

Міністерство освіти і науки України

Запорізький національний університет

Інженерний інститут

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет енергетики, електроніки та інформаційних технологій

(повна назва факультету)

Кафедра електротехніки та енергоефективності

(повна назва кафедри)

## Пояснювальна записка

до магістерської роботи

рівень вищої освіти другий (магістерський) рівень

на тему Аналіз можливості скорочення обсягів споживання  
електричної енергії обладнанням цеху №1 ПрАТ «Запоріжвогнетрив»

Виконав: студент 2 курсу, групи ЕТ-18-1мд

Фесенко Д.О.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

спеціальності

141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(шифр і назва)

спеціалізація

(шифр і назва)

освітньо-професійна програма

141.00.11 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(шифр і назва)

Керівник

Артемчук В.В.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Запоріжжя - 2020 року

Запорізький національний університет

Інженерний інститут

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет	енергетики, електроніки та інформаційних технологій (повна назва факультету)
Кафедра	електротехніки та енергоефективності (повна назва кафедри)
Рівень вищої освіти	другий (магістерський) рівень (повна назва кафедри)
Спеціальність	141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка (шифр і назва)
Спеціалізація	 (шифр і назва)
Освітньо-професійна програма	141.00.11 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка (шифр і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

В. о. завідувача кафедри

д.т.н., професор \_\_\_\_\_ В.В. Артемчук

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2020 року

**1 ЗАВДАННЯ  
НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Фесенку Денису Олексійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема магістерської роботи Аналіз можливості скорочення обсягів споживання електричної енергії обладнанням цеху №1 ПрАТ «Запоріжвогнетрив»

керівник магістерської роботи Артемчук В. В., д.т.н., професор  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «10» 09 2019 року № 1536-С

2. Строк подання студентом магістерської роботи 27 грудня 2019 року.

3. Вихідні дані магістерської роботи Потужність витяжного вентилятора сушільного барабану, дані про об'єми споживання електричної енергії цехом №1;

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ. 1) Характеристика ПрАТ «Запоріжвогнетрив»; 2) Розробка схеми перетворювача; 3) Розробка системи керування перетворювачем; 4) Аналіз перехідних процесів при пуску електропривода за допомогою комп'ютерної моделі

5) Економічний ефект від впровадження енергозберігаючих заходів; 6) Охорона праці та технологічна безпека. Висновки. Додатки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1) Титульна сторінка; 2) Основні завдання магістерської роботи; 3) Розподіл енергоспоживання підприємством ПрАТ «Запоріжвогнетрив»; 4) Розподіл електроспоживання цехами підприємства; 5) Розподіл електроспоживання обладнанням шамотного цеху №1

6) Схема перетворювача частоти; 7) Комп'ютерна модель системи ПЧ - АД витяжного вентилятора (димососа); 8) Перехідні процеси при пуску АД; 9) Висновки

#### 6. Консультанти розділів магістерської роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата
		завдання прийняв
Розділ 1	Артемчук В. В., професор	
Розділ 2	Артемчук В. В., професор	
Розділ 3	Артемчук В. В., професор	
Розділ 4	Артемчук В. В., професор	
Розділ 5	Артемчук В. В., професор	
Розділ 6	Артемчук В. В., професор	
Нормоконтроль	Артемчук В. В., професор	

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

#### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів магістерської роботи	Примітка
1	Характеристика ПрАТ «Запоріжвогнетрив»		
2	Розробка схеми перетворювача		
3	Розробка системи керування перетворювачем		
4	Аналіз перехідних процесів при пуску електропривода за допомогою комп'ютерної моделі		
5	Економічний ефект від впровадження енергозберігаючих заходів		
6	Охорона праці та техногенна безпека.		

Студент \_\_\_\_\_

(підпис)

Фесенко Д.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник магістерської роботи \_\_\_\_\_

(підпис)

Артемчук В.В.

(прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Фесенко Д.О. Дослідження можливості скорочення обсягів споживання електричної енергії обладнанням цеху №1 ПАТ «Запоріжвогнетрив».

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, науковий керівник В.В. Артемчук Запорізький національний університет. Інженерний інститут. Факультет енергетики, електроніки та інформаційних технологій. Кафедра електротехніки та енергоефективності, 2020.

Виконано аналіз статистичних даних споживання електричної енергії обладнанням цеху №1. Одним із основних шляхів скорочення обсягів споживання електричної енергії обладнанням підприємства є модернізація електрообладнання сушарок (сушильних барабанів). Запропоновано та розраховано перетворювач частоти та система керування перетворювачем. Розроблена та реалізована комп'ютерна модель системи керування електропривода сушарки з моделюванням перехідних процесів пуску системи перетворювач частоти асинхронний двигун димососа.

Ключові слова: ШАМОТНИЙ ЦЕХ, БАРАБАННА СУШАРКА, ВИТЯЖНИЙ ВЕНТИЛЯТОР, ЧАСТОТНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ, ЧАСТОТНО-РЕГУЛЬОВАНИЙ ПРИВОД, ЕКОНОМІЧНИЙ ЕФЕКТ.

## ABSTRACT

Fesenko D.O. The Analysis of the Possibility of Reducing the Amount of Electricity Consumption by the Workshop №1 Equipment of PrJSC “Zaporizhvognetryv”.

Qualifying final work for obtaining a master's degree in specialty 141 – Power engineering, electrical engineering and electromechanics, scientific supervisor V.V. Artemchuk. Zaporizhzhia National University. Engineering institute. Faculty of Energy, Electronics and Information Technologies. Electrical Engineering and Energy Efficiency Department, 2020.

The analysis of statistics of electricity consumption by equipment of shop # 1 was performed. One of the main ways to reduce the amount of electricity consumed by the equipment of the enterprise is to modernize the electrical equipment of dryers (tumble dryers). Frequency converter and converter control system are proposed and calculated. A computer model of the drier control system with simulation of transient start-ups of the system is developed and implemented as a frequency induction induction motor of the smoke pump.

Keywords: CHAMBROTHER FACTORY, DRUM DRYER, EXHAUST FAN, FREQUENCY CONVERTER, FREQUENCY-REGULATED DRIVE, ECONOMIC EFFECT.

#### АННОТАЦИЯ

Фесенко Д.А. Анализ возможности сокращения объёмов потребления электрической энергии оборудованием цеха №1 ЧАО «Запорожогнетрив».

Квалификационная выпускная работа для получения степени высшего образования магистра по специальности 141 – Электроэнергетика, электротехника и электромеханика, научный руководитель В.В. Артемчук. Запорожский национальный университет. Инженерный институт. Факультет энергетики, электроники и информационных технологий. Кафедра электротехники и энергоэффективности, 2020.

Выполнен анализ статистических данных потребления электрической энергии оборудованием цеха №1. Одним из основных путей сокращения объёмов потребления электрической энергии оборудованием предприятия является модернизация электрооборудования сушилок (сушильных барабанов). Предложен и рассчитан преобразователь частоты и система управления преобразователем. Разработана и реализована компьютерная модель системы управления электропривода сушилки с моделированием переходных процессов пуска системы преобразователь частоты асинхронный двигатель дымососа.

Ключевые слова: ШАМОТНЫЙ ЦЕХ, БАРАБАННАЯ СУШИЛКА, ВЫТЯЖНОЙ ВЕНТИЛЯТОР, ЧАСТОТНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ, ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРОВАННЫЙ ПРИВОД, ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ.

## ЗМІСТ

Вступ.....	7
1 Характеристика ПрАТ «Запоріжвогнетрив».....	9
1.1 Загальні відомості про ПрАТ «Запоріжвогнетрив».....	9
1.2 Продукція шамотного цеху та технологія її виробництва .....	12
1.3 Аналіз споживання енергоресурсів підприємством .....	17
1.4 Аналіз технологічного обладнання цеху.....	22
2 Розробка схеми перетворювача.....	26
2.1 Вибір схеми перетворювача.....	26
2.2 Розрахунок і вибір елементів схеми перетворювача частоти.....	31
3 Розробка системи керування перетворювачем.....	37
3.1 Вимоги до системи керування .....	37
3.2 Керування JGBT модулями за допомогою драйверів .....	38
3.3 Розробка системи керування драйверами.....	42
3.4 Розрахунок генератора тактових імпульсів.....	45
4.Аналіз перехідних процесів при пуску електропривода за допомогою комп'ютерної моделі.....	47
5 Економічний ефект від впровадження енергозберігаючих заходів.....	50
6 Охорона праці та технологічна безпека.....	58
6.1 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів .....	58
6.2 Технічні рішення по гігієні праці й виробничої санітарії.....	59
6.3 Освітлення виробничих приміщень.....	60
6.4 Електробезпека.....	64
6.5 Заходи пожежної безпеки.....	65
6.6 Заходи індивідуального захисту.....	65
Висновки.....	69

Перелік посилань.....	70
Додаток А.....	72

## ВСТУП

У наш час проблема енергетичного забезпечення є першочерговою не тільки для окремої країни, а і всього людства. Перспективність та актуальність питання енергозбереження обумовлені загальносвітовою тенденцією, екологічними пріоритетами, постійним зростанням вартості паливно-енергетичних ресурсів. У таких умовах все більшого значення набувають енергозберігаючі технології та організаційно-економічні методи їх реалізації на всіх етапах розвитку економіки.

Ця проблема вирішується за рахунок зниження втрат електроенергії в елементах електричних мереж при її виробленні, передачі, розподілі і споживанні, підвищення надійності електропостачання та забезпечення нормативних показників якості електроенергії у споживачів. На данному етапі розвитку країни підприємства поставлені у рамки постійної економії ресурсів. Особливої актуальності, в умовах дефіциту енергоресурсів на Україні і постійного підвищення тарифів на електроенергію, набуває проблема електрозбереження. Від стану енергетичних ресурсів та ефективності їх використання залежить економічний стан будь-якої країни. Сучасний енергетичний стан України визначається як кризовий. Однією із причин такого стану є нераціональна структура енергоспоживання, яка є неефективною і енергетично мало забезпеченою своїми ресурсами. Державою на законодавчому рівні визначені шляхи і механізми енергозбереження. Головними із них є впровадження сучасних енергозберігаючих технологій. Не менш важливим фактором зниження споживання енергоресурсів є побудова механізму раціональної організації і методики обліку, аналізу і аудиту енергетичних витрат.

Стимулювання застосування енергозберігаючих заходів забезпечується за рахунок державного економічного регулювання відносин між енергопостачальною організацією і промисловим підприємством прийняттям з метою енергозбереження, підвищення якості електроенергії та надійності електропостачання. Таке стимулювання забезпечується при використанні



диференційованого обліку електроенергії по зонах добового графіка навантаження і використанні розробленої міністерством палива і енергетики України методики розрахунку оплати за споживану реактивну електроенергію, яка передбачає гнучку систему знижок і надбавок до тарифів на електроенергію.

З метою скорочення витрат підприємства на виробництво продукції за рахунок зниження витрат на енергетичні та інші ресурси створюється система енергетичного менеджменту (СЕМ). Метою роботи СЕМ є безперервне покращення як рівня ефективності використання на підприємстві ПЕР так і зменшення витрат на паливно-енергетичні ресурси.

Основне завдання енергозбереження з погляду підприємства зводиться до того, щоб із мінімальними витратами забезпечити економію енергії при збереженні незмінними або збільшенні обсягів виробництва, збереженні або підвищенні рівня якості продукції або виконаної роботи з метою зниження собівартості й ціни продукції, підвищення рентабельності й конкурентоспроможності виробництва.

## 1 ХАРАКТЕРИСТИКА ПрАТ «ЗАПОРІЖВОГНЕТРИВ»

### 1.1 Загальні відомості про ПрАТ «Запоріжвогнетрив»

Підприємство ПрАТ «Запоріжвогнетрив» входить до п'ятірки найбільших виробників вогнетривкої продукції країн СНД і є найбільшим вогнетривким підприємством в Україні, що не має собі рівних за видами і асортиментом високоякісної продукції, що випускається – а саме, понад 1200 основних марок вогнетривів, неформовких матеріалів, бетонних сумішей та мас.

Підприємство спеціалізується на виробництві шамотних, високомагнезійальних і неформованих виробів. Основними споживачами продукції ПрАТ «Запоріжвогнетрив» є підприємства металургійної, цементної, скляної, хімічної та теплоенергетичної промисловості України та країн СНД, Європи, Азії та Африки.

Одним із ключових напрямків, що розвиваються підприємством, є сервісне обслуговування промислових об'єктів, що використовують вогнетривку продукцію. В рамках сервісного обслуговування ПрАТ «Запоріжвогнетрив» виконує наступні роботи:

- обстеження об'єктів і вивчення технічних параметрів їх експлуатації;
- підбір матеріалів та розробка проектів футерування;
- виконання вогнетривких робіт;
- здача об'єктів в експлуатацію і подальше гарантійне їх обслуговування.

За рахунок контролю всього технологічного процесу – від виробництва вогнетривких виробів до монтажу футерування і сервісного обслуговування, ПрАТ «Запоріжвогнетрив» забезпечує своїм клієнтам підвищену стійкість вогнетривної кладки.

На сьогодні в ПрАТ «Запоріжвогнетрив» виділені 5 основних видів виробництва:

- магнезійальне виробництво;

- шамотне виробництво;
- шамотообпалювальне виробництво;
- високоглиноземне виробництво;
- виробництво неформованих вогнетривів.

Магнезiальне виробництво характеризується широким асортиментом периклазових, периклазохромiтових та хромiтопериклазових виробiв, якi застосовуються для футерування мартенiвських i електросталеплавильних печей, конвертерiв, обертових печей, теплових агрегатiв. Випал продукцiї виконується в тунельних печах довжиною 156 м з автоматичним режимом випалу.

Одним з перспективних напрямкiв дiяльностi ПрАТ «Запорiжвогнетрив» є полiпшення технiчних характеристик магнезiальних вогнетривiв, якi за прогнозами експертiв в найближчому майбутньому будуть основним конструкцiйним матерiалом для футеровки сталеплавильних i металургiйних агрегатiв.

Серед магнезiальної продукцiї виробництва ПрАТ «Запорiжвогнетрив» особливе мiсце займають периклазвуглецевi вогнетриви, що дозволяють забезпечувати проведення прогресивних металургiйних процесiв на провiдних пiдприємствах України та свiту.

Продукцiя високоглиноземного виробництва використовується для футерування повітренагрівачів доменних печей, трубопроводів гарячого дуття, позапiчної обробки сталi та iнших теплових агрегатiв кольорової металургiї.

Вироби високоглиноземного виробництва мають високу мiцнiсть i вогнестiйкiсть. Виробництво оснащене механiчними пресами вiтчизняного виробництва i гiдравлiчними пресами нiмецької фiрми «Laeis Bucher». Випалювання проводиться в тунельних печах довжиною 156 м.

Виробництво неформованих вогнетривiв – вiдносно новий напрямок дiяльностi ПАТ «Запорiжвогнетрив», яке є частиною масштабної iнвестицiйної стратегiї пiдприємства, спрямованої на диверсифiкацiю виробництва. На технологiчнiй лiнiї неформованих вогнетривiв виробляють вогнетривку бетонну сумiш для металургiйної, феросплавної, алюмiнiєвої i цементної промисловостi.

Потужність виробничої лінії дозволяє виготовляти близько 16 тисяч тонн продукції на рік. Виробнича лінія оснащена високотехнологічним обладнанням компанії «GALICO» (Словаччина) і фірми «EIRICH» (Німеччина), що є світовими лідерами в області виробництва техніки з виготовлення вогнетривких сумішей.

Виробництво вогнетривких сухих бетонів не передбачає випалювання, як у класичній технології виробництва вогнетривких виробів. Це дає значну конкурентну перевагу новим матеріалам, так як для їх виробництва не використовується дорогий енергетичний ресурс – природний газ. З запуском нової виробничої лінії значно розширився асортимент продукції, що випускається, в першу чергу, затребуваними у споживачів марками утеплюють і шлакоутворюючих сумішей ЛПС і УСК-Л.

Дана продукція використовується при розливанні різних марок сталі, зокрема, для облаштування ливарних форм, кристалізаторів, сталековшів і промковшів.

На сьогоднішній день ПрАТ «Запоріжвогнетрив» пропонує широкий спектр послуг з організації та безпосереднього виконання вогнетривкого сервісу:

- обстеження об'єктів;
- розробку проекту футерування;
- підбір необхідних матеріалів;
- виробництво і поставку вогнетривів і супутніх матеріалів;
- виконання вогнетривких робіт, в тому числі «під ключ»;
- здачу об'єкта в експлуатацію;
- подальше гарантійне обслуговування об'єкта.

Також ПрАТ «Запоріжвогнетрив» надає сервісні послуги з обслуговуванню сталеплавильного виробництва:

- ремонт, футеровка сталерозливних ковшів;
- ремонт та футерування проміжних ковшів МБЛЗ;
- футерування конверторів, сортування і вибірка б/в вогнетриву;
- футерування кришок збереження тепла сталерозливних ковшів і кришок стендів розігріву;

- футерування вакуум-камер, торкретування кришок вакуум-камер;
- футерування аварійних ємностей;
- ремонт отворів конвертерів для виливання сталі;
- футерування барабанного обладнання для сушіння феросплавів;
- футерування міксерів, ремонт кришки міксера;
- бетонування зводових кілець установки «піч-ківш»;
- технічне обслуговування футерування металургійних агрегатів прокатних цехів.

Підприємство здійснює обслуговування доменного виробництва:

- футерування системи жолобів ливарного двору доменного виробництва;
- ремонт і футерування арматурного шару жолобів ливарного двору доменного виробництва;
- закачування за броню доменної печі вогнетривких матеріалів;
- футерування кришок збереження тепла чавуновозів;
- ремонт і футерування чавунозаливних ковшів;
- бетонування фурмених приладів; виконання робіт по футеровці повітря.

Надання послуг з обслуговування коксового виробництва ПАТ «Запоріжвогнетрив»:

- торкретування камер коксування;
- заміна футерування газових стояків;
- футерування дверей коксової батареї;
- ущільнення надрамних головок коксових батарей;
- заміна завантажувальних люків коксових батарей;

## 1.2 Продукція шамотного цеху та технологія її виробництва

На теперішній час шамотний цех підприємства виготовляє шамоти з каоліну, шамоти з глини та шамоти з кремнезему.

Шамот з каоліну:

- шамот з каолінів Кіровоградського родовища (ШКК-42);
- шамот з вогнетривкістю не нижче  $1750^{\circ}\text{C}$ , з масовою часткою  $\text{Al}_2\text{O}_3$  не менше 42%;

- шамот з каолінів Пологівського родовища (ШКП-1);
- шамот з вогнетривкістю не нижче  $1750^{\circ}\text{C}$ , з масовою часткою  $\text{Al}_2\text{O}_3$  не менше 41%.

Шамот з глини:

- шамот з глини Пологівського родовища (ШКГП-37);
- шамот з вогнетривкістю не нижче  $1750^{\circ}\text{C}$ , з масовою часткою  $\text{Al}_2\text{O}_3$  не менше 37%;

- шамот кусковий з глини Пологівського родовища (ШКГП-39);
- шамот з вогнетривкістю не нижче  $1750^{\circ}\text{C}$ , з масовою часткою  $\text{Al}_2\text{O}_3$  не менше 39%;

- шамот з глини Пологівського родовища (ШГП-36);
- шамот з вогнетривкістю не нижче  $1750^{\circ}\text{C}$ , з масовою часткою  $\text{Al}_2\text{O}_3$  не менше 36%;

- шамот мулітокорундовий (ШМК-77);
- шамот з вогнетривкістю не нижче  $1750^{\circ}\text{C}$ , з масовою часткою  $\text{Al}_2\text{O}_3$  не менше 77%;

- шамот мулітокорундовий (ШМК-80);
- шамот з вогнетривкістю не нижче  $1750^{\circ}\text{C}$ , з масовою часткою  $\text{Al}_2\text{O}_3$  не менше 80%;

- шамот мулітокорундовий (ШМК-90);
- шамот з вогнетривкістю не нижче  $1750^{\circ}\text{C}$ , з масовою часткою  $\text{Al}_2\text{O}_3$  не менше 90%;

Шамот з кремнезему:

- шамот мулітокремнеземні (ШМКР-55);
- шамот з вогнетривкістю не нижче  $1750^{\circ}\text{C}$ , з масовою часткою  $\text{Al}_2\text{O}_3$  не менше 55%;

- шамот мулітокремнеземні (ШМКР-58);

– шамот з вогнетривкістю не нижче  $1750^{\circ}\text{C}$ , з масовою часткою  $\text{Al}_2\text{O}_3$  не менше 58%.

Шамотний цех складається з чотирьох основних технологічних ділянок [2]:

- помольна ділянка;
- пресова ділянка;
- ділянка випалювання;
- склад готової продукції.

Помольна ділянка призначена для роздрібнення матеріалу до потрібної фракції, сушіння, сортування меленого матеріалу за фракціями, а також подачі сировини на пресову ділянку.

Склад сировини служить для прийому сировини (глин і шамоту) та відходів, вивантаження, сортування, зберігання, а також підготовки її до подачі на помольну ділянку.

Пресова ділянка служить для приготування мас. Для напівсухого способу формування використовуються гідравлічні, колінно-важільні та механічні преси. Ділянка підрозділяється на 3 пресових ділянки.

Ділянка випалювання призначена для випалювання виробів посаджених на тунельні вагонетки. Складається з двох ділянок, на кожній з яких знаходяться по дві тунельні печі.

Ділянка пластичного пресування служить для формування виробів, з пластичних мас високої вологості, а також їх сушіння.

Склад готових виробів призначений для сортування готової продукції, укладання в штабелі, зберігання, приймання виробів працівниками ВТК і відвантаженням споживачу.

Технологічний процес помольної ділянки зображено на рисунку 1.1.

На ділянці передбачені наступні технологічні операції:

- прийом вихідних матеріалів (глина, каолін) на склад;
- зберігання і видавання сировини зі складу в помольне відділення;
- роздрібнення матеріалів до потрібної фракції;
- сортування меленого матеріалу за фракціями;

– подача матеріалу на пресову ділянку.

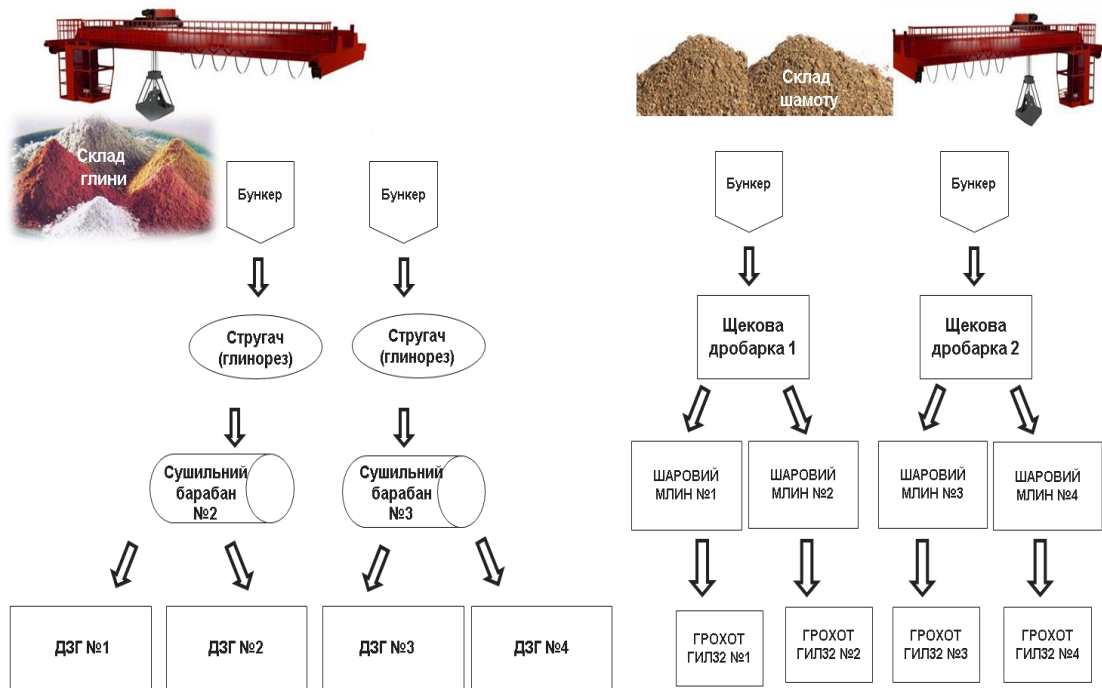


Рисунок 1.1 – Технологічний процес помольної ділянки

Технологічний процес пресової ділянки наведено на рисунку 1.2. Ділянка складається з: пресів, змішувачів, бігунів та живильників. Технологічним процесом передбачено три пресових ділянки і ділянка пластичного пресування. Пресова ділянка цеху призначена для:

- приготування суміші з вихідних компонентів;
- формування виробів, з подальшою передачею виробів.

На пресовій ділянці працюють два колискових конвеєра, для обслуговування пресової ділянки №1 та пресової ділянки №2. Конвеєри призначені для подачі сформованих виробів від пресів до садочного місця, для навантаження виробів на под.

На рисунку 1.2 зображено опис технологічного процесу пресової ділянки: напрями надходження сировини з помольної ділянки та послідовність обробки з переліком обладнання яке може бути задіяне у технологічному процесі в залежності від виду продукції, що виготовляється у певний час. Далі матеріал надходить до тунельних печей. Конвеєр пресової ділянки №1 (далі конвеєр №1) має довжину 259 м. Технологічний цикл конвеєр №1 здійснює за 30 хв. Середня



продуктивність конвеєру становить 14,5 т/год (при повному завантаженні колісок)[2].

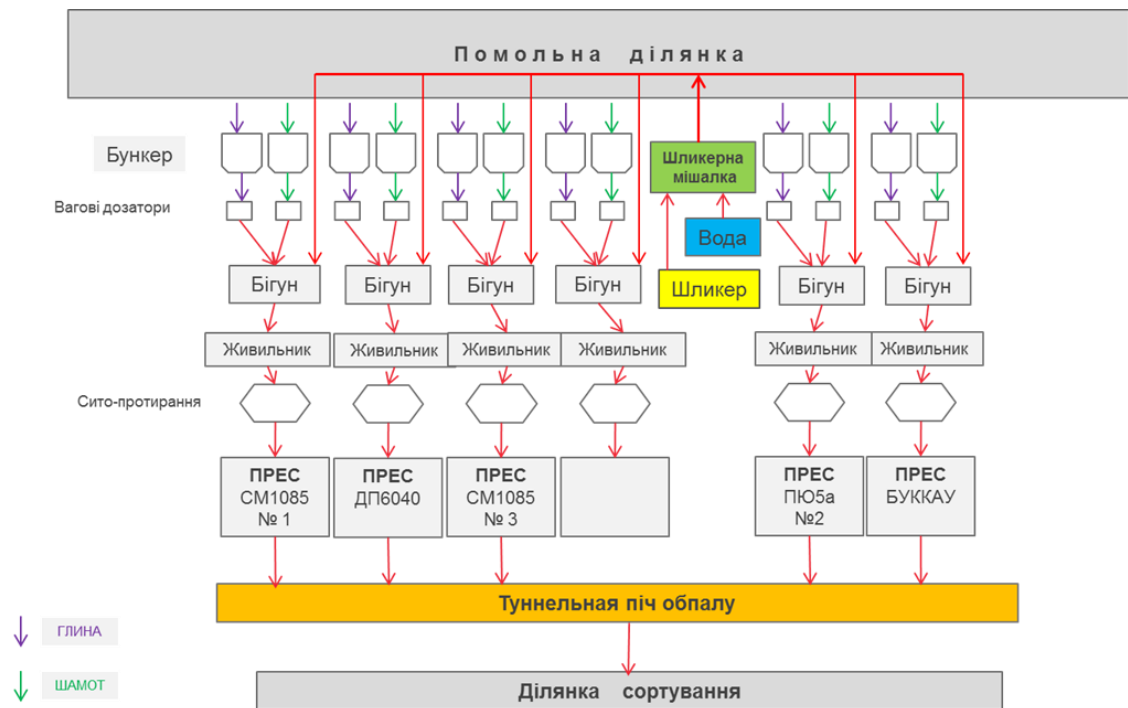


Рисунок 1.2 – Технологічний процес пресової ділянки

Ділянка випалювання складається з:

- чотирьох тунельних печей;
- тунельної сушарки, що складається з 5-ти камер.

Ділянка випалювання призначена для:

- випалювання формованої продукції в печах;
- термічної обробки в сушарці виробів з сирцю, з подальшим випалюванням і передачею обпалених виробів на ділянку сортування.

Випалювання – це завершальний і найвідповідальніший процес в технології виробництва вогнетривких виробів. Саме під час випалювання остаточно формуються властивості, що визначають якість виробу. Технологічний процес випалювання зображено на рисунку 1.3.

До таких прийнято відносити як вимірювані механічні та термічні показники - міцність, щільність, пористість і т.п., так і візуальні дефекти - тріщини, деформація і ін.

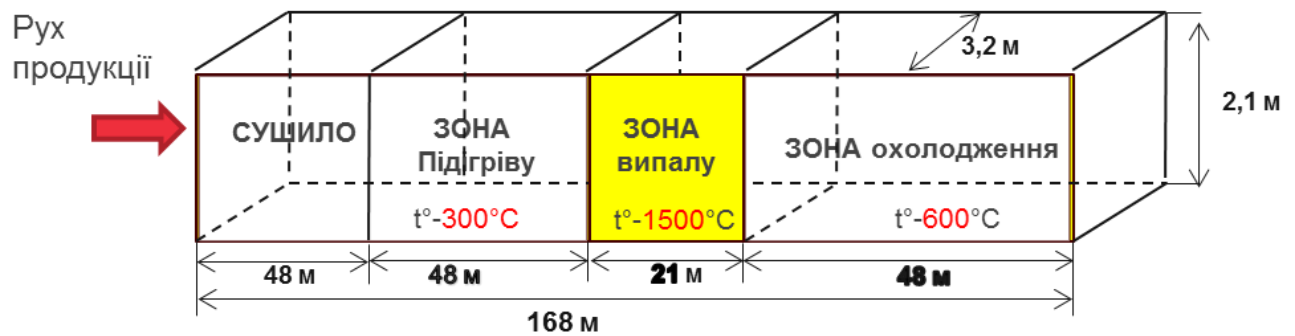


Рисунок 1.3 – Технологічний процес ділянки випалювання

Робочий простір печі можна розділити на чотири основні зони: сушіння, підігрівання (підготовки), випалювання і охолодження.

Ділянка сортування — виконує функції вибраковування, сортування та пакування готової продукції.

Три зони випалювання потребуються за технологією з точки зору фізичних властивостей сировини, з метою максимального уникнення бракованої продукції.

### 1.3 Аналіз споживання енергоресурсів підприємством

Аналіз споживання енергоресурсів підприємством ПАТ «Запоріжвогнетрив» (рисунок 1.4) показав, що значна частка від загальних енергоресурсів припадає на споживання природного газу (до 37%). Так як ПАТ «Запоріжвогнетрив» спеціалізується на виробництві вогнетривкої продукції, тому найбільша частка енергоспоживання – природний газ, основними споживачами є обертові печі ділянки випалу шамотного цеху. Невелика кількість пресового обладнання використовують стиснене повітря, та значна частина енергоресурсів припадає на опалення. Технічна та питна вода є майже безвитратним енергоресурсом.

Також проведений аналіз енергоспоживання показав, що значна частка від загальних енергоресурсів припадає саме на споживання електричної енергії (до 30%).

На рисунку 1.5 наведено діаграму, що показує динаміку споживання підприємством електричної енергії впродовж року. Зміна обсягів споживання

електричної енергії впродовж року пов'язана з обсягами замовлень вогнетривкої продукції. Пікове споживання електроенергії становить 1250 МВт·год за місяць.

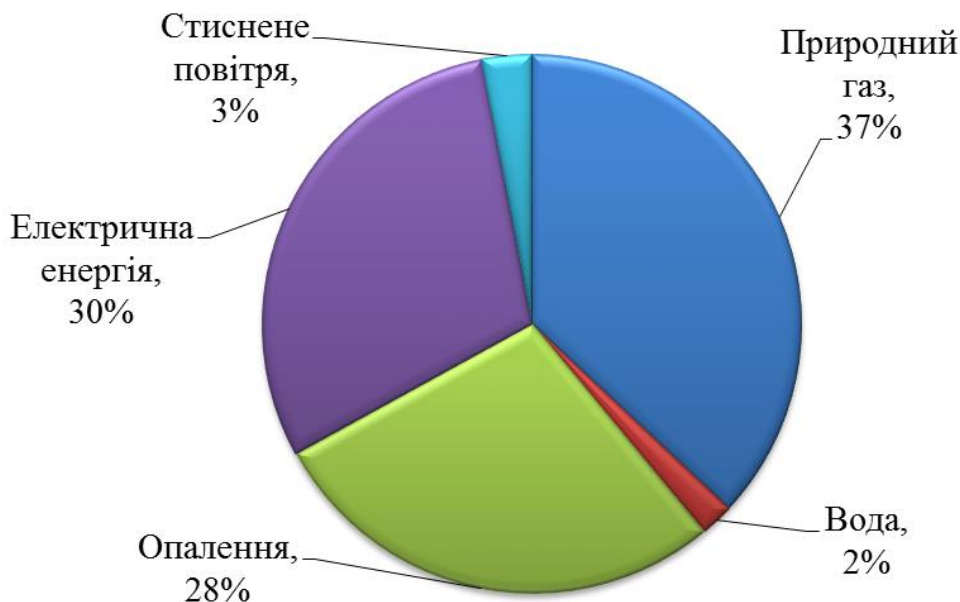


Рисунок 1.4 – Структура енергоспоживання ПАТ «Запоріжвогнетрив»

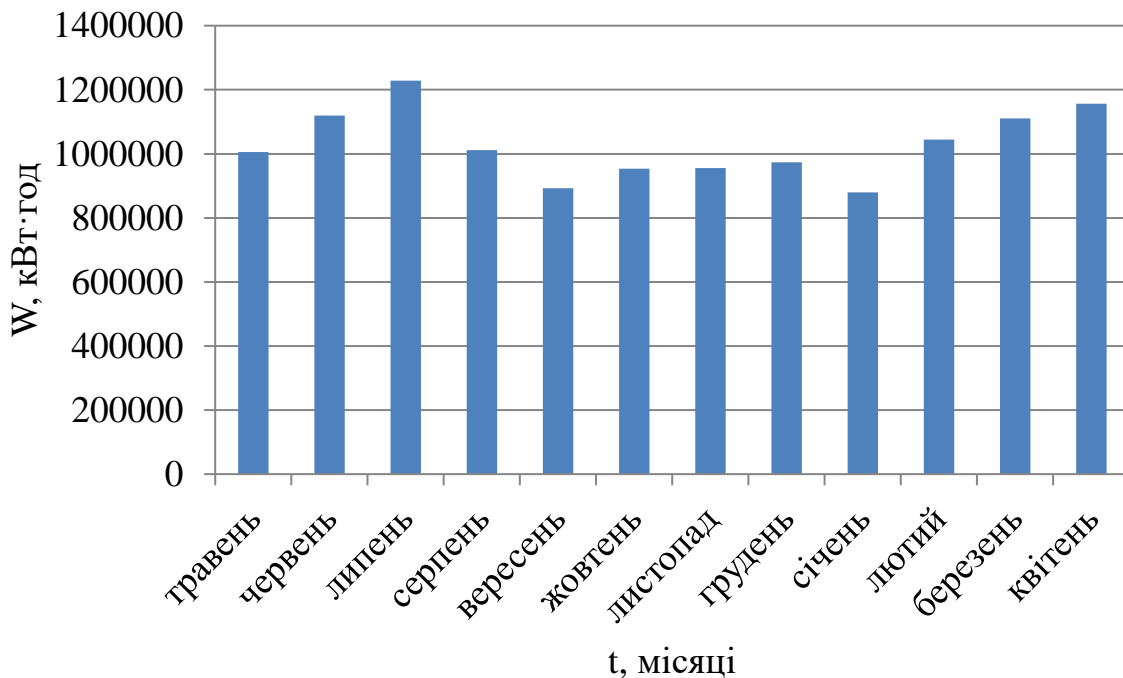


Рисунок 1.5 – Споживання електричної енергії підприємством

На рисунку 1.6 наведено структуру споживання електричної енергії цехами підприємства. Найбільше споживання електричної енергії припадає на шамотний цех (до 29%). Основним споживачем електричної енергії є сушильне

та пресове обладнання. Саме у шамотному цеху найбільша концентрація сушильного та пресового обладнання [1].

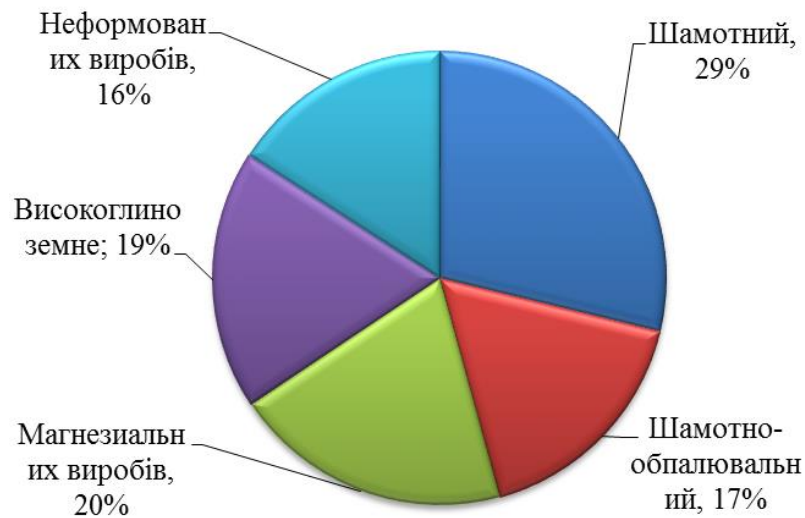


Рисунок 1.6 – Структура електроспоживання цехами підприємства

Шамотний цех є найбільш прибутковим на підприємстві, через використання одного з найдешевших енергоресурсів – електроенергії.

Шамотно-обпалювальний цех, високо глиноземне виробництво та цех несформованих виробів є потужними споживачами природного газу. У цих цехах за технологією передбачено виготовлення продукції з високими вогнетривкими властивостями.

Цех магнезійних виробів теж має вагому частку споживання електричної енергії через наявність трубних млинів, які використовуються для подрібнення сировини.

На рисунку 1.7 наведено обсяги споживання електричної енергії обладнанням шамотного цеху впродовж року. Також як і в цілому на підприємстві, причиною коливання споживання електричної енергії впродовж року є зміна завантаження електрообладнання, яке залежить від обсягів замовлень шамотної продукції.

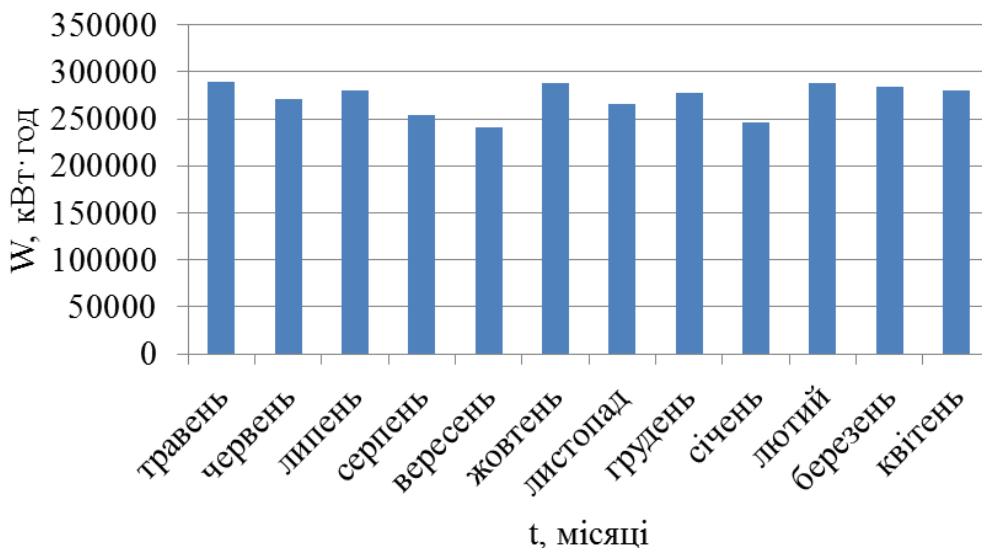


Рисунок 1.7 – Річне споживання електричної енергії шамотним цехом ПАТ «Запоріжвогнетрив»

Режими споживання електроенергії окремих споживачів та енергосистеми в цілому характеризуються графіками електричних навантажень. Ці графіки відображають зміну споживаної потужності на певному періоді часу (місяць, рік). Від режимів споживання електричної енергії залежать режими роботи енергетичних установок.

На рисунку 1.8 представлено добовий графік електричних навантажень шамотного цеху. Графік електричних навантажень показує споживання електричної потужності обладнанням цеху в певний період часу, що зазначений технологічним процесом. З графіку видно наявність піків електричної потужності у денний (з 11:00 до 12:00) та нічний час (з 7:00 до 8:00) [1].

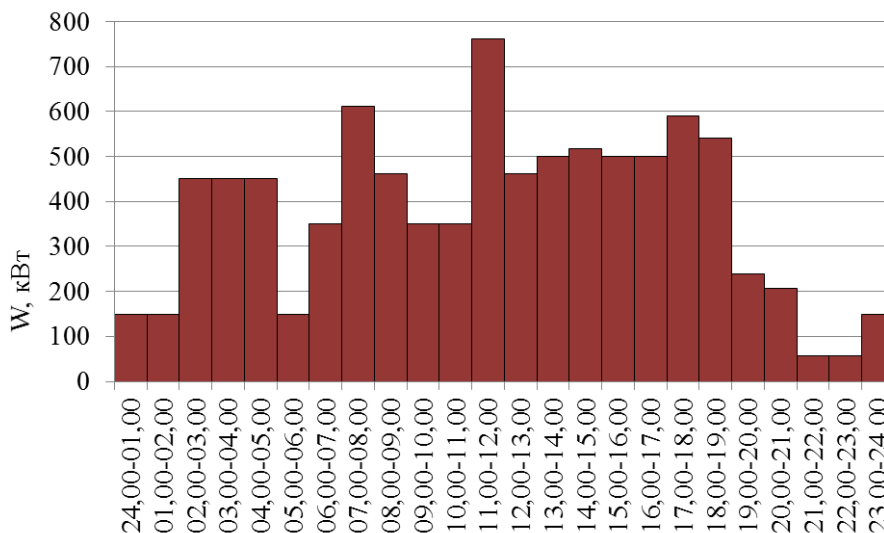


Рисунок 1.8 – Добовий графік електричних навантажень цеху

В роботі також проведено аналіз споживання електричної енергії основним обладнанням шамотного цеху. До основного технологічного обладнання цеху (рисунки 1.1-1.3) відноситься: глинорізи, преси, сушильні барабани, щокові дробарки, дезінтегратори, кульові млини, грохоти та підйомно-кранове обладнання.

На рисунку 1.9 представлено структуру споживання електричної енергії обладнанням шамотного цеху. Основні обсяги споживання електричної енергії припадають на преси (43,5 %) та сушильні барабани (24,6 %).

Згідно із проведеним аналізом та обстеженням обладнання цеху встановлено, що найбільш енерговитратним є пресове обладнання. Це обладнання є дуже застарілим і його економічно недоцільно модернізувати, воно потребує лише повної заміни. Кульовий млин, щокова дробарка, кран споживають невелику кількість електричної енергії через низький коефіцієнт використання [1].

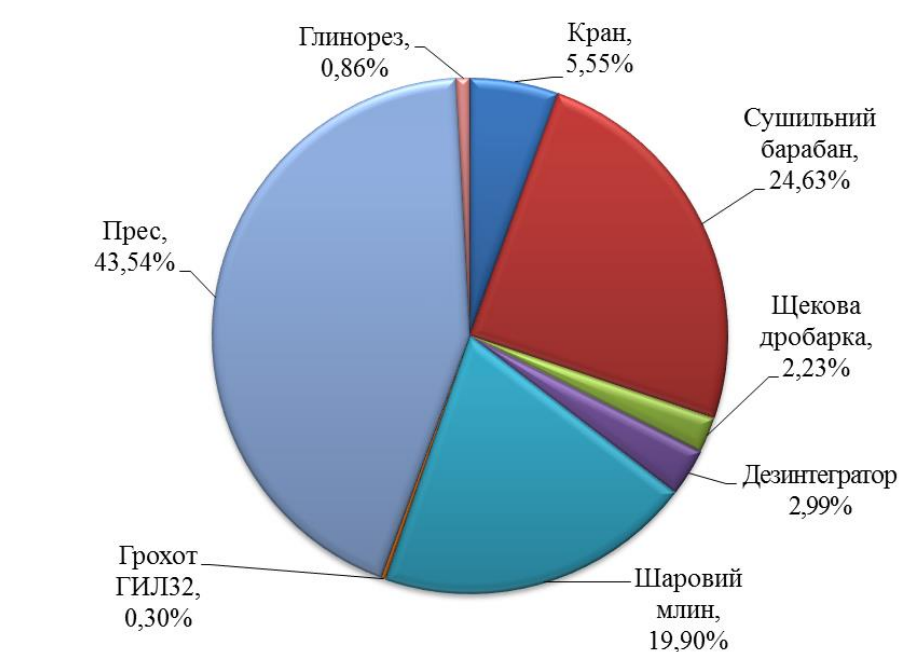


Рисунок 1.9 – Структура споживання електричної енергії обладнанням шамотного цеху

Виходячи з представленої діаграми основними споживачами електроенергії є преса та сушильні барабани.

#### 1.4 Аналіз технологічного обладнання цеху

У таблиці 1.1 наведено основні характеристики технологічного обладнання шамотного цеху.

Таблиця 1.1 – Характеристика технологічного обладнання шамотного цеху

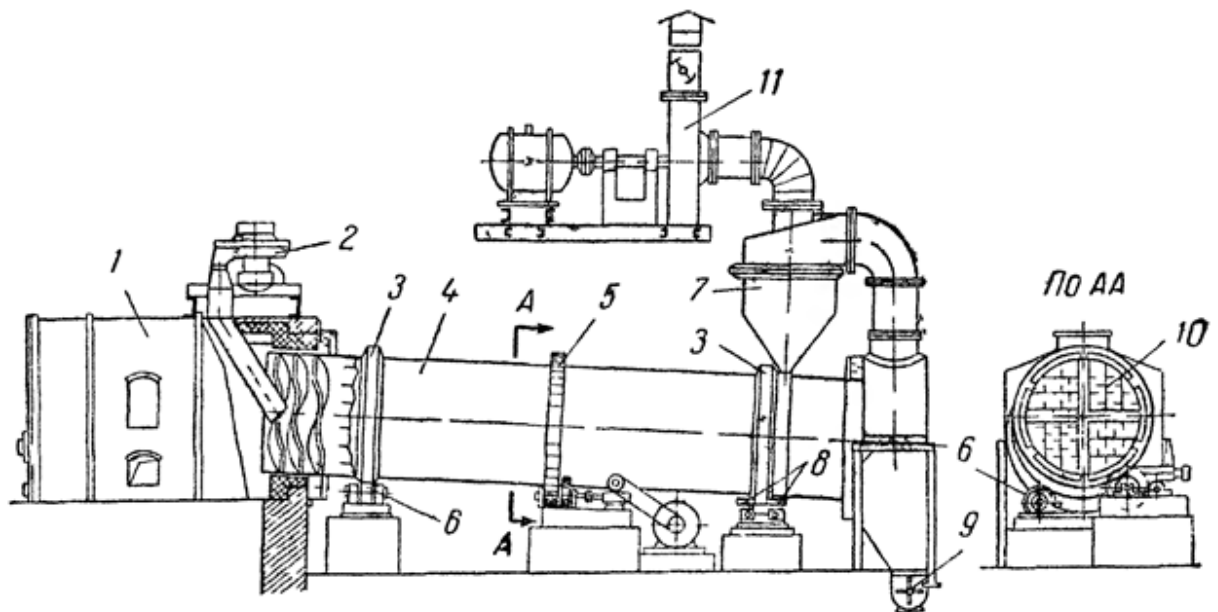
№, з.п.	Назва	Кількість, шт	Коефіцієнт використання	Потужність, кВт
1	Глинорез	2	0,115	15
2	Щекова дробарка	2	0,16	28
3	Сушильний барабан	2	0,66	75
4	Шаровий млин	4	0,2	100
5	Дезинтегратор	4	0,15	20
6	Грохот ГИЛ32	4	0,055	5,5
7	Прес	10	0,5	35
8	Кран	2	0,2	55,8

Проведений аналіз показав, що одним із основних шляхів скорочення обсягів споживання електричної енергії обладнанням шамотного цеху (цеху №1) підприємства є модернізація електрообладнання сушарок (сушильних барабанів). На рисунку 1.10 наведено загальний вигляд сушильного барабану.

Сушильні барабани використовуються з метою досягнення необхідної за технологією вологості сировини. Вихідна сировина, що надходить на підприємство, має різну вологість. Сировина під час технологічного процесу сушіння у барабанах набуває заданої технологією вологості.

В залежності від вологості і кількості матеріалу, що надходить в барабан на сушіння, буде змінюватися і кількість газоповітряної суміші, що необхідна для сушіння маси. Для стабільної роботи сушильного обладнання, зокрема, підтримки необхідної швидкості газоповітряної суміші, повинна регулюватися і

робота витяжного вентилятора (димососа), встановленого після сушильного агрегату за циклоном.



1 – топка; 2 – живильник; 3 – бандажі; 4 – барабан; 5 – зубчастий вінець; 6 – опорні ролики; 7 – циклон; 8 – опорні ролики; 9 – шлюзовий затвор; 10 – внутрішня насадка барабану; 11 – димосос; 12 – приводний двигун димососа

Рисунок 1.10 – Загальний вигляд сушильного барабану

Принцип дії сушильного барабана.

Барабанна сушарка (сушильний барабан) представляє собою циліндричний похилий барабан з двома бандажами (рисунок 1.10), які при обертанні барабана прокочуються по опорним роликам 6. Матеріал, що обробляється, надходить зі сторони барабана, що розташована вище, через живильник 2, захоплюється гвинтовими лопатями, на яких він підсушується, після чого переміщається уздовж барабана, що має кут нахилу до горизонту до 6. Осьовому зміщенню барабана запобігають опорні роли 8. Підігріта газова суміш проходить через барабан за допомогою димососа 11, встановленого за сушаркою. Для уловлювання з газів пилу між барабаном і димососом встановлено циклон 7. Барабан обертається за допомогою зубчастого вінця 5, який знаходиться в зачепленні з приводною шестернею, що з'єднана через



редуктор з приводним електродвигуном. На рисунку 1.11 наведено загальний вигляд димососа.

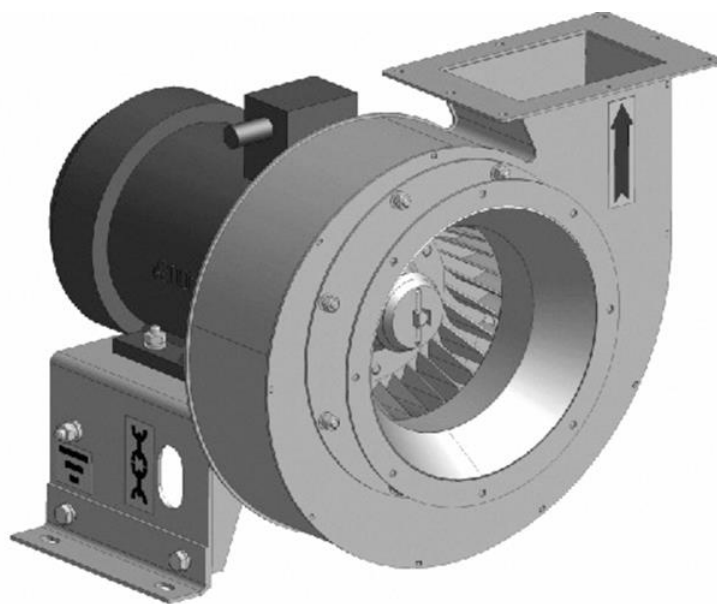


Рисунок 1.11 – Загальний вид димососа сушильного барабана

В результаті обстеження встановлено, що на час оператор сушильного барабана шамотного цеху виконує запуск димососа при закритому шибері повітропровода. Після того як приводний електродвигун розганяється до номінальної частоти обертання оператор в ручну відкриває шиберну заслінку до необхідного положення, що підбирається дуже наближено. В процесі роботи оператор, стежачи за роботою димососа за приладами витрати повітря на пальник і розрідженням в топці, вручну регулює заслінку перед димососом, тим самим регулюючи процес сушіння продукції.

Такий спосіб регулювання повітряного потоку є не ефективним з точки зору технології, окрім того при цьому приводний електродвигун димососа постійно працює на повну потужність, що веде до підвищеного споживання електричної енергії. Використання такого регулювання веде до підвищеної витрати електроенергії на одиницю готової продукції – до збільшення енергоємності виробництва і, відповідно, до зниження енергоефективності всього технологічного процесу.

В кваліфікаційній магістерській роботі пропонується провести аналіз сучасних способів регулювання електропривода. Пропонується розглянути можливість застосування систем частотно-регульованого електроприводу для

втяжного вентилятора (димососа) сушарки сировини для виготовлення вогнетривів на ПрАТ «Запоріжвогнетрив». Окрім того пропонується дослідити можливість застосування сучасних частотних перетворювачів вітчизняного виробництва, що мають значно меншу вартість в порівнянні із закордонними аналогами.

## 2. РОЗРОБКА СХЕМИ ПЕРЕТВОРЮВАЧА ЧАСТОТИ

### 2.1 Вибір схеми перетворювача

Регулювання швидкості АД зміною частоти живлячої напруги широко використовується для якісного регулювання в першу чергу швидкості АД і широко застосовується в даний час. Принцип його полягає тому, що змінюючи частоту  $f_1$ , живлячої АД напруги, можна відповідно до виразу  $w_0=2\pi f_1/p$  змінювати його швидкість  $w_0$ , одержуючи різні штучні характеристики. Цей спосіб забезпечує плавне регулювання швидкості в широкому діапазоні, а одержувані при цьому характеристики володіють високою жорсткістю. Частотний спосіб до того ж відрізняється і ще однією вельми важливою властивістю: регулювання швидкості АД в цьому випадку не супроводжується збільшенням його ковзання, тому втрати потужності, виявляються невеликими.

Для кращого використання і отримання високих енергетичних показників роботи АД (коефіцієнтів потужності, корисної дії і перевантажувальної здатності) одночасно з частотою необхідно змінювати і напруга, що підводиться до нього. Раціональний закон зміни напруги при цьому залежить від характеру моменту навантаження  $M_c$ . Так, при постійному моменті навантаження  $M_c=\text{const}$  напруга на статорі повинна регулюватися пропорційно його частоті

$$U_1/f_1=\text{const.}$$

Для характеру, вентилятора моменту навантаження, співвідношення матиме вигляд

$$U_1/f_1^2=\text{const,}$$

а при моменті навантаження, обернено пропорційному швидкості

$$U_1/\sqrt{f_1}=\text{const.}$$

Цей спосіб забезпечує якнайкращі показники в порівнянні зі всіма іншими способами і дозволяє використовувати навіть найбільш простий тип асинхронного двигуна – з короткозамкнутим ротором.

Таким чином, при реалізації частотного способу регулювання швидкості

АД використовується перетворювач частоти (рис. 2.1), який дозволяє також регулювати і напруга на його статорі.

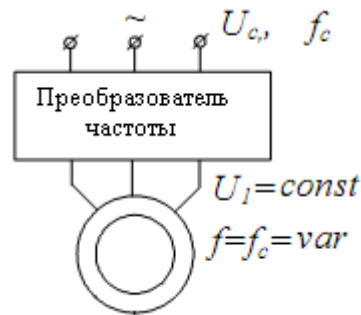


Рисунок 2.1 – Схема частотного регулювання швидкості АД за допомогою ПЧ

Перетворювачами частоти називають пристрої для перетворення змінної напруги однієї частоти (постійної або регульованої) в змінну напругу іншої частоти (постійної або регульованої). Такі пристрої однокаскадного перетворення частоти одержали назву перетворювачі частоти з безпосереднім зв'язком або циклоконверторів (за кордоном). (Останніми роками такі перетворювачі на повністю керованих вентилях стали називати ще матричними перетворювачами.) Термін „безпосередній зв'язок” доданий для того, щоб відрізнити цей вигляд перетворювачів частоти від двохкаскадних (багатокаскадних) перетворювачів по структурі випрямляч – автономний інвертор, що називають ще перетворювачами частоти з проміжною ланкою постійного струму (напруги) залежно від типу автономного інвертора (струму або напруги).

Для отримання двигуном електроенергії з необхідними параметрами амплітуди і частоти напруги в кожній фазі, а також для управління і регулювання параметрів потоку енергії включається статичний перетворювач частоти (ПЧ). Для отримання максимального ККД, коефіцієнта спотворення необхідно живити двигун квазібезперервним струмом ПЧ, який забезпечується високою частотою ШІМ – управління. На цьому етапі розв'язується завдання поліпшення енергетичних і динамічних характеристик приводу.

На даний час наймасовішим і перспективнішим типом електроприводу (ЕП) є ЕП перетворювач частоти з ланкою постійного струму – асинхронний двигун (ПЧ-АД), в якому найчастіше використовується автономний інвертор

напруги (АН) з широтно-імпульсною модуляцією (ШІМ).

У даній роботі розглянемо схему перетворювача для живлення АД витяжного вентилятора (димососа) сушарки сировини для виготовлення вогнетривів від мережі 380 В, 50 Гц. Для даного приводу обираємо трифазну схему перетворювача, яка найбільше відповідає цим умовам. Розглянемо докладніше схему перетворювача: силова частина складається із вхідних дроселів, напівкерованого випрямляча, дроселів в колі постійного струму, блока конденсаторів та вихідного інвертора на IGBT-модулях (рис. 2.2)

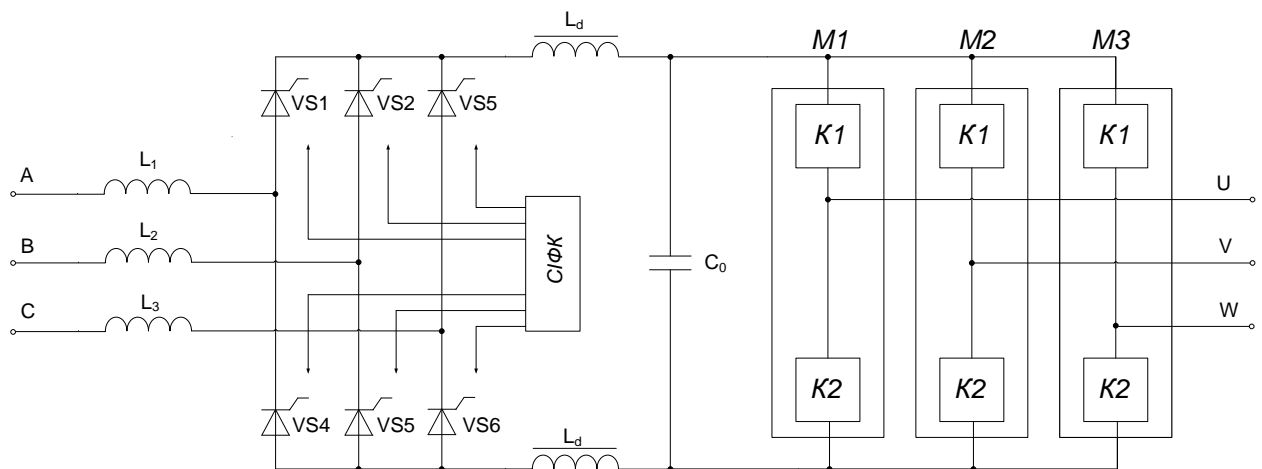


Рисунок 2.2 – Схема перетворювача частоти

Випрямляч включає в себе тиристорно-діодні модулі, зібрані за схемою Ларіонова, і призначені для випрямлення вхідної змінної напруги та підключення силової частини електропривода до мережі. Мостова схема, хоча і містить вдвічі більшу кількість напівпровідників, має багато переваг перед нульовою, які обумовили її ширшу розповсюдженість в електроприводі. Всі напівкеровані випрямлячі мають дещо менший зсув споживаного струму відносно живильної напруги, однак форма споживаного струму несиметрична, діапазон регулювання випрямленої напруги обмежений, інверторний режим неможливий. Внаслідок цього напівкеровані випрямлячі використовують звичайно у випадках недосить жорстких вимог до діапазону регулювання та в нереверсивних електроприводах.

Блок конденсаторів, дроселі в колі постійного струму утворюють фільтр низької частоти в колі випрямленої напруги.

Вихідний інвертор містить IGBT модулі та кола їх захисту (рис 2.3)

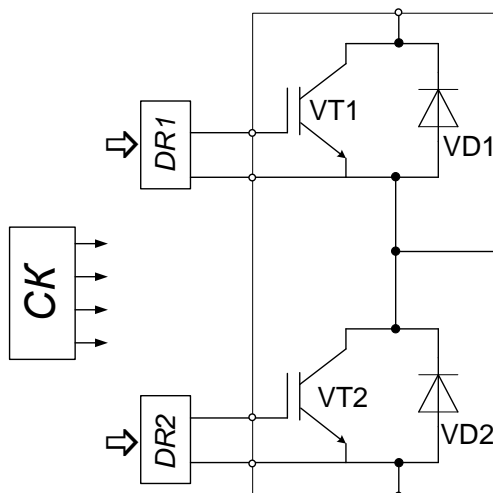


Рисунок 2.3 – IGBT модуль

Інвертор складається з трьох фазових модулів і забезпечує на вихідних клеммах U, V, W (рис. 2.4) трифазну напругу, виконуючи функції регулювання частоти і напруги.

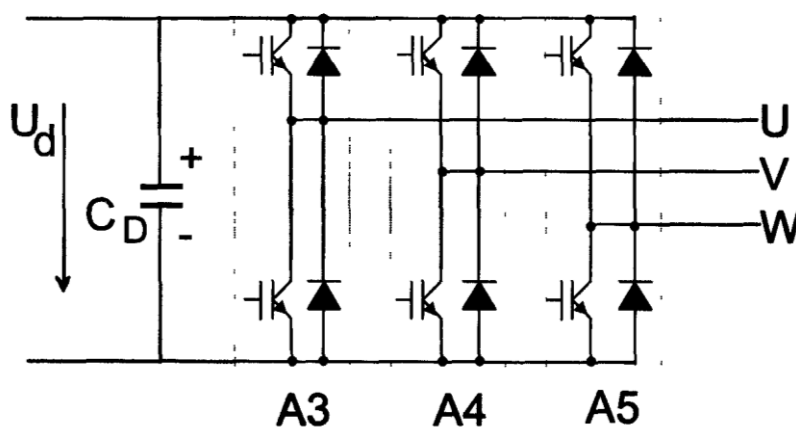


Рисунок 2.4 – Схема автономного інвертора напруги

IGBT-модулі в інверторі проводять комутацію виводів електродвигуна з ланкою постійної напруги з високою тактовою частотою таким чином, що встановлюється синусоїдальна характеристика струму (рис. 2.5). Напруга розглядається між двома вихідними клеммами. Максимально можлива амплітуда зв'язаного вихідного напруги залежить від величини напруги проміжного контура  $U_d$ .

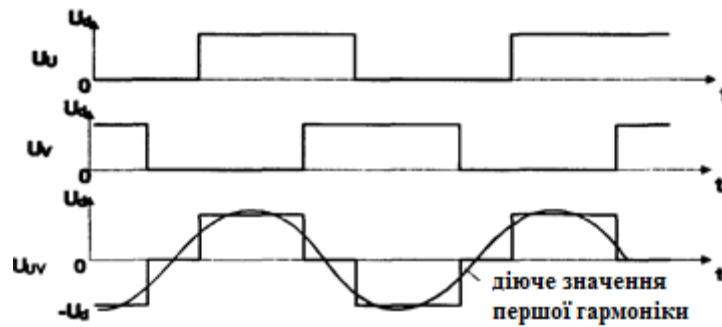


Рисунок 2.5 – Тимчасові діаграми роботи інвертора в повноблоковому режимі

Діюче значення вихідної напруги можна регулювати за допомогою широко-імпульсної модуляції (ШІМ) (рис. 2.6), заснованої на зміні тривалості відкриття транзисторів і короткочасних виключень в межах коливань першої гармоніки. Частота, з якою повторюється форма кривої вихідної напруги, рівна частоті на виході інвертора.

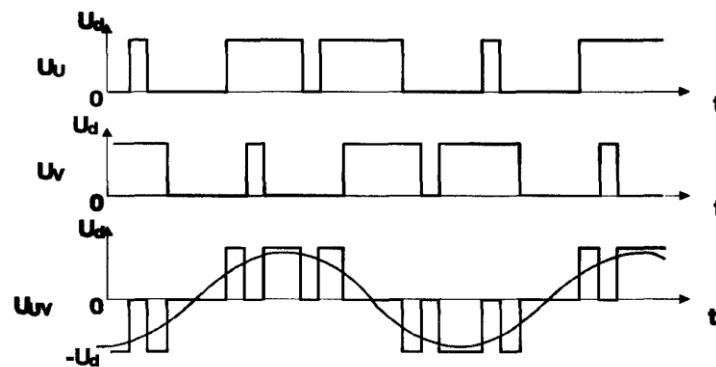


Рисунок 2.6 – Тимчасові діаграми роботи інвертора в режимі ШІМ

Оскільки зрушення по фазі і частота напруги інвертора довільно регульовані, то можливо використовувати здатність асинхронного тягового двигуна працювати в режимі генератора, тобто застосовувати електродинамічне гальмування. При цьому інвертор віддаватиме енергію назад в проміжний контур.

При режимі гальмування напрям моментів двигунів протилежно порядку проходження фаз. Напруга і струм мають великий зсув фази (рис. 2.7). Завданням коливань першої гармоніки інвертор встановлює положення по фазі між напругою і струмом.

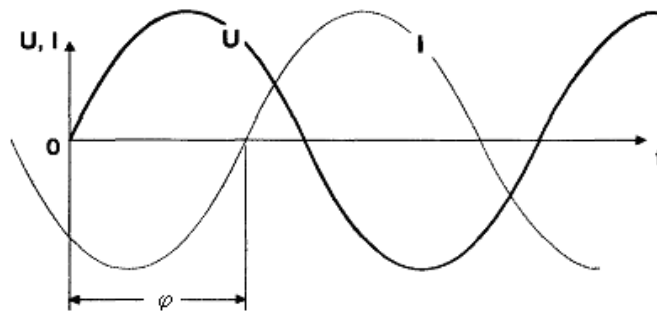


Рисунок 2.7 – Тимчасова діаграма інвертора в режимі гальмування

Напруга на виході імпульсного інвертора не є строго синусоїдальною, а містить вищі гармоніки. Хоча струм і згладжується індуктивністю розсіювання двигуна, в ньому все ж таки присутні вищі гармоніки, які викликають коливальні моменти і втрати в двигуні. За рахунок високої тактової частоти перемикань PWR пульсація струму мінімізується.

## 2.2 Розрахунок і вибір елементів схеми перетворювача частоти

Обґрунтування й вибір типу напівпровідникових приладів.

У силовій електроніці найпоширеніші: діоди низькочастотні, швидковідновлювані, з підвищеною швидкодією, лавинні; тиристори – що не замикають (Th), що замикають (GTO), фототиристори; силові біполярні транзистори (BJT); силові польові Моп-транзистори (MOSFET); біполярні транзистори з ізольованим затвором (IGBT).

Поряд з виробництвом дискретних силових напівпровідникових приладів провідними фірмами освоєний випуск силових напівпровідникових модулів. У розробках силових напівпровідникових модулів використовуються всі типи приладів.

Силові напівпровідникові прилади й модулі виробляються приблизно в 150 фірмах світу. Номенклатура виробів фірм досягає кількох тисяч, а діапазон основних параметрів охоплює від 10 до 4500 А за струмом, від 100 до 8000 В за напругою й від десятків герц до 1 МГц за частотою.

Елементна база для побудови силової схеми перетворювача вибирається з



урахуванням витрат на систему керування перетворювачами. Логічна частина системи керування залежить від типу й потужності силових напівпровідникових перетворювачів (СНП), застосовуваних у силовій схемі. Виконавчі пристрої системи керування – вузли формування траєкторії робочої точки (ФТРТ) силових приладів, безпосередньо пов'язані з характеристиками й параметрами СНП.

Необхідність збільшення струмів пристроїв ФТРТ спричиняє завищення їхньої потужності. З урахуванням необхідності потенційної розв'язки між вузлами ФТРТ додаються певні складності при створенні джерел їхнього живлення.

Значно менші потужності потрібні для ланцюгів ФТРТ МОП – і IGBT-транзисторів, тому що їхнє керування є потенційним, а не струмовим.

Розрахунок силовій схемі перетворювача.

Розрахунок елементів перетворювача проводимо по методиці, приведеній в [3].

Визначаємо напругу звена постійної напруги:

$$U_d = \frac{U_{d0}}{k_u}, \quad (2.1)$$

де  $U_{d0}$  – випрямлена напруга,  $U_{d0} = U_n \cdot 2.34 = 380 \cdot 2.34 = 889 \text{ В}$ ;

$k_u$  – коефіцієнт запасу по напрузі,  $k_u = 1.05 \div 1.15$ , приймаємо  $k_u = 1.05$ ;

$$U_d = \frac{889}{1.05} = 846 \text{ В}$$

Визначаємо величину зворотної напруги (клас) силових напівпровідникових приладів (IGBT транзисторів), вживаних в автономному інверторі:

$$U_{обр.} = U_d \cdot k_1, \quad (2.2)$$

де  $k_1$  – коефіцієнт, що враховує можливі перенапруження в контактній мережі при спрацьовуванні розрядника від атмосферних перенапружень і наявність захисного модуля в ланцюзі тягового перетворювача  $k_1 = 1,5 \div 2,0$ .

$$U_{обр.} = U_d \cdot k_1 = 846 \cdot 2,0 = 1692 \text{ В}$$

Приймаємо транзистори 20-го класа ( $U_{обр.} = 2000 \text{ В}$ ).

Величину діючого значення першої гармоніки фазної напруги обмотки,

статора асинхронного двигуна, визначаємо за наступною формулою:

$$U_{1\phi(\text{ном})} = \frac{\sqrt{2}}{\pi} \cdot U_d = 0,45 \cdot U_d, \quad (2.3)$$

$$U_{1\phi(\text{ном})} = 0,45 \cdot 846 = 380 \text{ В}$$

Лінійна напруга обмотки дорівнює:

$$U_{1л(\text{ном})} = \sqrt{3} \cdot U_{1\phi(\text{ном})}, \quad (2.4)$$

$$U_{1л(\text{ном})} = \sqrt{3} \cdot 380 = 660 \text{ В}$$

Величина номінального струму фази статора при з'єднанні обмоток по схемі „зірка” визначається по формулі:

$$I_{1\phi(\text{ном})} = \frac{P_{\text{ном}} \cdot 10^3}{3 \cdot U_{1\phi(\text{ном})} \cdot \eta_{\text{дв}} \cdot \cos \varphi}, \quad (2.5)$$

де  $\eta_{\text{дв}}$  – коефіцієнт корисної дії асинхронного двигуна,  $\eta_{\text{дв}} = 0,94$ ;

$P_{\text{ном}}$  – номінальна потужність асинхронного тягового двигателя,  $P_{\text{ном}} = 75$  кВт;

$$\cos \varphi = 0,86 \div 0,9.$$

$$I_{1\phi(\text{ном})} = \frac{75 \cdot 10^3}{3 \cdot 380 \cdot 0,94 \cdot 0,9} = 78 \text{ А}$$

Пусковий діючий струм АІН рівний:

$$I_{1\phi(\text{пуск})} = 1,4 \cdot I_{1\phi(\text{ном})}, \quad (2.6)$$

$$I_{1\phi(\text{пуск})} = 1,4 \cdot 78 = 109 \text{ А}$$

Амплітудне значення пускового струму АІН рівне:

$$I_{1\phi(\text{ампл.})} = \sqrt{2} \cdot I_{1\phi(\text{пуск})}, \quad (2.7)$$

$$I_{1\phi(\text{ампл.})} = \sqrt{2} \cdot 109 = 154 \text{ А}$$

Максимальне значення струму на транзисторі АІН рівне:

$$I_{\text{т(max)}} = 1,15 \cdot I_{1\phi(\text{ампл.})}, \quad (2.8)$$

де 1,15 – коефіцієнт, що враховує пульсацію струму в ланцюзі фази статора асинхронного тягового двигуна.

$$I_{\text{д(max)}} = 1,15 \cdot 154 = 177 \text{ А}$$

Середній струм транзистора АІН рівний:

$$I_{T(cp)} = \frac{I_{T(max)}}{\sqrt{2} \cdot \pi} \cdot (1 + \cos \varphi), \quad (2.9)$$

$$I_{\delta(\bar{n}\delta)} = \frac{177}{\sqrt{2} \cdot \pi} \cdot (1 + 0,9) = 76 \text{ A}$$

Середнє значення струму в кожному діоді АІН рівне наближеному середньому значенню струму в транзисторі:

$$I_{\bar{a}(\bar{n}\delta)} = I_{\delta(\bar{n}\delta)} = 76 \text{ A}$$

Середнє значення струму в початковій стадії пуску визначається по формулі:

$$I_{T(пуск)} = \frac{I_{T(max)}}{\pi} \quad (2.10)$$

$$I_{\delta(\bar{i}\delta\bar{a}\bar{i})} = \frac{177}{\pi} = 56 \text{ A}$$

Граничне значення струму в транзисторі АІН, що замикається, рівне:

$$I_{\delta(\bar{i}\delta\bar{a}\bar{i})} = I_{\delta(\bar{i}\delta\bar{a}\bar{i})} = 56 \text{ A}$$

Струм, споживаний АІН, рівний:

$$I_d = 1,35 \cdot I_{I\Phi(max)} \cdot \cos \varphi \quad (2.11)$$

$$I_d = 1,35 \cdot 78 \cdot 0,9 = 95 \text{ A}$$

Потужність, підведена до АІН, визначається таким чином:

$$P_d = U_d \cdot I_d, \quad (2.12)$$

$$P_d = 846 \cdot 95 = 80,2 \text{ кВт}$$

Місткість фільтрового конденсатора ланки постійної напруги визначаємо по наступній формулі:

$$C = \frac{k_n \cdot I_d}{628 \cdot \Delta U_{c(max)}}, \quad (2.13)$$

де  $k_n$  – коефіцієнт пульсації випрямленого струму,  $k_n = 1,2 \div 1,3$

$\Delta U_{c(max)}$  – допустима пульсація напруги на конденсаторі, В

$$\Delta U_{c(max)} = 0,05 \cdot U_d = 0,05 \cdot 846 = 42,3 \text{ В (}$$

$$C = \frac{1,25 \cdot 96}{628 \cdot 42,3} = 4517 \text{ мкФ}$$

Місткість фільтрового конденсатора для придушення пульсації напруги, обумовленою роботою АІН, рівна

$$C' = \frac{I_{1(амл.)}}{2\pi \cdot f \cdot \Delta U_{c(\max)}}, \quad (2.14)$$

где  $f = 6 \cdot f_{1(ном)}$  – частота комутації

$$C' = \frac{154}{2\pi \cdot 6 \cdot 450 \cdot 42.3} = 193 \text{ мкФ}$$

Місткість фільтрового конденсатора, обумовлена придушенням пульсацій напруги, викликаних управлінням мережевим перетворювачем по методу ШІМ:

$$C'' = \frac{I_d}{8 \cdot f_{1(ном)} \cdot \Delta U_{c(\max)}}, \quad (2.15)$$

де  $f_{1(ном)}$  – тактова частота перетворювача

$$C'' = \frac{96}{8 \cdot 450 \cdot 42.3} = 630 \text{ мкФ}$$

Середнє значення струму у момент пуску:

$$I_{d\max} = I_d \cdot K, \quad (2.16)$$

де  $K$  – коефіцієнт перевантаження, приймаємо  $K=2.5$ .

$$I_{d\max} = 96 \cdot 2.5 = 240 \text{ А}$$

Струм фази перетворювача:

$$I_v = \frac{I_d}{3}, \quad (2.17)$$

$$I_v = \frac{96}{3} = 32 \text{ А}$$

Струм фази у момент пуску:

$$I_{v.\max} = \frac{I_{d.\max}}{3} \quad (2.18)$$

$$I_{v.\max} = \frac{240}{3} = 80 \text{ А}$$

Розрахунок дроселя для контуру випрямленого струму.

Граничний коефіцієнт  $K_{zp}=0.05$ .

Індуктивний опір мережі живлення для мостових схем:

$$X_d = 2 \cdot X_0 = 2 \cdot 0.48 = 0.96.$$

Граничне значення струму при  $\alpha_{max}$ :

$$I_{d.zp} = (0.05 \div 0.1) \cdot I_{d.n} = 0.05 \cdot 96 = 4,8 \text{ А}$$

Індуктивність дроселя:

$$L_{\tilde{a}} = \left( \frac{U_{d0}}{I_{d,\tilde{a}\tilde{b}}} \cdot K_{\tilde{a}\tilde{b}} - 2X_d \right) = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 50} \cdot \left( \frac{846}{4,8} \cdot 0,05 - 2 \cdot 0,96 \right) =$$

$$= 0,022 = 22 \cdot 10^{-3} \tilde{A}\tilde{l}$$

Обмеження пульсацій випрямленого струму:

Амплітуда першої гармоніки випрямленої напруги  $\frac{U_{dm}}{U_{d0}} = 0,2$ , при  $\alpha = 30^\circ$ :

$$U_{dm} = 0,2 \cdot 889 = 178 \text{ В.}$$

Допустиме діюче значення першої гармоніки струму:

$$I_I = (0,07 \dots 0,1) \cdot I_d = 0,1 \cdot 96 = 9,6 \text{ А.}$$

### 3. РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПЕРЕТВОРЮВАЧЕМ

#### 3.1 Вимоги до системи керування

Будь-яка система керування реалізує цілий ряд функціональних завдань у незалежності від того, який тип пристроїв є виконавчим. Проектована система заснована на напівпровідникових елементах, здатних працювати на більш високих частотах, що дозволяє одержати більш високу якість напруги на виході. Виконавчим силовим елементом у цьому випадку виступають IGBT модулі.

Нова система керування повинна забезпечувати контроль усіх параметрів роботи привода і містить наступні елементи та вузли:

- Контролер – здійснює загальне управління електроприводом. До складу контролера входять мікропроцесори, енергонезалежний запам'ятовуючий пристрій, ланцюги введення аналогових і цифрових сигналів, реле, ланцюги управління інвертором і зв'язку з пультом управління та із зовнішнім технологічним устаткуванням.

У програмі мікропроцесора реалізовані алгоритми оптимізації процесів горіння.

- Пульт управління – містить алфавітно-цифровий індикатор, світлодіоди, кнопки для виведення інформації і введення команд оператора електроприводу і ланцюга введення аналогових сигналів.

- Драйвери – призначені для безпосереднього управління транзисторами вихідного інвертора. Вони забезпечують гальванічну розв'язку ланцюгів управління щодо напруги силової частини і захист транзисторів вихідного інвертора від струмів короткого замикання.

- Блок аналогових входів – призначений для введення в систему управління сигналу від датчиків технологічних параметрів або аналогового задатчика.

- Датчик напруги – призначений для введення в систему управління величини випрямленої напруги на виході випрямляча.

- Датчики струму – призначені для вимірювання струму електроприводу, захисту електроприводу.
  - Блок живлення власних потреб – призначений для перетворення напруги ланки постійного струму вхідної або трифазної змінної напруги, необхідні для функціонування системи управління електроприводом.
  - Блок живлення контролера – призначений для формування напруги живлення датчиків струму і живлення контролера.
  - Блок живлення зовнішніх навантажень – призначений для формування напруги живлення датчиків технологічних параметрів і аналогового датчика.
- СІФК – призначена для управління вхідним силовим випрямлячем.

### 3.2 Керування IGBT модулями за допомогою драйверів

Біполярний транзистор з ізолюваним затвором (IGBT - *Insulated Gate Bipolar Transistors*) – повністю керований напівпровідниковий прилад, в основі якого тришарова структура. Його ввімкнення й вимикання здійснюються подачею й зняттям позитивної напруги між затвором і джерелом.

IGBT є продуктом розвитку технології силових транзисторів зі структурою метал-оксид-напівпровідник, керованих електричним полем (MOSFET-*Metal-Oxid-Semiconductor-Field-Effect-Transistor*) і поєднують у собі два транзистори в одній напівпровідниковій структурі: біполярний (утворюючий силовий канал) і польовий (утворюючий канал керування). Прилад уведений у силовий ланцюг виводами біполярного транзистора Е (емітер) і С (колектор), а в ланцюг керування - виводом G (затвор).

Таким чином, IGBT має три зовнішніх виводи: емітер, колектор, затвор. З'єднання емітера й стоку (D), бази й джерела (S) є внутрішніми. Сполучення двох приладів в одній структурі дозволило об'єднати переваги польових і біполярних транзисторів: високий вхідний опір з високим струмовим навантаженням і малим опором у ввімкненому стані.

Процес включення IGBT можна розділити на два етапи: після подачі позитивної напруги між затвором і джерелом відбувається відкриття польового транзистора (формується n - канал між джерелом і стоком). Рух зарядів з області n в область p призводить до відкриття біполярного транзистора й виникненню струму від емітера до колектора. Таким чином, польовий транзистор керує роботою біполярного.

Область безпечної роботи IGBT дозволяє успішно забезпечити його надійну роботу без застосування додаткових ланцюгів формування траєкторії перемикачів при частотах від 10 до 20 кГц для модулів з номінальними струмами в кілька сотень амперів. Такими якостями не володіють біполярні транзистори, з'єднані за схемою Дарлінгтона.

Так само як і дискретні, MOSFET витиснули біполярні в ключових джерелах живлення з напругою до 500 В, так і дискретні IGBT роблять те ж саме в джерелах з більш високими напругами (до 3500 В).

Зараз транзистори IGBT випускаються, як правило, у вигляді модулів у прямокутних корпусах з однобічним притиском й охолодженням ("Mitsubishi", "Siemens", "Semikron" й ін.) і таблетковому виконанні із двостороннім охолодженням ("Toshiba Semiconductor Group"). Модулі з однобічним охолодженням виконуються в міцному пластмасовому корпусі з паяними контактами й ізольованою підставою. Всі електричні контакти перебувають у верхній частині корпуса. Відвід тепла здійснюється через основу.

Сучасні IGBT-модулі знаходять сьогодні широке застосування при створенні некерованих і керованих випрямлячів, автономних інверторів для живлення двигунів постійного і змінного струму середньої потужності, перетворювачів індукційного нагрівання, зварювальних апаратів, джерел безперебійного живлення, побутової й студійної техніки.

Струм керування IGBT малий, тому ланцюг керування – драйвер конструктивно компактний. Найбільш доцільно розташовувати ланцюги драйвера в безпосередній близькості від силового ключа. У модулях IGBT драйвери безпосередньо включені в їхню структуру. "Інтелектуальні" транзисторні модулі (ITM), виконані на IGBT, також містять "інтелектуальні"



пристрої захисту від струмів короткого замикання, системи діагностування, що забезпечують захист від зникнення керуючого сигналу, одночасної провідності в протилежних плечах силової схеми, зникнення напруги джерела живлення й інших аварійних явищ. У структурі ІТМ на IGBT передбачається в ряді випадків система керування із широтно-імпульсною модуляцією (ШІМ) і однокристальна ЕОМ. У багатьох модулях є схема активного фільтра для корекції коефіцієнта потужності й зменшення вмісту вищих гармонійних у живильній мережі.

При проектуванні силової схеми перетворювача були обрані IGBT транзистори японської фірми HITACHI MBN400D33;

Для даного типу модулів, відповідно до рекомендацій [12, 13] вибираємо керуючий драйвер типу IGD608 Швейцарської фірми ST-Concept Technology Ltd.

Одним з основних ланок драйвера є імпульсний стабілізатор напруги. Його завданням є гальванічна розв'язка напруги джерела живлення всієї системи керування й робочою напругою IGBT транзистора керованого конкретним драйвером. Гальванічна розв'язка досягається за допомогою імпульсного трансформатора з напругою ізоляції 8 кВ. До вторинної обмотки трансформатора підключений випрямний блок для подачі напруги на структурні вузли драйвера. Вхідна позитивна напруга в діапазоні 12 – 16 В подається на вивод VCC (10). Струм споживання драйвером становить 450 мА. Загальний провід підключається до виводів GND (1, 2, 3, 4, 9). До виводів Cs й COM підключається зовнішній стабілітрон на напругу 16 В конденсатор згладжувального фільтра ємністю не менше 250 мкф. На вході також встановлюється накопичувальний конденсатор ємністю не менше 250 мкФ. Типова напруга живлення по входу становить 15 В.

Вхідні імпульси запуску надходять на виводи IN+ й IN- (17, 18). До імпульсів пред'являються вимоги обмеження максимального робочого струму - не більше 30 мА, типове значення 10 мА. Через блок вхідного ланцюга, трансформаторний зв'язок і приймач імпульсів, імпульс керування надходить на блок керуючої логіки.

Блок керуючої логіки призначений для формування необхідної форми керуючого імпульсу на затворі IGBT транзистора. Крім того на керуючу логіку надходить інформація із блоку перевірки напруги, блоку перевірки нагрівання силового IGBT транзистора.

Керуюча логіка подає імпульс необхідної форми на підсилювач, з виходу G (25) якого він подається на затвор IGBT транзистора через проміжний опір величиною 5,6 Ом. Емітер IGBT транзистора підключається до виводу драйвера E (22).

Крім того, управляюча логіка подає імпульси на контролер спрацьовування, що представляє собою ланку зворотнього зв'язку між драйвером і системою керування. Контролер спрацьовування зв'язується із системою керування через оптронний зв'язок і виходи стану SO+ й SO- (15, 16). Залежно від типу системи керування можуть підключатися, у випадку мікропроцесорної системи керування, а можуть бути не підключені. Через вивід драйвера Сб підключається ланцюг корекції, що складається з конденсатора ємністю 330 нФ.

Затвор IGBT транзистора захищений зустрічно включеними стабілітронами на напругу стабілізації не більше 15 В. Типова напруга керування на затворі IGBT транзистора становить 12 В і формується підсилювачем.

Блок перевірки перегріву силового IGBT транзистора підключається через висновки ME й Ref (19, 21). Якщо перевірка перегріву не виконується, то вивід Ref повинен бути з'єднаний з виводом E через стабілітрон на напругу стабілізації 7,5 В, а вивід ME через опір 68 Ом з виводом E и конденсатор 5,6 нФ із виводом COM.

Обраний драйвер гарантує час наробітку на відмову 2,5 млн. годин при розсіюваній потужності 6 Вт. Може забезпечувати імпульсний струм 8 А при тривалості імпульсу 1 мс. Діапазон робочих температур від мінус 40 до плюс 105 °С. робоча частота вбудованого блоку живлення становить 100 кГц.

З аналізу роботи й перерахованих характеристик бачимо, що необхідно створення блоку живлення на напругу 15 В, що забезпечує струм живлення драйвера не менше  $I_d=450$  мА. Через те, що застосовується n=6 драйверів IGD608, то струм джерела живлення складе:

$$I_{БП} = n \cdot I_{Д}, \quad (3.1)$$

$$I_{БП} = 6 \cdot 0,45 = 3,15 \text{ А.}$$

Тому що драйвер сам по собі виконує гальванічну розв'язку, то це дозволить знизити кількість додаткових елементів схеми й збільшити надійність.

### 3.3 Розробка системи керування драйверами

Керуючі драйвери одержують вхідні впливи від системи керування. При цьому струм керування повинен становити не менше 10 мА й не більше 30 мА згідно з паспортними даними драйвера [12, 13].

У спроектованій силовій схемі шість IGBT транзисторів виконують роль автономного трифазного інвертора за мостовою схемою. Таким чином, перші шість транзисторів мають свій чітко визначений алгоритм роботи, який можна виконати в програмному режимі або створити складний генератор імпульсів, що має шість вихідних каналів зсунутих один відносно іншого.

Для мікропроцесорної системи реалізація комутатора фаз достатньо проста й нераціональна, через мале використання обчислювальних потужностей навіть відносно простих мікропроцесорів. Функцію комутатора каналів досить просто реалізувати на типовому мікроконтролері.

Мікроконтролер – пристрій, що виконує функції логічного аналізу й керування; реалізується на одному або декількох кристалах. За рахунок скорочення функцій по виконанню арифметичних операцій зменшується їхня апаратна складність і розвивається функція логічного керування.

Вибираємо однокристальний мікроконтролер загальпромислового застосування типу K1816BE48 [14, 15, 16].

Дана однокристальна мікроЕОМ у єдиному корпусі містить повний набір елементів для реалізації всіх функцій, необхідних для побудови цифрової системи обробки даних і використовується в різноманітних системах

автоматичного керування. Умовне графічне позначення мікросхеми представлено на рисунку 3.1.

Мікросхема конструктивно виконана в 40-вивідному корпусі, має ультрафіолетовий перепрограмувальний постійний запам'ятовувальний пристрій ємністю 1 *Кбайт*, обсяг пам'яті даних ємністю 64 байт. Всі виводи електрично сумісні з виводами мікросхем серій ТТЛ за рівнями напруг і струмів. Максимальна тактова частота 6 МГц. Напруга живлення 4,75 – 5,25 В. Далі наведемо призначення виводів зображеної мікросхеми. З огляду на, що у вітчизняній літературі відсутня однаковість у ряді символічних імен виводів, у даному описі вони приводяться у двох варіантах. У дужках вказується номер виводу.

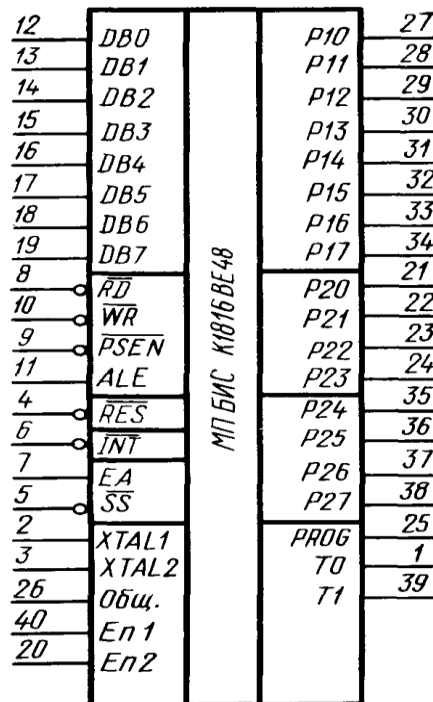


Рисунок 3.1 – Умовне графічне позначення мікросхеми K1816BE48

T0 (1) і T1 (39) – входи сигналу, що перевіряє за допомогою команд умовного переходу.

X1 (2) – вхід зовнішнього синхронізуючого імпульсу ( від 1 до 6 МГц) або вхід підключення кварцового осцилятора.

X2 (3) – другий вхід для підключення кварцового осцилятора.

СКИДАННЯ, RES (4) – вхід, по якому відбувається ініціалізація процесора (загальне скидання).

КРОК, SS (5) – вхід, що використовується при покроковому виконанні програми.

ЗПР, INT (6) – вхід переривання.

РВД, EA (7) – вхід сигналу зовнішнього доступу.

ЧТ, RD (8) – вихідний стробуючий сигнал при читанні із зовнішньої пам'яті.

РВП, PSEN (9) – сигнал, що дозволяє звертання до зовнішньої пам'яті програм.

ЗП, WT (10) – вихідний строб, що діє під час запису із шини процесора в зовнішню пам'ять даних або пристрою вводу-виводу.

САВП, ALE (11) – строб адреси зовнішньої пам'яті.

Порт BUS.0-7 (12-19) – двонаправлений 8-розрядний канал.

ЗЕМЛЯ, V<sub>SS</sub> (20) – потенціал землі.

Порт P.0-7 (21-24, 35-38) – квазидвонаправлений 8-розрядний порт вводу-виводу даних.

ПРОГ/СТБВВ, PROG (25) – вхід програмуючого імпульсу +25В; вихід стробуючого сигналу керування вводом-виводом.

V<sub>ДОП</sub>, V<sub>DD</sub> (26) – живлення для програмування СППЗУ; +25 В під час програмування, +5 В під час роботи для СППЗУ.

Порт P1.0-7 (27-34) – квазидвонаправлений 8-розрядний порт вводу-виводу даних.

V<sub>ОСН</sub>, V<sub>СС</sub> – основне живлення +5 В подається під час роботи та при програмуванні СППЗУ.

Програма комутатора каналів буде займати досить мало місця, тому не передбачаємо підключення додаткових програмних пристроїв.

Для керування шістьма драйверами використаємо порти P1.0-5 (27-32). Сигнали на драйвери надходять через проміжні підсилювачі, тому що вихід мікроконтролера дозволяє одержати струм 0,4 мА при рівні логічної одиниці ТТЛ.

### 3.4 Розрахунок генератора тактових імпульсів

З [17] приймаємо схему генератора прямокутних імпульсів виконану на логічних елементах типу 2И-НІ DD1.1-1.4. На елементах DD1.1-1.2 виконаний мультівібратор. Елементи DD1.3-1.4 застосовуються, щоб уникнути можливого жорсткого порушення коливань у момент підключення напруги живлення, так званого замерзання мультівібратора. Мультівібратор виконуємо на інтегральній мікросхемі К155ЛА3.

Резистори R1 й R2 підбираються за умови обмеження вихідного струму інтегральної мікросхеми в стані логічної одиниці.

$$R_1 = R_2 \geq \frac{U_{ВВХ}^1}{I_{ВВХ}^1}, \quad (3.2)$$

де  $U_{ВВХ}^1 = 4,5 \text{ В}$  – напруга логічної одиниці на виході елемента [18];

$I_{ВВХ}^1 = 0,4 \text{ мА}$  – струм логічної одиниці обраного елемента.

$$R_1 = R_2 \geq \frac{4,5}{0,4} = 11250 \text{ Ом} \quad (3.3)$$

Приймаємо відповідно до ДСТУ 2825 – 67 зі стандартного ряду опорів E24 [19] величину опору  $12 \text{ кОм}$ .

Тривалість імпульсу визначимо по формулі:

$$t_H = \frac{1}{Q \cdot f}, \quad (3.4)$$

де  $Q$  – шпаруватість. Т.к. у цьому випадку шпаруватість не грає ролі, а необхідно лише наявність переднього фронту імпульсу, то приймаємо її рівної 2.

$$t_H = \frac{1}{2 \cdot 900} = 0,000555 \text{ с.}$$

Параметри формуючих конденсаторів визначимо по формулі:

$$t_{\dot{E}} = C \cdot (R_{\dot{A}\dot{E}\dot{O}}^1 + R_1) \cdot \ln \frac{U_{\dot{A}\dot{E}\dot{O}}^1}{U_{\dot{A}\dot{D}}}, \quad (3.5)$$

де  $R_{\dot{A}\dot{E}\dot{O}}^1 = 2,5 \text{ кОм}$  – вихідний опір закритого елемента;

$U_{ГР} = 1,8 \text{ В}$  – гранична напруга елемента.

Ємність конденсатора визначаємо по перетвореній формулі:

$$C = \frac{t_H}{(R_{BBLX}^1 + R_1) \cdot \ln \frac{U_{BBLX}^1}{U_{ПОР}}},$$

$$C = \frac{0,000555}{(2500 + 12000) \cdot \ln \frac{4,5}{1,8}} = 41 \cdot 10^{-9} \Phi.$$

Приймаємо зі стандартного ряду E24 ємності конденсаторів  $C1=43 \text{ нФ}$ , а  $C2=39 \text{ нФ}$ .

#### 4. АНАЛІЗ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ ПРИ ПУСКУ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ЗА ДОПОМОГОЮ КОМП'ЮТЕРНОЇ МОДЕЛІ.

Аналіз перехідних процесів виконувався за допомогою комп'ютерної моделі. Вихідні дані, які використовувалися для розрахунку цієї системи: випрямлена напруга на вході інвертора (розраховувалась раніше) та параметри двигуна за схемою заміщення [3] рисунок 5.1

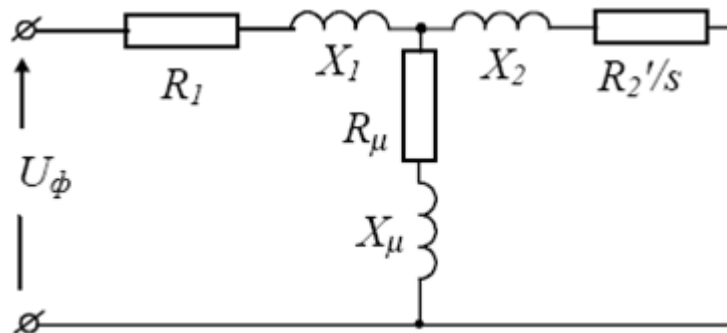


Рисунок 4.1 – Т-образна схема заміщення асинхронного двигуна

Модель системи перетворювач – асинхронний двигун (ПЧ-АД) в середовищі MatLab та Simulink представлена на рисунку 5.2.

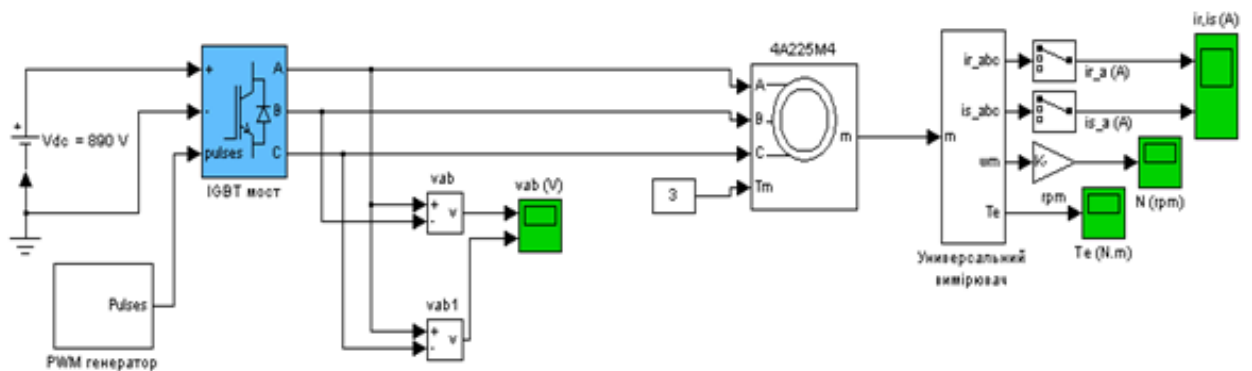


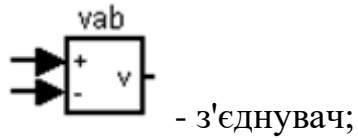
Рисунок 4.2 - Комп'ютерна модель системи ПЧ-АД

Позначення в схемі:



- задатчик констант;





Після побудови моделі були отримані перехідні процеси при пуску електропривода моделі системи перетворювач – асинхронний двигун (ПЧ-АД), які приведені на рисунках 4.3 та 4.4.

Сучасні програмні засоби дозволяють дослідити усі режими електроприводу, ще на етапі проектування, що значно зменшує витрати коштів та часу і надає можливість проводити якісний аналіз перехідних процесів в ньому.

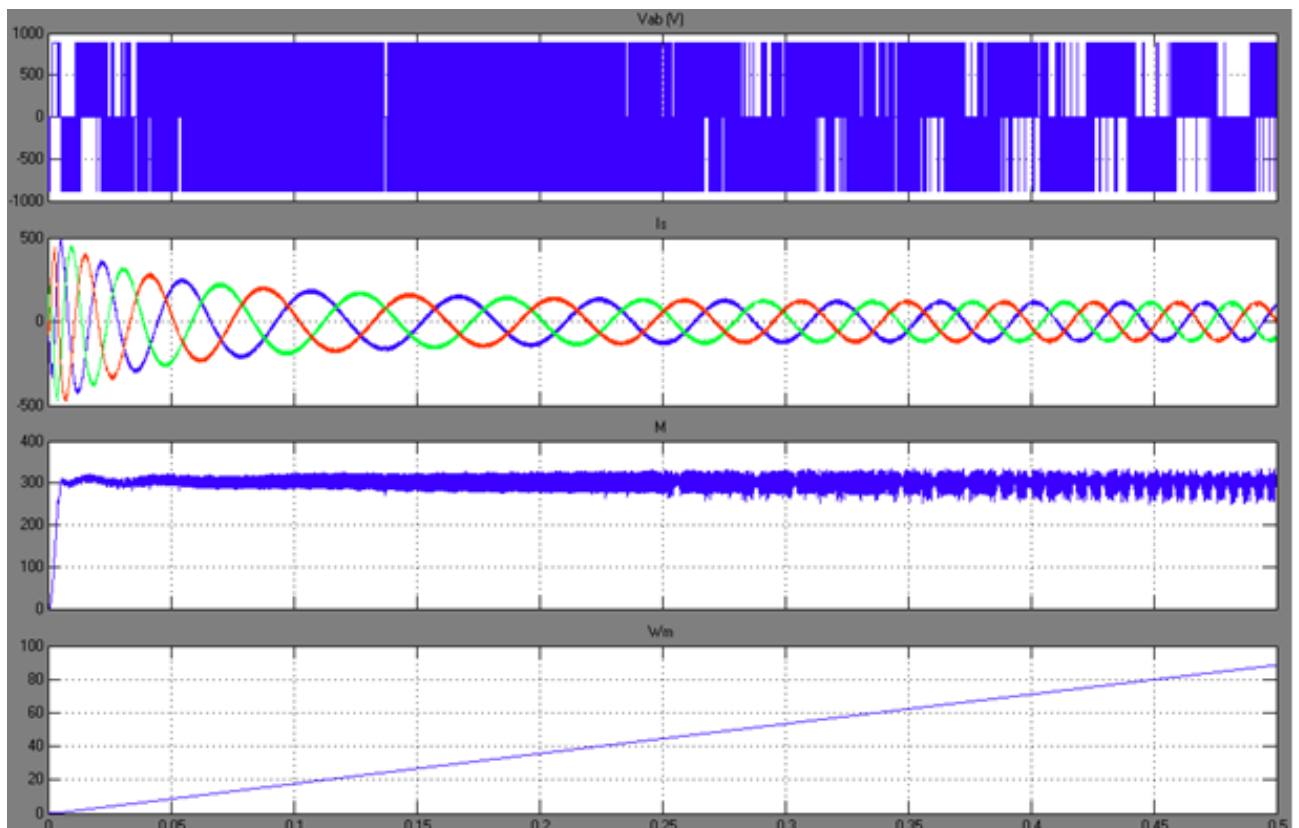


Рисунок 4.3 Перехідний процес при пуску АД під навантаженням

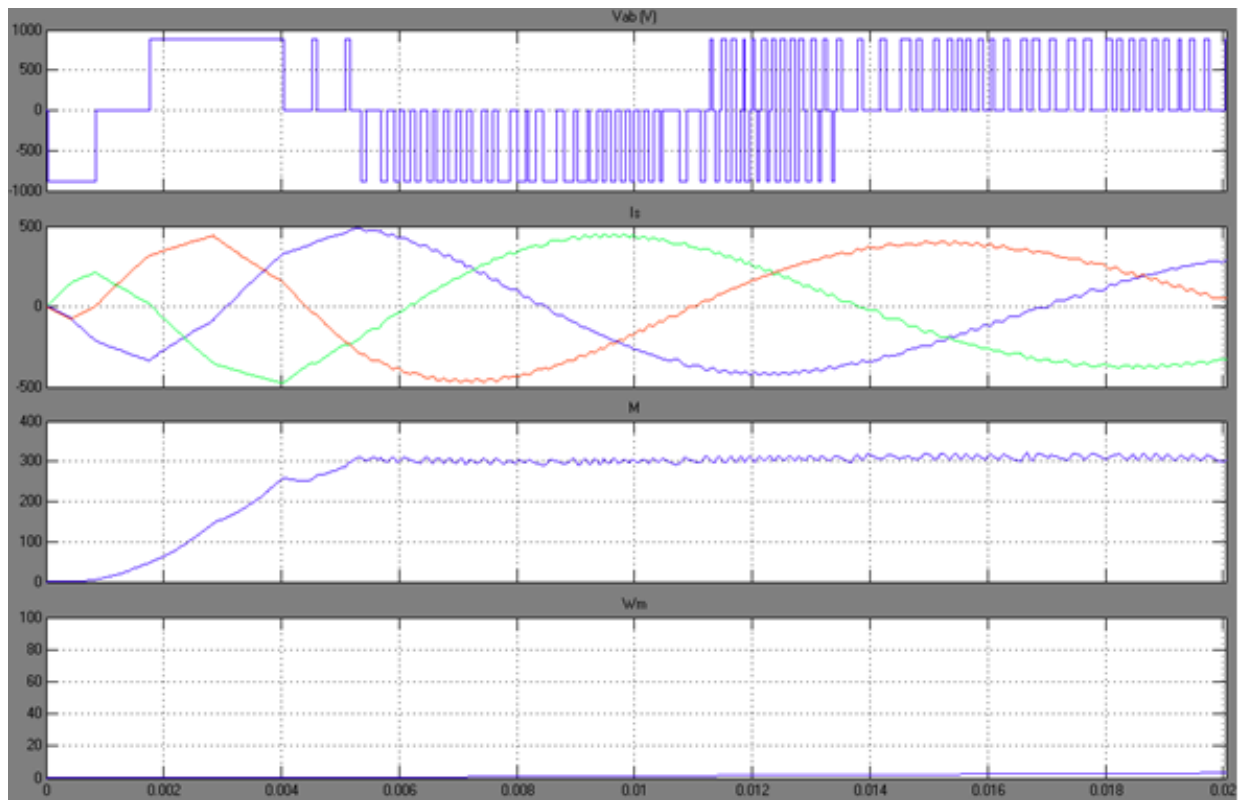


Рисунок 4.4 - Перехідний процес при пуску АД під навантаженням

## 5. ЕКОНОМІЧНИЙ ЕФЕКТ ВІД ВПРОВАДЖЕННЯ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ЗАХОДІВ

З аналізу електроспоживання цеху за місяць видно, що найбільше споживання електричної енергії припадає на сушильні барабани. А саме на електропривід димососа. На рисунку 5.1, зображено загальний вид асинхронного двигуна димососа сушильного барабану до якого встановлюється перетворювач частоти, за паспортними даними якого буде обрано ПЧ.



Рисунок 5.1 – Загальний вид асинхронного двигуна 5AM280S6e3Y3

Вибір перетворювача частоти проводиться за паспортними даними асинхронного двигуна, які наведені у таблиці 5.1. та за формулами які подані у підрозділі 2.2. Асинхронні двигуни димососа є основними споживачами електричної енергії в сушильному обладнанні, мають великий ККД для споживачів більше 100 кВт.

Таблиця 5.1 – Характеристика двигуна асинхронного двигуна.

Параметри	Характеристика
Серія	5AM280S6e3Y3
Потужність, кВт	75
Кількість обертів, об/хв.	750
Коефіцієнт потужності	0,84
Струм при 380В, А	141,0
ККД, %	93,8
Відношення пускового струму до номінального	2,0
Маса, кг	790

На рисунку 5.2 подано зальний вид перетворювач частоти Lenze 8200.



Рисунок 5.2 – Загальний вид перетворювача частоти Lenze

У таблиці 5.2 наведено основні характеристики перетворювача Lenze.

Таблиця 5.2 - Характеристики перетворювача Lenze.

Параметри	Характеристика
Бренд	Lenze
Потужність	150.00 кВт
Кількість фаз/напруги на вході	3-ф/380 (трифазний 380в) В
Кількість фаз/напруги на виході	3-ф/380 В
Струм номінальний	200.00 А
EMC фільтр	+
Вбудований регулятор	ПД
Ціна	230261 грн

Наступний найдешевший перетворювач частоти зображено на рисунку 5.3.



Рисунок 5.3 – Загальний вид перетворювача частоти КЕВ

Основні характеристики ПЧ бренду КЕВ наведені у таблиці 5.3

Таблиця 5.3 - Характеристики перетворювача КЕВ

Параметри	Характеристика
Бренд	КЕВ
Серія	Combivert F5 Compact
SKU	23.F5.C0R/C2R-940A
Потужність	150.00 кВт
Кількість фаз/напруги на вході	3-ф/380 (трифазний 380в) В
Кількість фаз/напруги на виході	3-ф/380 В
Струм номінальний	200.00 А
Ступінь захисту по IP	20
Вбудований регулятор	ПД
Скалярний режим управління	+
Ціна	173003 грн

На рисунку 5.4 подано загальний вид популярного серед споживачів перетворювач частоти Schneider. З таблиці 5.4 видно один з найголовніших параметрів перетворювача частоти, наявність аналогового входу типу 4-20 мА.



Рисунок 5.4 – Загальний вид перетворювача частоти Schneider

Наявність цієї характеристики надає можливість подальшого вирішення автоматичної установки заданого режиму роботи з пульта контрольно-вимірювальних пристроїв

Таблиця 5.4 – Характеристики перетворювача Schneider.

Параметри	Характеристика
Бренд	Schneider Electric
Потужність	150.00 кВт
Кількість фаз/напруги на вході	3-ф/380 (трифазний 380в) В
Кількість фаз/напруги на виході	3-ф/380 В
Струм номінальний	200.00 А
Максимальна вихідна частота	500 Гц
Ступінь захисту по ІР	20
Линейний закон управління $U/f$	+
Квадратичний закон управління $U/f^2$	+
Максимальна кількість фіксованих швидкостей	16
Кількість/тип аналогових виходів	1: 0-10V або 0(4)-20mA
Кількість релейних виходів	2
Протокол Ethernet IP	VW3A3E316
Ціна	238848 грн

Розрахунок повної пускової потужності двигунів:

$$S_{\text{пуск.АД}} = \frac{75 \cdot 2}{0,938 \cdot 0,84}, \quad (5.1)$$

Розрахунок потрібного пускового струму АД:

$$I_{\text{пуск.АД}} = 141 \cdot 2, \quad (5.2)$$

$$I_{\text{пуск}}^* = 2, \quad (5.3)$$

Наступні умови для частотного перетворювача:

$$150 \text{ кВт} \geq 126 \text{ кВт}, \quad (5.4)$$

$$200 \text{ А} \geq 188 \text{ А}, \quad (5.5)$$

Частотний перетворювач Schneider задовільняє умовам вибору ПЧ.

Враховуючи характер навантаження сушильного барабана сировиною за технологією, на рисунку 3.5 показано зміну електричного навантаження на асинхронний двигун.

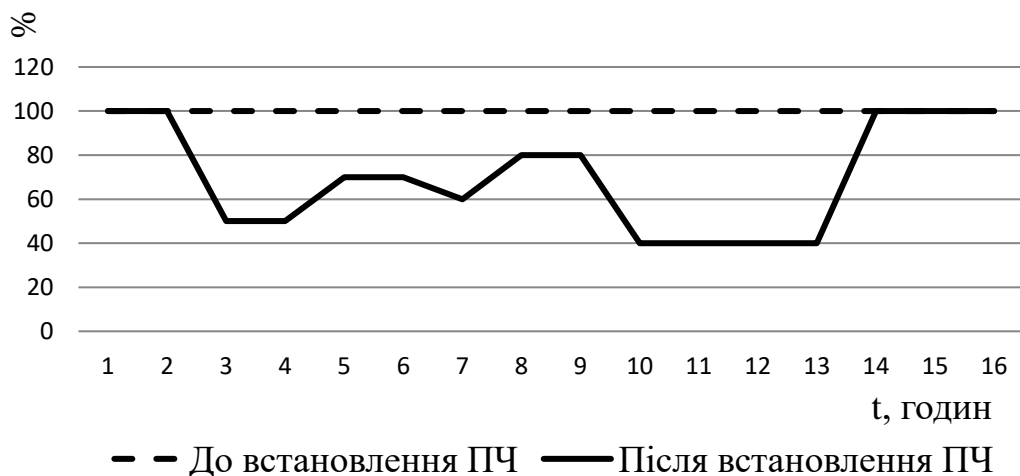


Рисунок 5.5 – Графік зміни навантаження електричного двигуна

Зниження навантаження електричного двигуна, тягне зниження споживання електричної енергії. Метод розрахунку економічної доцільності проекту:

З технологічного процесу сушильний барабан працює 16 годин, з частотним перетворювачем кожна година має різний процент використання повної потужності електричного двигуна димососа.

Формули для розрахунку:

Формула для розрахунку потужності яка зекономиться за n-у годину:

$$W_e^n = W \cdot (1 - K^n), \quad (3.6)$$

де  $W$  – потужність електродвигуна димососа,

$K_n$  – коефіцієнт використання після встановлення перетворювача частоти, який вказано у таблиці 5.5.

$$W_e^1 = 75 \cdot (1 - 1) = 75 \text{ кВт}. \quad (3.7)$$

Результати розрахунків за формулою приведені в таблиці 5.6.

Таблиця 5.5 – Коефіцієнт використання потужності двигуна

Година	1	2	3	4	5	6	7	8
Коефіцієнт n-ої години	1	1	0,5	0,5	0,7	0,7	0,6	0,8
Година	9	10	11	12	13	14	15	16
Коефіцієнт n-ої години	0,8	0,4	0,4	0,4	0,4	1	1	1

На рисунку 5.6 зображено діаграму зміни річного споживання електричної енергії пов'язані з встановленням перетворювача частоти на електричний двигун димососа сушильного барабану. В таблиці 5.6



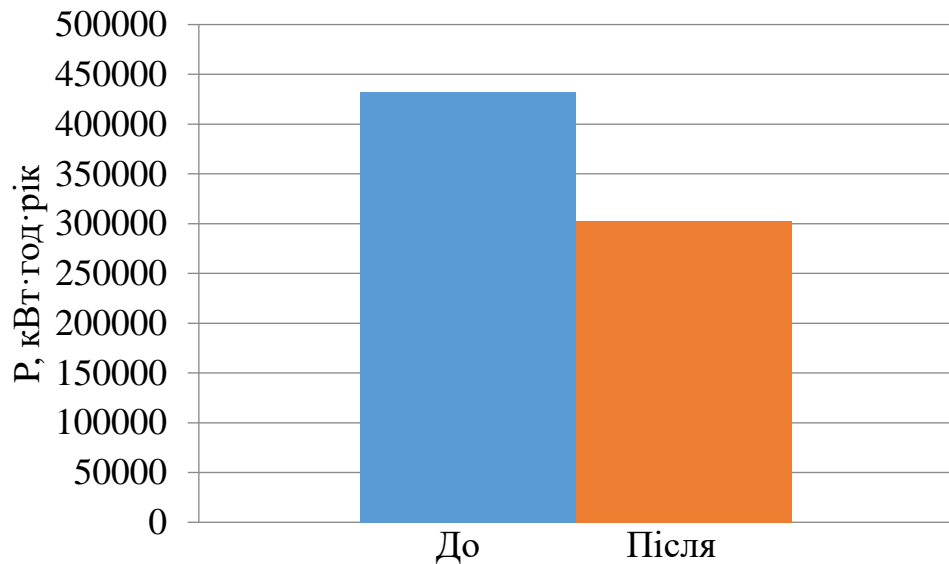


Рисунок 5.6 – Діаграма економічного ефекту після встановлення ПЧ

Формули для розрахунку РП:

$$РП = \sum W_e^n \cdot T \cdot 365, \quad (5.8)$$

де  $T$  – дійсний тариф;  $T=2,49$  грн·кВт·год;

$\sum W_e^n$  – зекономлена потужність за добу;

$$РП = 360 \cdot 2,49 \cdot 360 = 322704 \text{ грн.} \quad (5.9)$$

Таблиця 5.6 – Результати розрахунків за формулою.

Година	1	2	3	4	5	6	7	8
Потужність, кВт	0	0	37.5	37.5	22.5	22.5	30	15
Година	9	10	11	12	13	14	15	16
Потужність, кВт	15	45	45	45	45	0	0	0
Сумарна потужність	360							

На рисунку 5.7 зображено економічний ефект установки ПЧ до асинхронного двигуна димососа у грошовому еквіваленті.

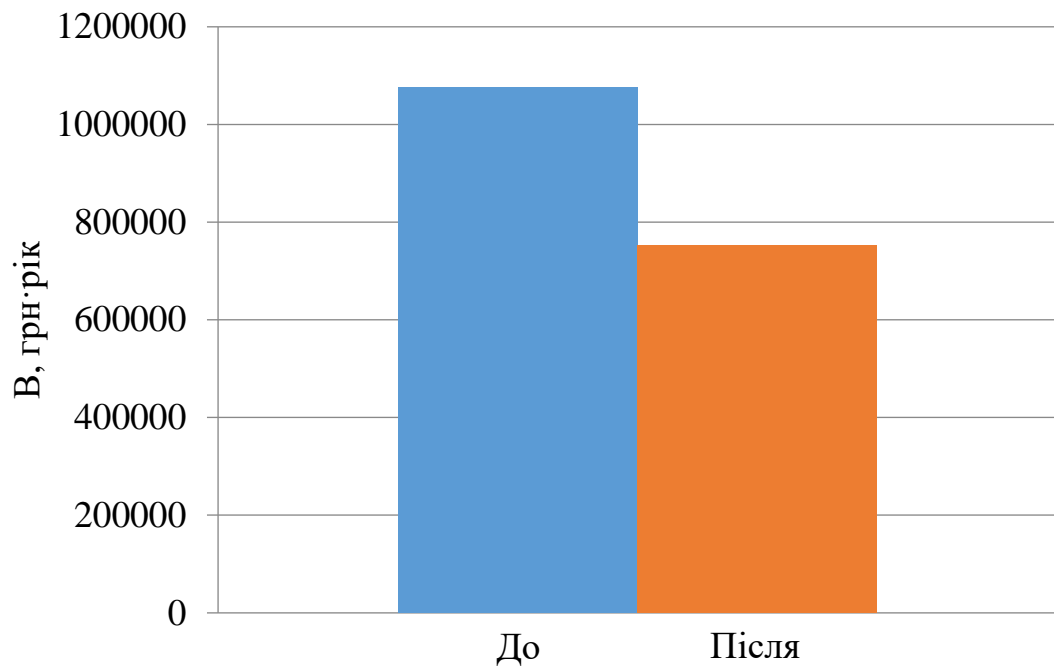


Рисунок 5.7 – Економічний ефект встановлення ПЧ

Формула для розрахунку терміну окупності:

$$PP = \frac{KB}{PP}, \quad (5.10)$$

де  $KB$  – розмір капіталовкладень;

$PP$  – річний прибуток;

$$PP = \frac{238848}{322704} = 0,74 \text{ року.} \quad (5.11)$$

Термін окупності становить 9 місяців. Проект є рентабельним, адже термін окупності менше 5 років. Заходи щодо встановлення перетворювачів частоти вже не були актуальним через високу вартість обладнання. Але з кожним роком вони становляться все більш доступними через збільшення конкуренції ринку.

## 6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА

### 6.1 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів

До обов'язків формувальника входить: формування вручну або хвостовим молотком динасових, магнезійних та шамотних виробів нескладної конфігурації, а також тих, що мають на поверхні виступи, поглиблення, виїмки, гострі кути; карбідокремнієвих стержнів на механічному вібраційному верстаті і виливання гіпсових форм. Формування плавлених вогнетривів і смолопекової заготівки. Заповнення форм формовою масою і трамбування її і заготівок у спеціальній формі за допомогою пневматичного молотка. Опрання сформованих виробів, маркування їх, посипання дрібним піском або шамотом, укладання виробів на рівні щитки і віднесення їх на вагонетки або в сушила. Складання, розбирання і змащення форм. Транспортування сформованих виробів у сушила. Формування карбідокремнієвих стержнів на вібростолі вручну. Виявлення і усунення несправностей в роботі устаткування, що обслуговується. Налагодження механічного вібраційного верстата.

Кожний формувальник повинен знати: будову і правила технічної експлуатації хвостового молотка, механічного вібраційного верстата, вимірювального інструменту; будову і правила технічної експлуатації підйомних механізмів; склад і властивості формових мас і суспензій; види і розміри форм; способи готування формових мас; правила транспортування виробів; режим сушіння виробів; способи формування; прийоми опрання виробів; види браку під час формування і способи його попередження; правила читання креслень; слюсарну справу.

Основними небезпечними і шкідливими факторами при обслуговуванні обладнання шамотного цеху, є:

- машини і механізми, що рухаються (вантажопідйомні крани, пересувний бункер) тощо;

- вантажі, що переносяться кранами;
- падаючі предмети (деталі форм, інструмент тощо);
- небезпечний рівень напруги в електричному колі, замикання в якому може відбутися через тіло людини.

Основні шкідливі виробничі фактори :

- підвищена запиленість повітря робочої зони;
- підвищений рівень шуму на робочому місці;
- підвищений рівень вібрації;
- знижена температура повітря робочої зони.

Шкідливі фактори можуть призвести до професійних захворювань.

## 6.2 Технічні рішення по гігієні праці й виробничої санітарії

Мікроклімат робочої зони визначається такими параметрами як температура, відносна вологість повітря, теплове випромінювання, які, виходячи з категорії виконуваних робіт по важкості, характеристики приміщень, по надлишках явного тепла з урахуванням періоду року (теплий, перехідний, холодний) устанавлюємо відповідно до вимог .

Оптимальний мікроклімат у приміщенні забезпечує підтримка теплової рівноваги між організмом і навколишнім середовищем.

У таблиці 6.1 наведені значення прийнятих припустимих (оптимальних) параметрів повітряного середовища в робочій зоні робочої ділянки.

За нормативними величинами та даними наведеними у таблиці 5.1 можна зробити висновок , що мікроклімат у цеху відповідає вимогам.

Таблиця 6.1 – Нормовані величини температури, відносної вологості й швидкості руху повітря в робочій зоні виробничих приміщень

Період року	Категорія робіт	Температура			Відносна вологість		Швидкість руху, м/с	
		Оптимальна	Допустима		Оптимальна	Допустима	Оптимальна, не більш ніж	Допустима на робочих місцях
			Верхня межа	Нижня межа		На робочих місцях, не більше		
			Постійна	Постійна				
Холодний	Середньої важкості 2а	18-20	23	17	40-60	75	0,2	Не більш ніж 0
Теплий	Середньої важкості 2а	21-23	27	18	40-60	60 при 27°C	0,3	0,2-0,4

### 6.3 Освітлення виробничих приміщень

У зв'язку з тим, що природне освітлення приміщення здійснюється через віконні отвори і є дуже слабким, на робочому місці має застосовуватися також штучне освітлення. Штучне освітлення створюють електричним джерелом світла, яке включають в міру необхідності, регулюють інтенсивність світлового потоку і його спрямованість.

Виконаємо розрахунок штучного освітлення по методу світлового потоку.

Довжина приміщення – 8 м, ширина – 6 м, висота – 3 м. Розрахункова висота:

$$h = 3 - 0,8 = 2,2 \text{ м}, \quad (6.1)$$

де 0,8 м – висота розрахункової поверхні.

Площа приміщення:

$$S = 6 \cdot 8 = 48 \text{ м}^2. \quad (6.2)$$

Визначимо індекс приміщення:

$$i = \frac{A \cdot B}{(A + B) \cdot h}, \quad (6.3)$$

де  $A$  і  $B$  – довжина та ширина приміщення, м;

$h$  – висота підвісу світильників над розрахунковою поверхнею, м.

$$i = \frac{6 \cdot 8}{(6 + 8) \cdot 2,2} = 1,56.$$

Оскільки стіни і стеля приміщення бетонні, то приймаємо коефіцієнт віддзеркалення стелі і стін  $\rho_{стелі} = 50 \%$ ,  $\rho_{стін} = 30 \%$  відповідно.

Коефіцієнт використання світлового потоку становить  $\eta = 50 \%$ .

Необхідний світловий потік ламп світильників:

$$F = \frac{E \cdot k_3 \cdot S \cdot z}{N \cdot \eta}, \quad (6.4)$$

де  $E$  – найменша нормована освітленість,  $E = 300$  лк, так як розряд зорових робіт дорівнює 3;

$k_3$  – коефіцієнт запасу,  $k_3 = 1,4$ ;

$S$  – площа приміщення,  $\text{м}^2$ ;

$z$  – поправочний коефіцієнт для переходу від найменшої освітленості до середньої (зазвичай значення його набувають в межах 1,1 – 1,2),  $z = 1,1$ ;

$N$  – кількість світильників;

$\eta$  – коефіцієнт використання, тобто відносна доля потоку лампи, падаюча на поверхню  $S$ .

Розрахуємо за формулою (5.4) добуток  $F \cdot N$ .

$$F \cdot N = \frac{300 \cdot 1,4 \cdot 48 \cdot 1,1}{0,5} = 44352 \text{ лм.}$$

Знайдемо необхідне число ламп. Для освітлення виробничих приміщень вибір джерел світла проводять з врахуванням освітленості. При освітленості від 150 до 300 лк доцільно застосовувати джерела світла типа ЛБ, ДРЛ, ЛБХ. Вибираємо люмінесцентні лампи типа ЛХБ80 (2×80 Вт); довжина лампи – 1,5 м, ширина – 0,4 м, світловий потік даної лампи – 3840 лм.

Отже, потрібне число ламп:

$$N = \frac{44352}{3840} \approx 12 \text{ шт.} \quad (6.5)$$

Оскільки світильники дволампові, то для забезпечення нормальної потужності освітлення приміщення необхідно 6 світильників. Приймаємо, що кількість світильників по довжині складатиме 2 шт., а по ширині – 3 шт.

Світильники з люмінесцентними лампами в основному розташовують рядами. Ряди слід орієнтувати паралельно стіні з вікнами. Потрібно встановити два світильники в ряд. Застосовуємо світильники ШОД (оскільки ШОД дає більш рівномірне освітлення) з люмінесцентними лампами ЛХБ потужністю 2×80 Вт і з потоком 3840 лм. Схема розташування світильників представлена на рисунку 6.1.

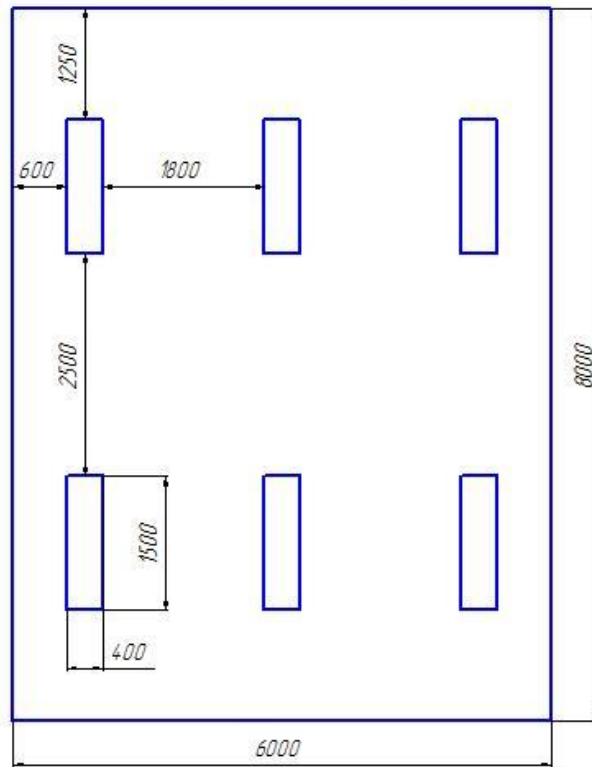


Рисунок 6.1 – Схема розташування світильників

Всі необхідні розрахунки для розташування світильників проводимо за формулами:

$$la = \frac{1}{2} \cdot La, \quad (6.6)$$

$$lv = \frac{1}{3} \cdot Lv \quad (6.7)$$

$$la = 1,25 \text{ м}, \quad lv = 0,6 \text{ м},$$

де  $L$  – відстань між сусідніми світильниками (рядами люмінесцентних світильників).

$La$  – відстань між сусідніми світильниками по довжині приміщення,  $La = 2,5$  м.

$Lv$  – відстань між сусідніми світильниками по ширині приміщення,  $Lv = 1,8$  м.

$l$  – відстань від крайніх світильників або рядів світильників до стіни.



## 6.4 Електробезпека

При виявленні несправності в електричному обладнанні формувальник повинен припинити роботу, доповісти майстру і викликати чергового електрика.

Усувати неполадки в електрообладнанні самому не допускається. Після усунення несправності пуск обладнання повинен проводити черговий електрик за заявкою майстра.

Користуватися переносними електросвітильниками дозволяється при напрузі не вище 36 В, а в сирих підвальних приміщеннях - не вище 12 В.

Під час загоряння електропроводів, приладів, електрообладнання їх необхідно вимкнути від мережі і гасити осередок пожежі тільки сухим піском, порошковим, пінним вогнегасником або сухими інертними матеріалами (роздрібненим шамотом, динасом, кварцитом).

Забезпечення електробезпеки регламентується ПУЕ:

- пристрій захисного заземлення згідно СНиП 3.05.06-85 і ПУЕ для захисту людей від ураження електричним струмом при можливому пошкодженні ізоляції;

- недоступність ТВЧ для випадкового дотику ;

- застосування ізоляції , поточний контроль;

- посилення вимог до електропроводок ;

- застосування попереджувальних сигналізацій , написів і плакатів ;

- використання індивідуальних засобів захисту та пристроїв;

- посилення вимог до кваліфікації персоналу електромонтажних організацій (за ГОСТ Р 50571 1-93 , п. 4.1.1 ).

## 6.5 Заходи пожежної безпеки

Формувальник повинен вміти використовувати за призначенням засоби пожежогасіння (пісок, землю, вогнегасники тощо) і знати місця зберігання протипожежного інвентарю, вміти ним користуватися.

Під час виникнення пожежі необхідно доповісти керівництву цеху і диспетчерові підприємства, викликати пожежну охорону, а до її прибуття вжити всіх заходів щодо ліквідації загоряння своїми силами, діючи відповідно до інструкції з пожежної безпеки.

Під час загоряння електропроводів, приладів, електрообладнання їх необхідно вимкнути від мережі і гасити осередок пожежі тільки сухим піском, порошковим, пінним вогнегасником або сухими інертними матеріалами (роздрібненим шамотом, динасом, кварцитом).

Під час загоряння пально-мастильних матеріалів не можна гасити полум'я водою. Для цього необхідно використовувати землю, пісок, вогнегасники.

Не можна захаращувати проходи і доступ до протипожежного інвентарю, вогнегасників, гідрантів.

Палити дозволяється тільки у спеціально відведених місцях.

Кожний формувальник повинен бути ознайомлений з планом ліквідації аварій на підприємстві в частині, яка має відношення до його робочого місця і ділянки виконання робіт

## 6.6 Засоби індивідуального захисту

Формувальники вогнетривких підприємств повинні працювати у встановленому за нормами спецодязі:

- костюмі бавовняному за ГОСТом 27575-87 "Костюмы мужские для защиты от общих производственных загрязнений и механических воздействий. Технические требования" - на 12 місяців;

- фартусі брезентовому з нагрудником за ГОСТом 12.4.029-76 "Фартуки специальные. Технические условия" - на 12 місяців;

- спецвзутті - черевиках шкіряних за ГОСТом 28507-90 "Обувь специальная кожаная для защиты от механических воздействий. Общие технические условия" - на 12 міс;

- рукавицях комбінованих за ГОСТом 12.4.010-75 "ССБТ.Средства индивидуальной защиты. Рукавицы специальные. Технические условия» - на 2 міс; враховуючи необхідність роботи з віброінструментом, формувальник повинен одержувати також рукавиці антивібраційні за ТУ 78-349-75, виготовлені з бавовняних тканин та які мають на долоневій частині амортизаційну прокладку з поролону.

Крім наведених засобів індивідуального захисту, формувальник повинен працювати у захисній касці, захисних окулярах, користуватися протипиловим респіратором і засобами захисту органів слуху, а також під час роботи в умовах знижених температур - зимовим спецодягом - куртці на утеплюваній прокладці за ГОСТом 29335-92 "Костюмы мужские для защиты от пониженных температур. Технические условия" - на 36 місяців.

У відповідності до внутрішнього трудового розпорядку формувальник зобов'язаний:

- перед початком зміни прибути на змінно-зустрічні збори і одержати завдання на виконання робіт;

- виконувати тільки доручену роботу з дотриманням усіх вимог інструкції з охорони праці; виконувати вказівки старшого формувальника і майстра;

- не розпочинати роботу, якщо умови її виконання суперечать інструкції з охорони праці, або іншому документу, що регламентує безпечне виконання робіт, а також без інструктажу з охорони праці під час тимчасового переведення на іншу роботу і ставати до роботи тільки тоді, коли умови забезпечуть безпеку робітника і оточуючих;

- утримувати своє робоче місце і устаткування в справному стані і чистоті;
- зберігати необхідні в роботі інструмент і пристосування в справному стані;
- не допускати сторонніх осіб на ділянку виконання робіт;
- не розпивати спиртні напої на робочому місці і на території підприємства і не з'являтися на роботу у нетверезому і наркотичному стані.

Формувальник, як і всі працівники цеху, повинен знати і вміти надати першу (долікарську) допомогу потерпілому.

## ВИСНОВКИ

Згідно із проведеним аналізом та обстеженням обладнання цеху №1 встановлено, що найбільш енерговитратним є пресове обладнання. Це обладнання є дуже застарілим і його економічно недоцільно модернізувати, воно потребує лише повної заміни. Тому одним із основних шляхів скорочення обсягів споживання електричної енергії обладнанням шамотного цеху (цеху №1) підприємства є модернізація електрообладнання сушарок (сушильних барабанів)

Важливим напрямком зниження енергоспоживання є впровадження енергозберігаючого обладнання, до якого в першу чергу відноситься частотно-регульований електропривод (ЧРП) - асинхронний електродвигун, керований від перетворювача частоти (ПЧ). Впровадження частотних перетворювачів для вирішення різних технологічних завдань успішно використовується, що пояснюється в першу чергу великим поширенням асинхронних електродвигунів (близько 90% ринку) відрізняються простотою конструкції, високою надійністю, дешевизною, легкістю підключення і т. д.

Розроблена і реалізована, за допомогою пакету програм MatLAB, система керування електроприводом сушарки з асинхронним двигуном. Частотне керування двигунами змінного струму є економічно вигідним, оскільки воно дозволяє зберегти високий ККД двигуна, забезпечити, як рухові, так і гальмівні режими роботи, достатню жорсткість характеристик і, що найголовніше, дозволяє використовувати в якості приводного АЕД

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- 1 Технічне діагностування автоматичних аналогових керуючих пристроїв електропривода [Текст] : монографія / В. В. Грабко, С. М. Бабій ; ВНТУ. - Вінниця : ВНТУ, 2010. - 107 с.
- 2 Жежеленко, І.В. Показники якості електроенергії та її контроль на промислових підприємствах - М.: Енергоруагом видан., 1986- 168с.
- 3 Неклепаев, Б. Н. Электрична частина станцій та підстанцій. Підручник для студентів вузів.- М.: Енергія, 1976.-552с.
- 4 Усатенко, С. Т. Даченюк Т.К., Терехова М.В. Виконання електричних схем по ЕСКД: Посібник.- М.: Видавництво стандартів, 1989. - 325с.
- 5 Осипова, Л.Ю. Споживачі електричної енергії / Для студ. ЗДІА спец. "ЕМ" ден. і заоч. форм навчання: конспект лекцій / ЗДІА. - Запоріжжя: ЗДІА, 2004. - 155 с.: іл.
- 6 Качан, Ю.Г. Основи енергозбереження / Для студ. ЗДІА спец. 7.000008 "ЕМ": Конспект лекцій / ЗДІА. - Запоріжжя: ЗДІА, 2005. - 183 с.: іл.
- 7 Самойлов, М. В. Основи енергозбереження: навч. Посібник для вузів / М.В. Самойлов, В.В. Паневчик, А.Н. Ковалев. - 3-вид., стереотип. - Мн.: БГЕУ, 2004. - 198 с.: іл.
- 8 Брусиловский, Е.М. Эксплуатация систем электропостачання: навч. Посібник / Е.М. Брусиловский, В.В. Петунін. - М.: ДОСААФ, 1983. - 136 с.
- 9 Гульков, Г.И. Системы автоматического управления электроприводами [Текст] / Учебное пособие для среднего специального образования по специальностям "Автоматизированные электроприводы", "Городской электрический транспорт", "Монтаж и эксплуатация электрооборудования" / Гульков Г.И., Петренко Ю.Н., Бачило Т.В., под общ. ред. Петренко Ю.Н. - Минск : ИВЦ Минфина, 2014. - 365 с

10 Керовані випрямлячі: Навчальний посібник/М.М. Казачковський. – Дніпропетровськ: НГА України, 1999. – 229 с.

11 Чиликин М.Г., Сандлер А.С. Общий курс электропривода: Учебник для вузов. – 6-е изд., доп. и перераб. – М.: Энергоиздат, 1981. – 576 с.

12 Уильямс Б. Силовая электроника: приборы, применение, управление; Справ. пособие: Пер. с англ. М.: Энергоатомиздат, 1993. – 240 с.

13 Лещев А.И. и др. Практические рекомендации по применению IGBT транзисторов. Электровозостроение: Сб. науч. тр. ОАО «ВЭЛНИИ». – 1999. – Т.41. – стр. 179-187.

14 Internet [www.ST-CONCEPT.com](http://www.ST-CONCEPT.com)

15 Internet [www.IGBT-Driver.com](http://www.IGBT-Driver.com)

16 Микропроцессорные автоматические системы регулирования. Основы теории и элементы: Учеб. пособие / В.В.Солодовников, В.Г.Коньков, В.А.Суханов, О.В.Шевяков; Под. ред. В.В.Солодовникова. – М.: Высш. шк., - 1991. 225 с.

17 Микропроцессоры: В 3-х кн. Кн. 1. Архитектура и проектирование микроЭВМ. Организация вычислительных процессов: Учеб. для вузов/ П.В.Нестеров, В.Ф.Шаньгин, В.Л.Горбунов и др.; Под ред. Л.Н.Преснухина, - Мн.: Выш. шк., 1987. – 414 с.

18 Сташин В.В., Урусов А.В, Мологонцева О.Ф. Проектирование цифровых устройств на однокристальных микроконтроллерах. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 224 с.

19 Скаржепа В.А., Луценко А.Н. Электроника и микросхемотехника. Ч. 1. Электронные устройства информационной автоматики: Учебник / Под общ. ред. А.А.Краснопрошиной. – К.: Выща шк. Головное изд-во, 1989. – 431 с.

20 Бирюков С.А. Применение цифровых микросхем серий ТТЛ и КМОП. – М.: ДМК, 2000. – 240 с.

21 Нефедов А.В. Интегральные микросхемы и их зарубежные аналоги: Справочник. Т. 5. – М.: КУБК-а, 1997. – 608 с.

## ДОДАТОК А

Демонстраційні матеріали до захисту магістерської роботи



**Тема:** Аналіз можливості скорочення обсягів  
споживання електричної енергії обладнанням цеху №1  
ПрАТ «Запоріжвогнетрив»

**Виконав:** студент гр. ЕТ-18-1мд Фесенко Д.О.

**Науковий керівник:** професор, д.т.н. Артемчук В.В.

**Об'єкт дослідження:** витяжний вентилятор (димосос) сушарки  
сировини для виготовлення вогнетривів

**Предмет дослідження:** можливість застосування систем частотно-  
регульованого електроприводу для витяжного вентилятора

**Методи дослідження:** розрахунково-теоретичний метод, аналіз,  
порівняння, комп'ютерне моделювання.

## Основні задачі:

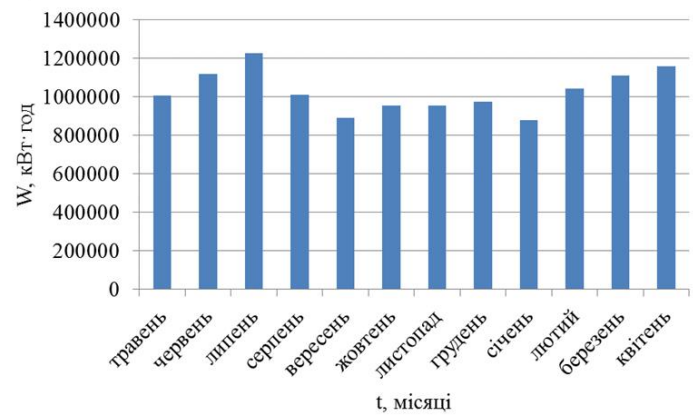
1. Аналіз енергоспоживання цеха №1 ПрАТ «Запоріжвогнетрив».
2. Дослідження можливості застосування систем частотно-регульованого електроприводу для витяжного вентилятора (димососа) сушарки.
3. Розрахунок та вибір схеми перетворювача частоти
4. Розробка та моделювання за допомогою пакету MathLab системи керування електроприводом димососа сушарки
5. Розрахунок техніко-економічних показників впровадження перетворювача частоти

## Розподіл енергоспоживання підприємством ПрАТ «Запоріжвогнетрив»

Структура  
енергоспоживання ПрАТ  
«Запоріжвогнетрив»

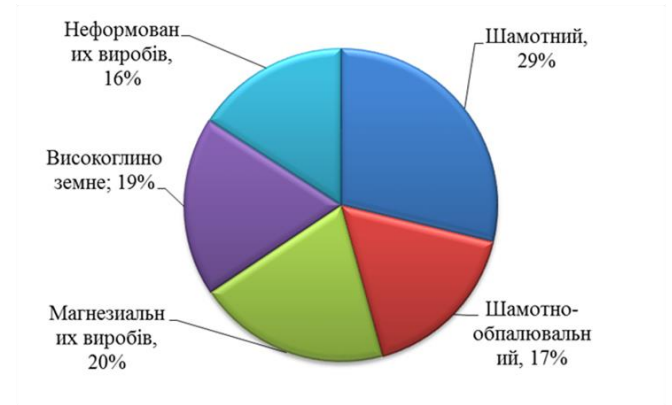


Споживання  
електричної енергії  
підприємством

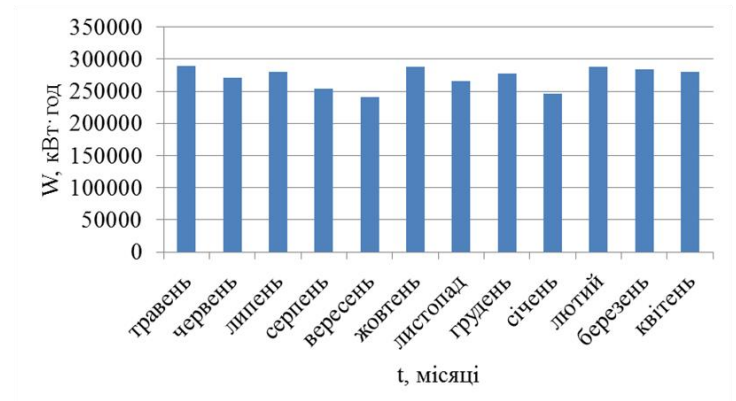


## Розподіл електроспоживання цехами підприємства

Структура електроспоживання цехами підприємства

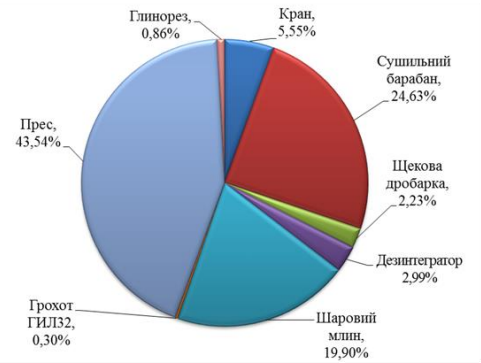


Річне споживання електричної енергії шамотним цехом №1

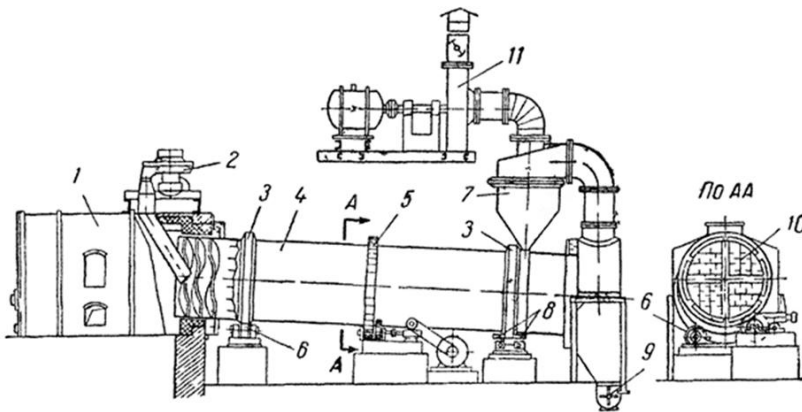


## Розподіл електроспоживання обладнанням шамотного цеху №1

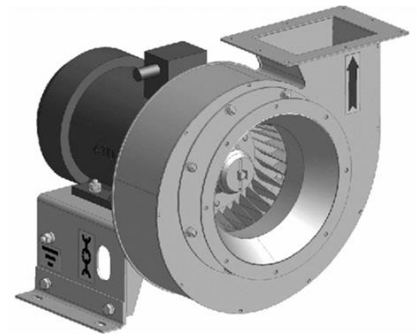
Структура споживання  
електричної енергії  
обладнанням шамотного  
цеху



Загальний вигляд сушильного барабану

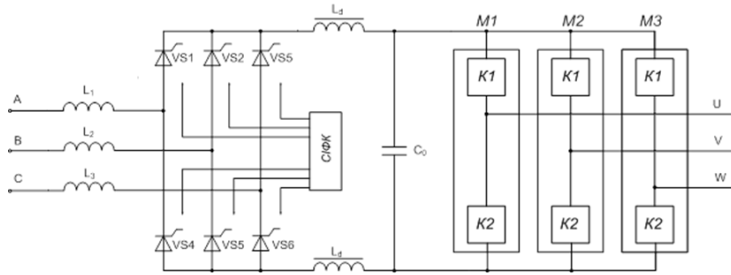


Загальний вид димососа  
сушильного барабана

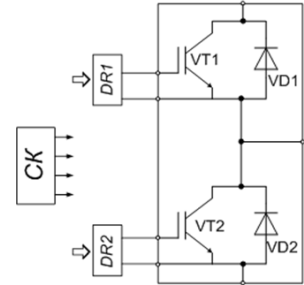


## Схема перетворювача частоти

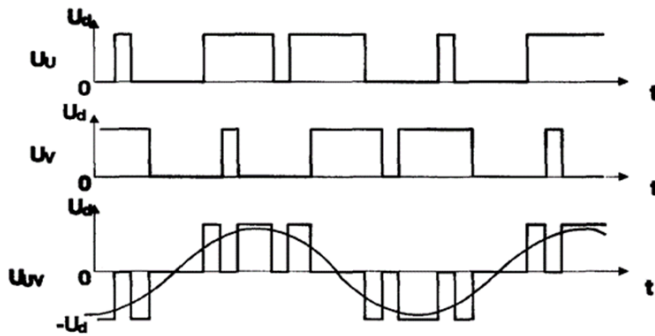
Схема перетворювача частоти



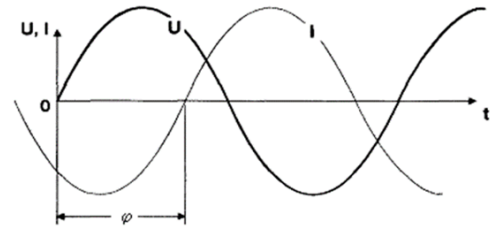
IGBT модуль



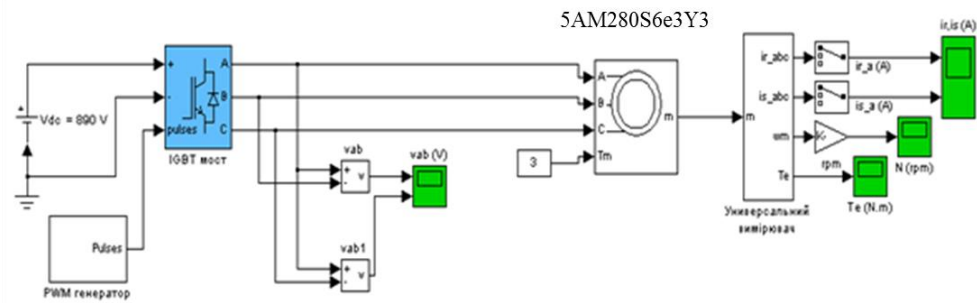
Тимчасові діаграми роботи інвертора в режимі ШІМ



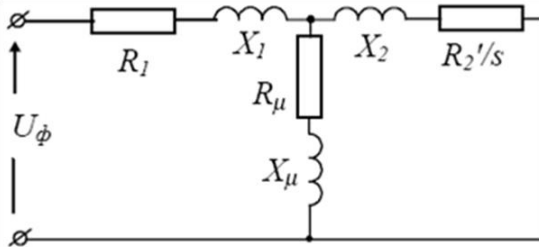
Тимчасова діаграма інвертора в режимі гальмування



# Компьютерна модель системи ПЧ - АД витяжного вентилятора (димососа) (реалізовано за допомогою пакету MatLAB з візуалізацією у Simulink)



Т-образна схема заміщення асинхронного двигуна



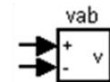
Позначення в схемі:



- задатчик констант;



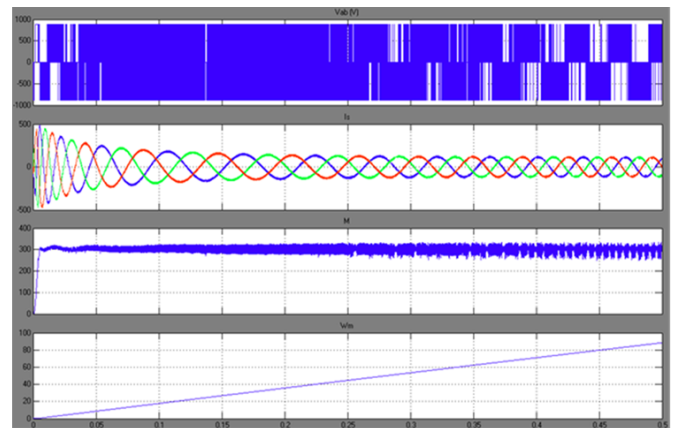
- осцилограф;



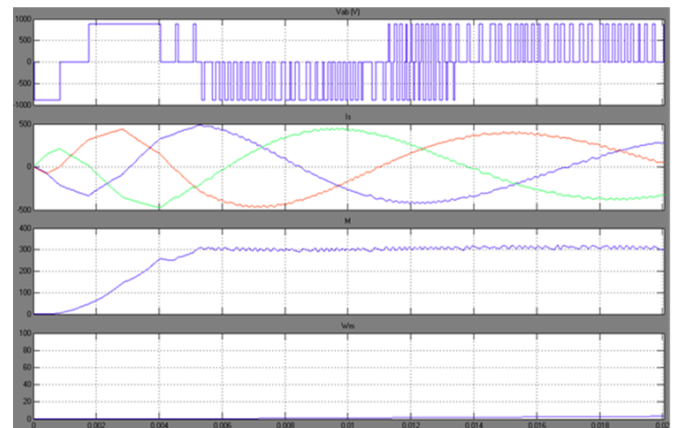
- з'єднувач;

## Перехідні процеси при пуску АД

Перехідний процес при  
пуску АД під  
навантаженням



Перехідний процес при  
пуску АД під  
навантаженням  
(початкова стадія)





## Висновки

1. Згідно із проведеним аналізом та обстеженням обладнання цеху №1 встановлено, що найбільш енерговитратним є пресове обладнання. Це обладнання є дуже застарілим і його економічно недоцільно модернізувати, воно потребує лише повної заміни. Тому одним із основних шляхів скорочення обсягів споживання електричної енергії обладнанням шамотного цеху (цеху №1) підприємства є модернізація електрообладнання сушарок (сушильних барабанів)
2. Важливим напрямком зниження енергоспоживання є впровадження енергозберігаючого обладнання, до якого в першу чергу відноситься частотно-регульований електропривод (ЧРП) - асинхронний електродвигун, керований від перетворювача частоти (ПЧ). Впровадження частотних перетворювачів для вирішення різних технологічних завдань успішно використовується, що пояснюється в першу чергу великим поширенням асинхронних електродвигунів (близько 90% ринку) відрізняються простотою конструкції, високою надійністю, дешевизною, легкістю підключення і т. д.
3. Розроблена і реалізована, за допомогою пакету програм MatLAB, система керування електроприводом сушарки з асинхронним двигуном. Частотне керування двигунами змінного струму є економічно вигідним, оскільки воно дозволяє зберегти високий ККД двигуна, забезпечити, як рухові, так і гальмівні режими роботи, достатню жорсткість характеристик і, що найголовніше, дозволяє використовувати в якості приводного АЕД