. Враховуючи наведене, розраховуємо простой в машино-днях при всіх видах технічного обслуговування до і після модернізації:

$$D_{pl} = \frac{1 \cdot 1 \cdot 5}{8760} = 0,0006 \frac{\text{маш.днів}}{\text{маш.год}};$$

$$D_{pl} = \frac{1 \cdot 1 \cdot 4}{8760} = 0,0005 \frac{\text{маш.днів}}{\text{маш.год}};$$

Тоді річний фонд часу роботи кондиціонера до та після модернізації дорівнюватиме відповідно:

$$T_{pl} = \frac{251}{\frac{1}{8 \cdot 2} + 0,0006} = 3977,81 \text{ год},$$

$$T_{pl} = \frac{251}{\frac{1}{8 \cdot 2} + 0,0005} = 3984,13 \text{ год},$$

#### **4.4 Розрахунок річної експлуатаційної продуктивності кондиціонера**

Річна експлуатаційна продуктивність кондиціонера визначається за формулою:

$$V = V_{\text{Е.Г.П}} \cdot T_{\text{Р}} \cdot K_{\text{ПР}}; \quad (4.5)$$

де:  $V_{\text{Е.Г.П}}$  – годинна експлуатаційна продуктивність, (11000 м<sup>3</sup>/год),

$K_{\text{ПР}}$  – коефіцієнт, що враховує простій, не враховане в годинній експлуатаційній продуктивності.

Після модернізації електропривода кондиціонера зменшиться кількість простоїв обладнання, але продуктивність не зміниться.



Таким чином, до та після модернізації електропривода кондиціонера складає:

$$V_1 = 11000 \cdot 3977,81 \cdot 0,9 = 42443232,70 \text{ м}^3/\text{рік}.$$

Після модернізації:

$$V_2 = 11000 \cdot 3984,13 \cdot 0,9 = 42510667,10 \text{ м}^3/\text{рік}.$$

#### 4.5 Розрахунок поточних річних витрат

Поточні річні експлуатаційні витрати визначаються для удосконалення системи автоматичного керування до та після модернізації.

За процесом кондиціонування спостерігає оператор 5-го розряду, після модернізації електропривода кондиціонера склад не змінився.

Витрати на заробітну плату до та після модернізації складають:

$$S_{ЗП} = 1,3 \cdot 1,25 \cdot 3977,81 \cdot 37,87 \cdot 1 \cdot (1 + 0,22) = 298643,14 \text{ грн.}$$

$$S_{ЗП} = 1,3 \cdot 1,25 \cdot 3984,13 \cdot 37,87 \cdot 1 \cdot (1 + 0,22) = 299117,62 \text{ грн.}$$

Визначення витрат на технічне обслуговування та поточний ремонт кондиціонера.

Витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт кондиціонера визначимо за формулою:

$$S_{ТО} = S_{ТОЗ} + S_{ТОМ}; \quad (4.6)$$

де:  $S_{ТОЗ}$  – витрати на заробітну плату ремонтників з нарахуваннями;

$S_{ТОМ}$  – витрати на матеріали та запасні частини.

Витрати на заробітну плату ремонтних робітників з нарахуваннями визначаються за формулою:

$$S_{ТОЗ} = \frac{T_p}{T_{Ц}} \cdot K_{НЗ} \cdot \lambda \cdot C_p \cdot \sum_{i=1}^m a_{pi} \cdot \tau_{pi} \cdot (1 + H); \quad (4.7)$$

де:  $C_p$  – середня тарифна ставка ремонтного робітника, що обслуговують установку, грн/год;

$a_{pi}$  – кількість техобслуговувань і поточних ремонтів без капітального ремонту;

$ч_{pi}$  – трудомісткість і-го технічного обслуговування та поточного ремонту, до і після  $-ч_{pi} = 6,15$ ;  $ч_{pi} = 5,2$ .

Витрати на матеріали та запасні частини визначаються за формулою:

$$S_{ТОМ} = K_{III} \cdot \frac{S_{ТОЗ} \cdot (1 - H)}{K_{НЗ}} \cdot K_{ЗР}; \quad (4.8)$$

де:  $K_{III}$  – норма накладних розходів за всіма видами витрат, крім заробітної плати,  $K_{III} = 1,1$ ;

$K_{ЗР}$  – коефіцієнт переходу від витрат на заробітну плату до витрат на матеріали та запасні частини,  $K_{ЗР} = 1,25$ .

До модернізації для технічного огляду та поточного ремонту необхідно один слюсар КВПіА п'ятого розряду. Після модернізації їх склад не змінився. Огляд проводиться 5 разів на рік до модернізації та 4 після.

$$S_{ТОЗ1} = \frac{3977,81}{8760} \cdot 1,3 \cdot 1,25 \cdot 1 \cdot 5 \cdot 6,15 \cdot 37,87 \cdot (1 + 0,22) = 1048,32 \text{ грн.}$$

$$S_{ТОЗ2} = \frac{3984,13}{8760} \cdot 1,3 \cdot 1,25 \cdot 1 \cdot 4 \cdot 5,2 \cdot 37,87 \cdot (1 + 0,22) = 710,23 \text{ грн.}$$

Витрати на матеріали та запасні частини до модернізації складають:

$$S_{ТОМ1} = 1,1 \cdot \frac{1048,32 \cdot (1 - 0,22)}{1,3} \cdot 1,25 = 864,86 \text{ грн.}$$

Витрати на матеріали та запасні частини після модернізації:

$$S_{ТОМ2} = 1,1 \cdot \frac{710,23 \cdot (1 - 0,22)}{1,3} \cdot 1,25 = 585,94 \text{ грн.}$$

Таким чином, витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт кондиціонера до модернізації склали:

$$S_{ТО1} = 1048,32 + 864,86 = 1913,18 \text{ грн.}$$

після модернізації:

$$S_{ТО2} = 710,23 + 585,94 = 1296,17 \text{ грн.}$$

Величину витрат на електроенергію визначимо за формулою:

$$S_{\text{ЕЛ}} = K_{\text{П}} \cdot W_{\text{ЕЛ}} \cdot B_{\text{ЕЛ}} \cdot T_{\text{Р}}; \quad (4.9)$$

де:  $B_{\text{ЕЛ}}$  – ціна 1 кВт/год електроенергії – 5,5 грн;

$W_{\text{ЕЛ}}$  – витрата за годину енергії, кВт/год.

Система кондиюнування до модернізації споживалаб кВт/год, після модернізації електропривода кондиюнера споживання знизилось до 5,5 кВт/год, а використання ПЧ знизить споживання ще на 10%.

Виходячи з цього витрати на електроенергію до модернізації склали:

$$S_{\text{ЕЛ1}} = 1,1 \cdot 6 \cdot 5,5 \cdot 3977,81 = 144394,50 \text{ грн.}$$

після модернізації:

$$S_{\text{ЕЛ2}} = 1,1 \cdot 5,5 \cdot 0,9 \cdot 5,5 \cdot 3984,13 = 119314,73 \text{ грн.}$$

Розрахунок суми річних витрат на експлуатацію кондиюнера зведений у таблицю 4.2.

Таблиця 4.2 – Сума річних витрат на експлуатацію

Найменування статті витрат	Величина витрат	
	До впровадження САК, грн.	Після впровадження САК, грн.
Зарплата з нарахуваннями	298643,14	299117,62
ТО та поточний ремонт	1913,18	1296,17
Електроенергія	144394,50	119314,73
<b>Разом</b>	<b>444950,82</b>	<b>419728,52</b>

#### 4.6 Розрахунок вартості машино–години роботи кондиюнера

Розрахунок вартості машино–годин розраховуємо за формулою:

$$S_{\text{МГ}} = \frac{S}{T_{\text{Р}}}; \quad (4.10)$$

До модернізації вартість однієї машино-години складала:

$$S_{\text{МГ1}} = \frac{444950,82}{3977,81} = 111,85 \text{ грн. / год}$$

Після модернізації вартість однієї машино-години змінилась і складає:

$$S_{\text{МГ2}} = \frac{419728,52}{3984,13} = 105,35 \text{ грн. / год}$$

#### 4.7 Розрахунок вартості технологічної операції на одиницю продукції

Вартість технологічної операції визначається за формулою:

$$S_{\text{П}} = \frac{S}{B}; \quad (4.11)$$

До модернізації вартість складала:

$$S_{\text{П1}} = \frac{444950,82}{42443232,70} = 0,0105 \text{ грн. / м}^3$$

Після модернізації вартість складає:

$$S_{\text{П2}} = \frac{419728,52}{42510667,10} = 0,0099 \text{ грн. / м}^3$$

#### 4.8 Розрахунок економічного ефекту від проведення модернізації

Річний економічний ефект від проведення модернізації визначається за формулою:

$$E = (S_{\text{П1}} - S_{\text{П2}}) \cdot B; \quad (4.12)$$

$$E = (0,0105 - 0,0099) \cdot 42510667,10 = 25506,40 \text{ грн / рік.}$$

Термін окупності витрат по модернізації розраховуємо за формулою:

$$T = \frac{Z_{\text{М}}}{E}; \quad (4.13)$$

$$T = \frac{23601,24}{25506,40} = 0,93 \text{ років} \approx 11 \text{ місяців.}$$

Отже, термін окупності приблизно 11 місяців.

Таблиця 4.3 – Техніко-економічні показники дослідження та модернізації електропривода кондиціонера

Показники	Одиниці виміру	Значення		
		до модернізації	після модернізації	абсолютне відхилення
1. Капітальні витрати на модернізацію	грн.	x	23601,24	x
2. Річний фонд часу роботи	год.	3977,81	3984,13	-6,32
3. Річна експлуатаційна продуктивність	м <sup>3</sup>	42443232,70	42510667,10	-67434,40
4. Річні експлуатаційні витрати, усього:	грн.	444950,82	419728,52	25222,30
у тому числі:				
витрати на оплату праці	грн.	298643,14	299117,62	-474,48
витрати на ТО та ТР	грн.	1913,18	1296,17	+617,01
витрати на електроенергію	грн.	144394,50	119314,73	+25079,77
5. Вартість однієї машино-години роботи	грн./год.	111,86	105,35	+6,51
6. Вартість технологічної операції	грн./ м <sup>3</sup>	0,0105	0,0099	0,0006
7. Річний економічний ефект	грн.	x	25506,40	x
8. Строк окупності капітальних вкладень	місяців	x	11	x

#### Висновки за розділом

1. Витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт електрообладнання зменшились на 32,25 %.
2. Витрати на електроенергію електропривода зменшились на 17,37%.
3. Вартість машино-години роботи електропривода зменшились на 5,82%.
4. Вартість технічної операції для одиниці продукції після модернізації знизилась на 5,71%.
5. Економічна ефективність від проведеної модернізації електропривода склала 25506,40 грн.
6. Строк окупності витрат складає 11 місяців.

## ВИСНОВКИ

Підсумовуючі результати дослідження, що були проведені у магістерській роботі зазначимо, що було виконано автоматизацію системи кондиціонування повітря цеху, для яких підібрані пристрої керування, регулювання.

У роботі використані припливно-витяжні системи вентиляції та прямоточні центральні кондиціонери зі змінною витратою повітря (VAV), а також було вирішено низку проблем ефективного використання та автоматизації систем вентиляції та кондиціонування промислових приміщень.

Основною перевагою застосування VAV-систем є інтенсивна оптимізація роботи систем кондиціонування, підвищення економічності та ефективності роботи припливних та витяжних установок, що використовуються в будівлі за рахунок особливої програмної узгодженості їх дії. Заключним процесом є спрощення та розподіл функціональної роботи з системою вентиляції за допомогою мереж повітря та щитів автоматики.

Важливими параметрами автоматизації та керування визначено швидкість регулювання потоку повітря в каналному повітроводі та роботи пристроїв вентиляторів, температуру теплообмінників та повітрянагрівачів, вологість охолоджувачів та зволожувачів повітря.

У ході роботи проведено розрахунок параметрів електродвигуна кондиціонера, вибрано перетворювач частоти, вимірювальний перетворювач тиску, конвертер інтерфейсу для забезпечення зв'язку між пристроями з різними інтерфейсами. Розроблено функціональну, структурну схеми системи автоматичного регулювання. У програмному середовищі MathCad розраховані статичні механічні та електромеханічні характеристики системи перетворювач частоти-асинхронний двигун. Для дослідження перехідних процесів у програмі Simulink пакету MatLab створено імітаційні моделі

САКЕП кондиціонера при скалярному керування, отримано графіки перехідних процесів при роботі електроприводу в основних режимах роботи.

Як показали результати розрахунку статичних характеристик та аналіз перехідних процесів, для забезпечення якісних показників електроприводу, що відповідають вимогам технологічного процесу, достатньо використовувати скалярне керування перетворювачем при законі керування  $U/f=\text{const}$  із компенсацією моменту та ковзання. При цьому забезпечується необхідний діапазон регулювання 1:10, необхідна точність підтримки швидкості не гірше 3%, що відповідає технічним завданням, час регулювання визначається постійною часу задатчика інтенсивності.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Галай В. М. Теорія оптимальних систем автоматичного керування технологічними процесами: (Зеленський К. Х., Сільвестров А. М.) навчальний посібник з грифом МОН–Полтава: – ПолтНТУ, –2009. – 153 с.
2. Галай В.М. Автоматизація комплексу технологічних процесів кварцового заводу: монографія: Полтава, ПолтНТУ, – 2009. – 310 с.
3. Галай В.М. Теорія цифрових систем автоматичного керування: навчальний посібник: Полтава, ПолтНТУ, 2009. – 131 с.
4. Голуб А. П. Системи керування електроприводами : навч. посібник / А. П. Голуб, Б. І. Кузнецов, І. О. Опришко, В. П. Соляник. – К. : НМК ВО, 1992. – 352 с.
5. Моделювання електромеханічних систем: Підручник / Чорний О.П., Луговой А.В., Родькін Д.Й., Сисюк Г.Ю., Садовой О.В. – Кременчук, 2001. – 410 с.
6. Моделювання електромеханічних систем. Математичне моделювання систем асинхронного електроприводу: навчальний посібник / О. І. Толочко. – Київ, НТУУ «КПІ», 2016.
7. Моделювання електромеханічних систем: підручник / Чорний О.П., Луговой А.В., Родькін Д.Й., Сисюк Г.Ю., Садовой О.В. – Кременчук, 2001. – 376 с.
8. Півняк Г. Г. Сучасні частотно-регульовані асинхронні електроприводи з широтноімпульсною модуляцією: монографія / Г.Г. Півняк, О.В. Волков. – Дніпропетровськ : Національний гірничий університет, 2006. – 470 с.
9. Плахтина О.Г. та ін. Частотно-керовані асинхронні та синхронні електроприводи: Навч. посібник / О.Г. Плахтина, С.С. Мазепа, А.С. Куцик. – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2002. – 228 с.



10. Системи опалення, вентиляції і кондиціонування повітря будівель [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студентів спеціальності 144 «Теплоенергетика» / М.Ф.Боженко ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 36,087 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 380 с.

11. Толочко О.І. Методичний посібник до самостійної роботи з дисципліни „Моделювання електромеханічних систем”/ О.І. Толочко, Г.С. Чекавський, О.І. Песковатська, П.І. Розкаряка – Донецьк: ДонНТУ, 2006. – 96 с.

12. Шульга О. В. Навчальний посібник із грифом МОН «Автоматизоване керування електроприводами» з дисципліни «Системи керування електроприводами» для студентів вищих навчальних закладів: – Полтава: ПолтНТУ, – 2007. – 352 с.

Міністерство освіти та науки України  
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»  
Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій

## **Дослідження та модернізація електропривода кондиціонера**

### **Кваліфікаційна робота магістра**

Виконав:

Студент 601МЕ групи

Керівник:

Д.Т.Н, доцент

Гавриш В.О.

Бороздін М.К.

Полтава 2021

**Метою** магістерської роботи є дослідження та модернізація електропривода кондиціонера.

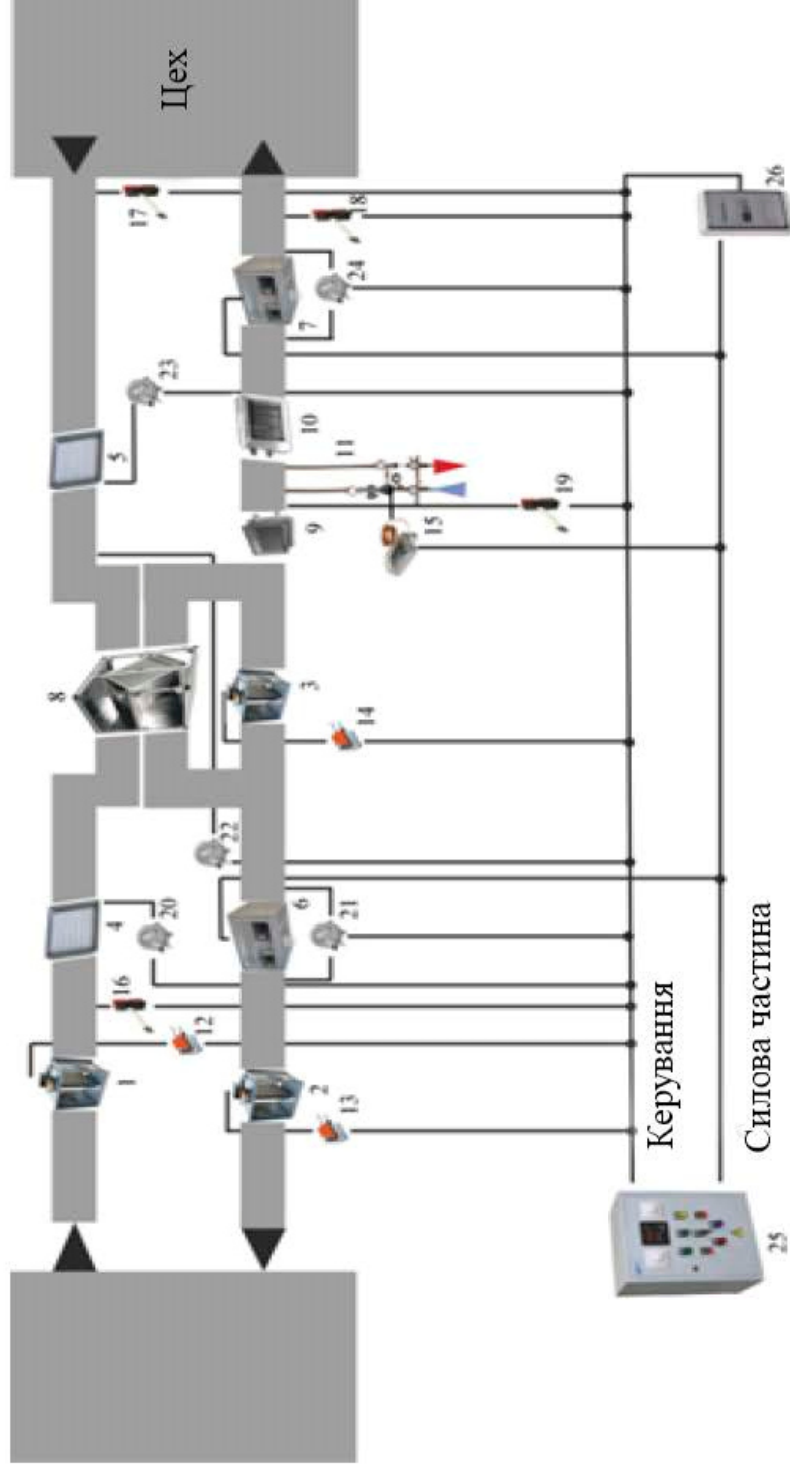
Для досягнення поставленої мети необхідно виконати наступні завдання:

- дослідити цех як об'єкт керування;
- визначити потужність двигуна;
- дослідити електропривод у статичному режимі;
- вивести датчик та виконавчі механізми;
- виконати оптимізацію системи автоматичного керування електропривода кондиціонера;
- дослідити систему автоматичного керування електроприводу при скалярному керуванні з компенсацією моменту та ковзання.

**Об'єктом** магістерської роботи є системи кондиціонування робочих приміщень цеху.

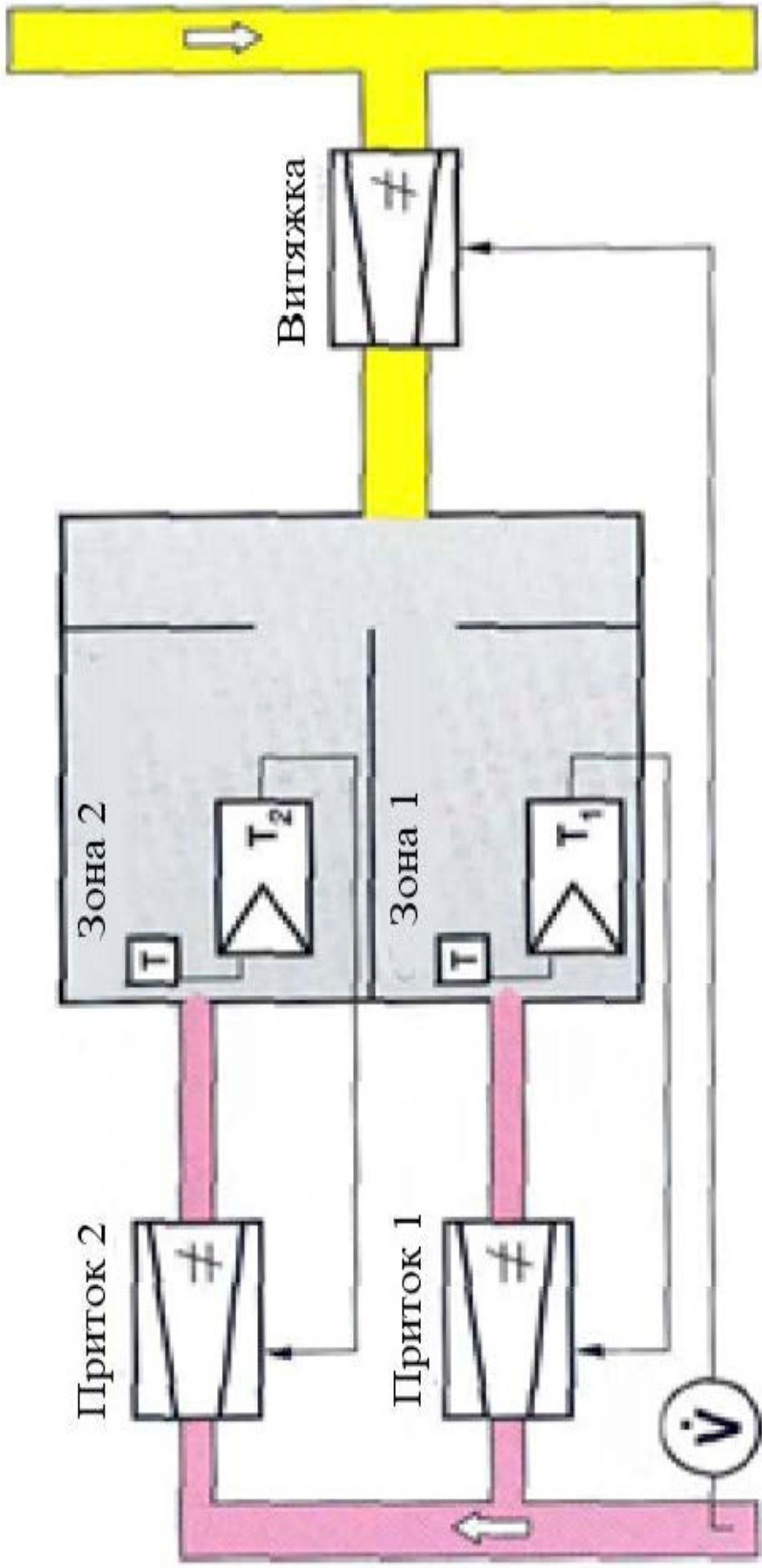
**Предметом** магістерської роботи є модернізація електропривода кондиціонування повітря.

Структурна схема автоматизації систем вентиляції та кондиціонування повітря цеху

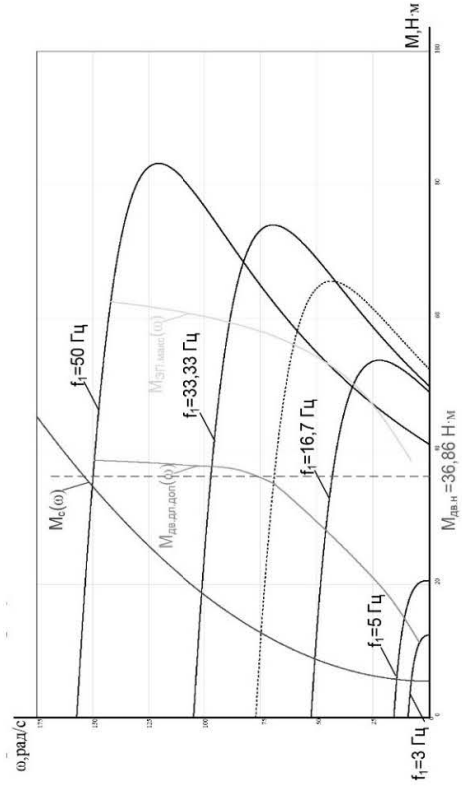


1–3 – заслінки з електроприводом; 4, 5 – фільтри для очищення повітря; 6, 7 – припливний та витяжний вентилятори; 8 – пластинчастий рекуператор (теплообмінник); 9 – водяний повітронагрівач; 10 – водяний охолоджувач або зволожувач; 11 – змішувальний вузол (подача гарячої та холодної води за допомогою насоса води); 12–14 – електроприводи заслінок потоку повітря; 15 – циркуляційний насос із датчиком зворотної води; 16–19 – температурний датчик припливного та витяжного повітря; 20–24 – диференціальне реле тиску (контроль роботи вентиляторів, контроль обмерзання рекуператора, контроль засмічення фільтрів); 25 – автоматизований щит керування; 26 – контролер систем вентиляції та кондиціонування.

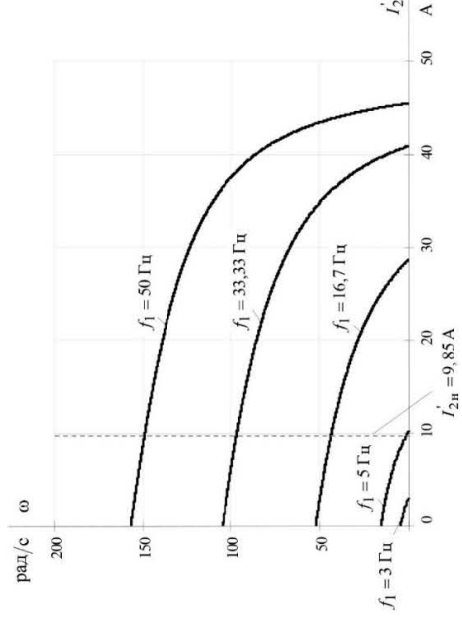
Схема VAV з паралельним регулюванням припливу та витяжки



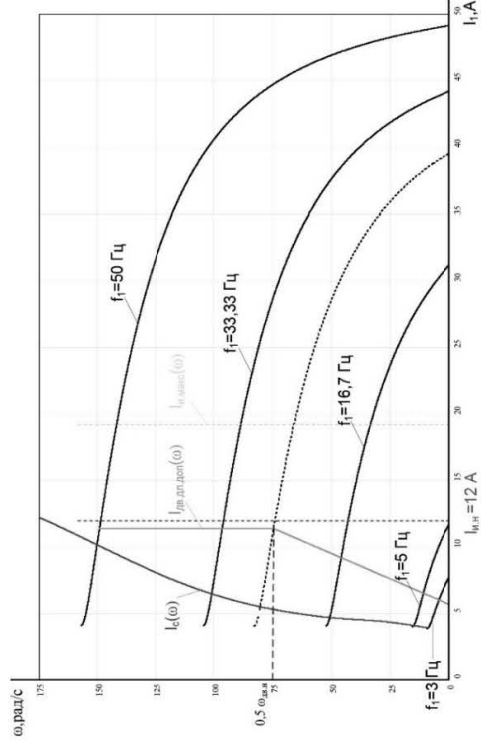
Дослідження статичного режиму роботи електропривода кондиціонера



Механічні характеристики розімкнутої системи перетворювач частоти – асинхронний двигун

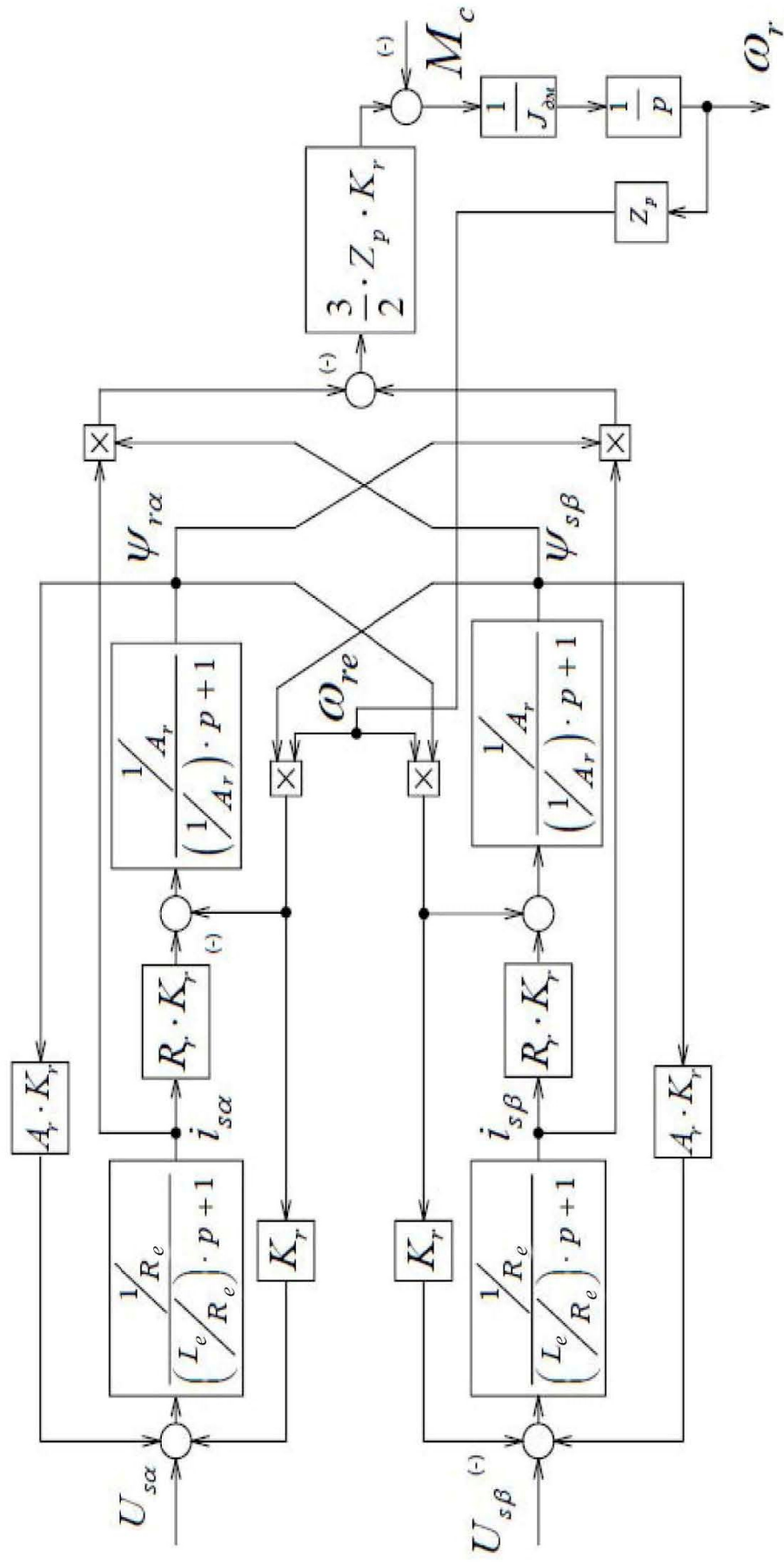


Електро механічні характеристики  $\Gamma_2(s)$  розімкнутої системи перетворювач частоти-асинхронний двигун

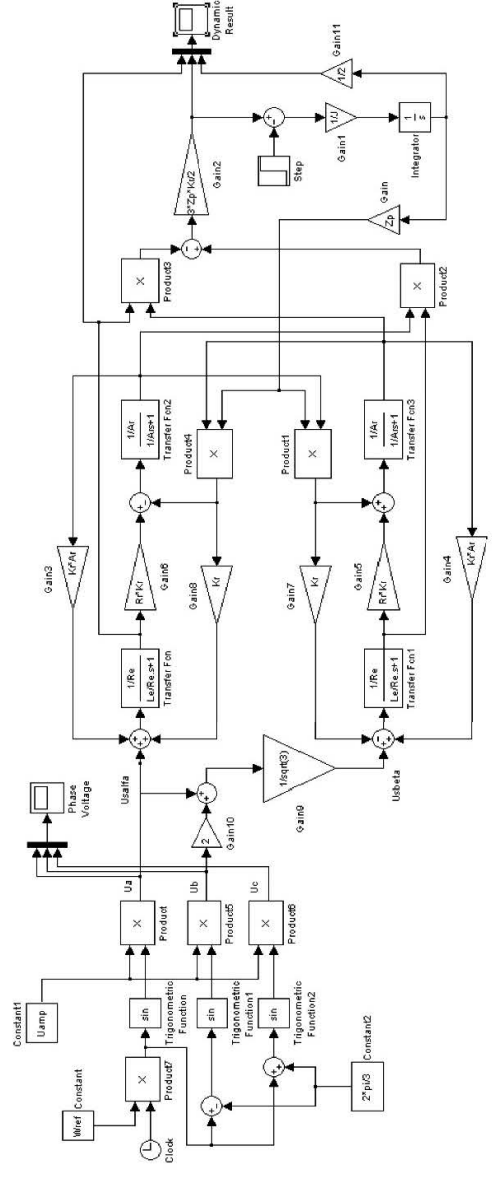


Електро механічні характеристики  $\Gamma_1(s)$  розімкнутої системи перетворювач частоти – асинхронний двигун

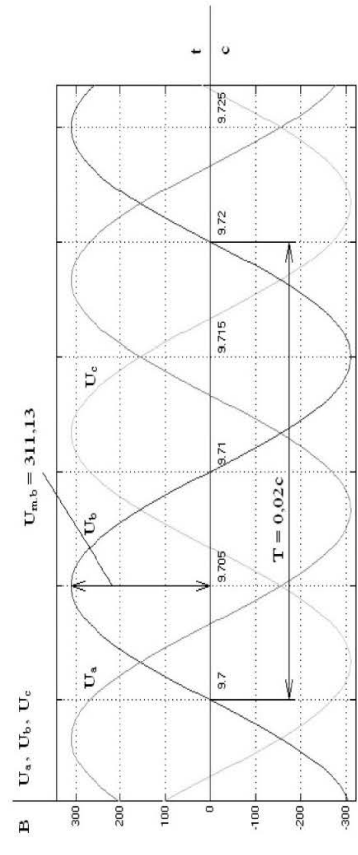
Структурна схема асинхронного двигуна



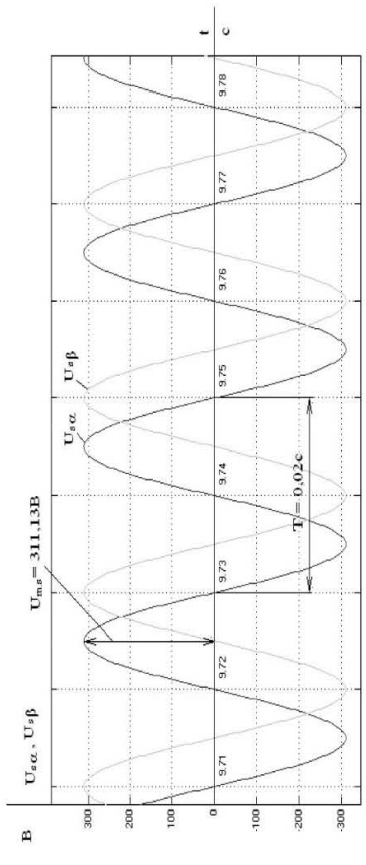
# Перевірка адекватності імітаційної моделі АД



## Імітаційна модель асинхронного двигуна серії 4A112M4УЗ



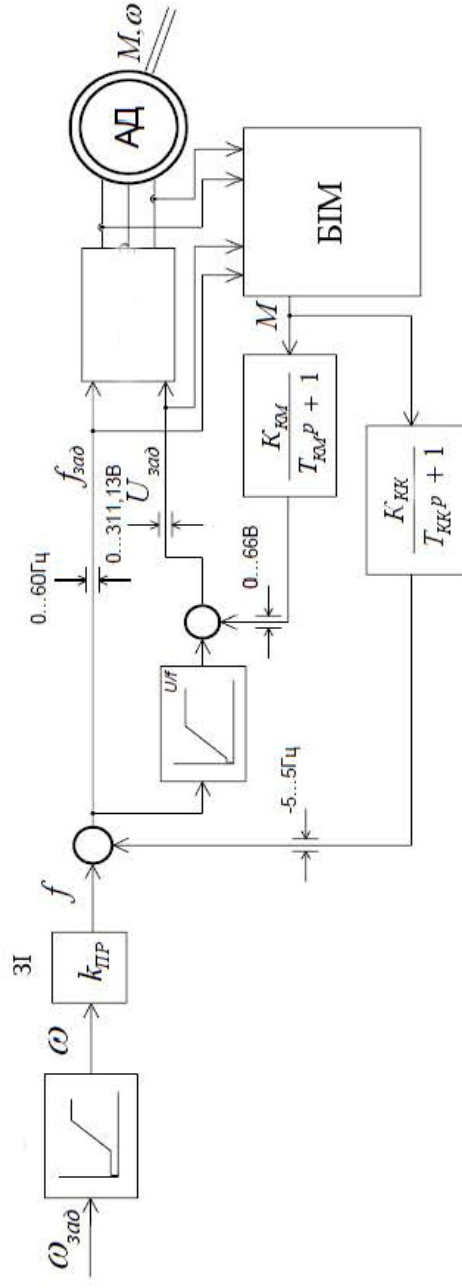
Осцилограма напруг трифазної мережі живлення



Осцилограма двофазної мережі живлення

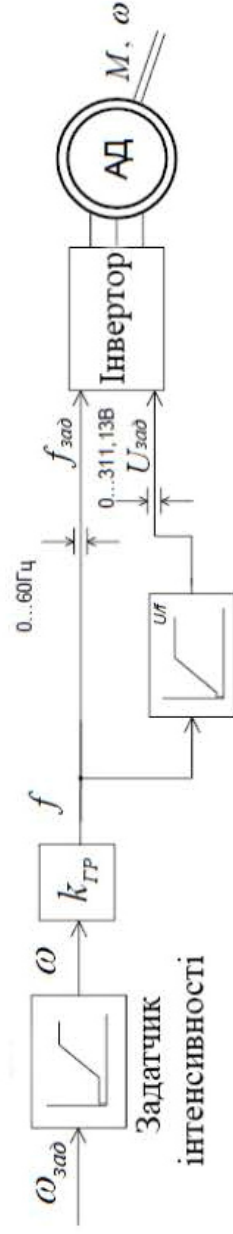


### Функциональные схемы САК ЕП кондиционера



Функциональная схема САК ЕП при скалярному керуванні з компенсацією моменту та ковзання

З1 – задатчик інтенсивності; КГПР =  $2 \cdot \pi / 2$  – коефіцієнт перетворення; БВМ – блок ідентифікації моменту; АД – асинхронний двигун; U/f – блок формування вольт-частотної характеристики



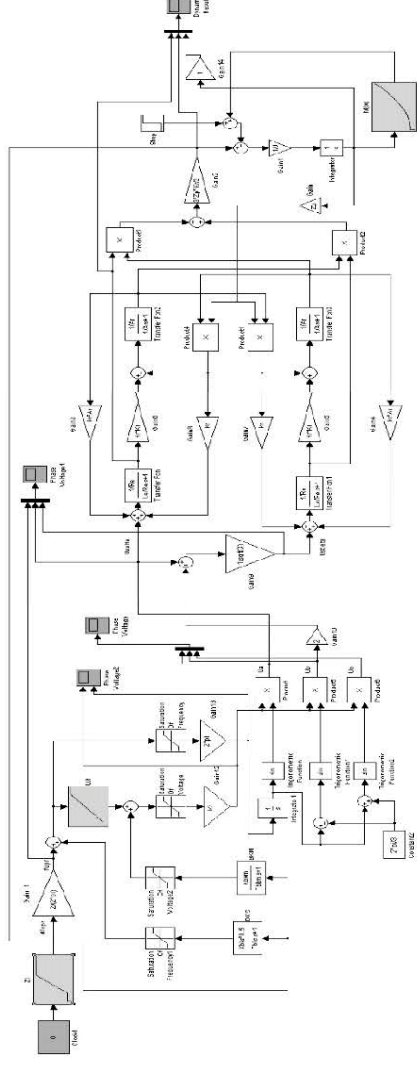
Функциональная схема скалярной САК ЕП кондиционера

З1 – задатчик інтенсивності; КГПР =  $2 \cdot \pi / 2$  – коефіцієнт перетворення; АД – асинхронний двигун;

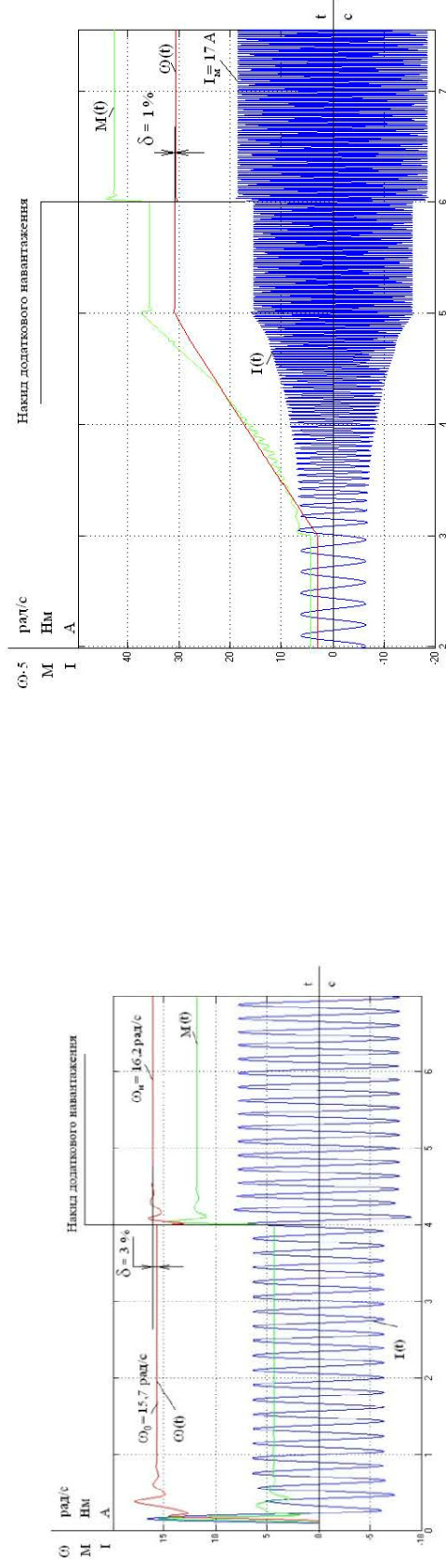
U/f – блок формування вольт-частотної характеристики



Дослідження САК електроприводу при скалярному керуванні з компенсацією моменту та ковзання



Імітаційна модель САК електроприводу при скалярному керуванні з компенсацією моменту та ковзання



Пуск на мінімальну швидкість і накиданні навантаження компенсації моменту та ковзання

Пуск на максимальну швидкість та накидання навантаження при компенсації моменту та ковзання

Таблиця техніко-економічних показників

Показники	Одиниці виміру	Значення		
		до модернізації	після модернізації	абсолютне відхилення
1. Капітальні витрати на модернізацію	грн.	x	23601,24	x
2. Річний фонд часу роботи	год.	3977,81	3984,13	-6,32
3. Річна експлуатаційна продуктивність	м <sup>3</sup>	42443232,70	42510667,10	-67434,40
4. Річні експлуатаційні витрати, усього:	грн.	444950,82	419728,52	25222,30
у тому числі:				
витрати на оплату праці	грн.	298643,14	299117,62	-474,48
витрати на ТО та ТР	грн.	1913,18	1296,17	+617,01
витрати на електроенергію	грн.	144394,50	119314,73	+25079,77
5. Вартість однієї машино-години роботи	грн./год.	111,86	105,35	+6,51
6. Вартість технологічної операції	грн./м <sup>3</sup>	0,0105	0,0099	0,0006
7. Річний економічний ефект	грн.	x	25506,40	x
8. Строк окупності капітальних вкладень	місяців	x	11	x

Дякую за увагу!