

Центральноукраїнський національний технічний університет
Центр заочної та дистанційної освіти
Кафедра “Електротехнічні системи та енергетичний менеджмент”

“Допущено до захисту ”
Зав. кафедрою ЕТС та ЕМ
к.т.н., професор
_____Петро ПЛЄШКОВ
“ ____ ” _____2021р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за другим (магістерським) рівнем вищої
освіти
на тему
“ Аналіз процесів електроспоживання та
впровадження енергозберігаючих заходів на
гірничорудних підприємствах”

Виконав здобувач вищої освіти
2 курсу магістратури, групи ЕЕ-20МЗ
ОПП «Електротехнічні системи
електроспоживання»
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
_____Стеценко В.М.
« ____ » _____2021р.
Керівник роботи
к.т.н., професор
_____Петро ПЛЄШКОВ
« ____ » _____2021р.
Рецензент _____

м. Кропивницький

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет ЦЗДО

Кафедра електротехнічних систем та енергетичного менеджменту

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Галузь знань 14 Електрична інженерія

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітньо-професійна програма Електротехнічні системи електроспоживання

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

Плешков П.Г.

«_____» _____ 2021 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗА ДРУГИМ (МАГІСТЕРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

Стеценка Віталія Миколайовича

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи (проекту) Аналіз процесів електроспоживання та
впровадження енергозберігаючих заходів на гірничорудних підприємствах
Analysis of electricity consumption processes and implementation of energy saving
measures at mining enterprises

2. Керівник роботи (проекту) Плешков Петро Григорович, к.т.н., професор

(прізвище, ім'я, по-батькові, науковий ступінь, вчене звання)

3. Строк подання студентом роботи до захисту 3.12.2021 р.

4. Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи (проекту) _____
Вступ; Аналіз стану проблеми автоматизації керування
електроспоживанням промислових підприємств; Побудова систем
автоматизованого керування електроспоживанням промислових
підприємств; Аналіз процесів електроспоживання підприємств
гірничорудної промисловості; Ефективність використання регульованого
електроприводу конвеєрних ліній та поточно- транспортних систем для
енергозбереження; Використання математичної моделі для дослідження
способів управління конвеєрним транспортом; Охорона праці; Висновки;
Перелік посилань

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
<i>Економічна частина</i>	<i>к.е.н., доц. Журило І.В.</i>		
<i>Охорона праці</i>	<i>к.т.н, доц. Савеленко І.В.</i>		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Вступ</i>	4.10.21	
2	<i>Аналіз стану проблеми автоматизації керування електроспоживанням промислових підприємств</i>		
3	<i>Побудова систем автоматизованого керування електроспоживанням промислових підприємств</i>	14.10.21	
4	<i>Аналіз процесів електроспоживання підприємств гірничорудної промисловості</i>	21.10.21	
5	<i>Ефективність використання регульованого електроприводу конвеєрних ліній та поточно-транспортних систем для енергозбереження</i>	28.10.21	
6	<i>Використання математичної моделі для дослідження способів управління конвеєрним транспортом</i>	5.11.21	
7	<i>Охорона праці</i>	15.11.21	
8	<i>Висновки</i>	21.11.21	
9	<i>Оформлення пояснювальної записки КР</i>	25.11.21	
10	<i>Оформлення презентаційної частини КР</i>	29.11.21	

Дата видачі завдання

«___» _____ 2021 р.

Підпис керівника _____

Завдання прийнято до виконання

«___» _____ 2021 р.

Підпис здобувача _____

АНОТАЦІЯ

Стеценко В.М. Аналіз процесів електроспоживання та впровадження енергозберігаючих заходів на гірничорудних підприємствах. *Analysis of electricity consumption processes and implementation of energy saving measures at mining enterprises.*

Спеціальність 141 - «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». - ОПП «Електротехнічні системи електроспоживання». - Центральноукраїнський національний технічний університет. - м.Кропивницький, 2021р.

Об'єкт дослідження – система електропостачання гірничорудного підприємства.

Мета роботи – оптимізація системи електроспоживання підприємства з метою впровадження енергозберігаючих режимів.

У роботі проведений аналіз основних систем автоматизації керування електроспоживанням промислових підприємств, запропоновані основні моменти методики побудови систем автоматизованого керування електроспоживанням промислових підприємств, розроблені структурні й функціональні схеми роботи системи, які дозволяють більш детально ознайомитися з її математичним апаратом.

Проведена розробка системи автоматизації керування електроспоживанням підрозділами гірничо-рудного підприємства показала можливість впровадження даної системи на підприємстві із значним економічним ефектом. Результати роботи в подальшому можуть бути використані на даному підприємстві.

Ключові слова: ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ РЕЖИМИ, АВТОМАТИЗАЦІЯ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ, ТИРИСТОРНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ НАПРУГИ, НАПІВПРОВІДНИКОВИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ НАПРУГИ, МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРИВОДА, ПОТОКО-ТРАНСПОРТНА СИСТЕМА

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СТАНУ ПРОБЛЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯМ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ.....	8
1.1 Аналіз поточного стану ринкових взаємин споживачів і постачальників електричної енергії.....	8
1.2 Вивчення питання автоматизації систем керування електроспоживанням на підприємствах.....	10
1.3 Структура й принципи функціонування сучасних систем керування електроспоживанням промислових підприємств.....	12
1.4 Узагальнення результатів аналізу в питанні створення й експлуатації сучасних систем обліку й керування електроспоживанням промислових підприємств.....	16
РОЗДІЛ ПОБУДОВА СИСТЕМ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯМ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ.....	19
2.1 Системний аналіз енергетики промислових підприємств.....	22
2.2 Методологія побудови систем керування електроспоживанням підприємств.....	26
2.2.1 Формування структури прийняття рішень.....	28
2.2.2 Синтез функціональної та інформаційної структур.....	30
2.2.3 Побудова організаційно-технічної структури.....	35
2.3 Побудова інформаційно-логічної схеми керування.....	40
2.4 Визначення рівня автоматизації керування електроспоживанням підприємств.....	42
РОЗДІЛ 3 АНАЛІЗ ПРОЦЕСІВ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ ПІДПРИЄМСТВ ГІРНИЧОРУДНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ.....	44
3.1 Формалізоване представлення систем електропостачання підприємства й аналіз умов їх функціонування.....	45
3.1.1 Формалізований опис систем електропостачання.....	45

3.1.2 Класифікація електроспоживаючого устаткування.....	50
3.1.3 Оцінка збитку від перебоїв в електропостачанні технологічного устаткування.....	55
3.2 Розподіл погрішності контролю електричних навантажень між елементами контуру керування.....	58
РОЗДІЛ 4 ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ РЕГУЛЬОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ КОНВЕЄРНИХ ЛІНІЙ ТА ПОТОЧНО-ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ	
4.1. Вдосконалення експлуатації електроприводу конвеєрної лінії.....	62
4.2. Обґрунтування застосування регульованого електроприводу.....	64
4.3. Вибір типу регульованого електроприводу та закону регулювання...	67
4.3.1. Асинхронний електропривод з реостатним управлінням.....	68
4.3.2 Системи електроприводів „Тиристорний перетворювач напруги – асинхронний двигун”.....	72
4.3.3 Системи електроприводів „Напівпровідниковий перетворювач частоти – асинхронний двигун”.....	75
4.4. Типи систем управління НПЧ.....	83
РОЗДІЛ 5 ВИКОРИСТАННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ СПОСОБІВ УПРАВЛІННЯ КОНВЕЄРНИМ ТРАНСПОРТОМ	
5.1. Побудова математичної моделі частотно-регульованого асинхронного електропривода.....	86
5.1.1 Фізичний опис об’єкта дослідження.....	86
5.1.2 Математичне моделювання.....	89
5.1.3 Побудова імітаційної моделі.....	95
5.2 Дослідження роботи системи «електропривод – конвеєр» за допомогою математичної моделі.....	100
5.2.1 Модель конвеєра Simulink Matlab.....	100
5.2.2 Модель потоково-транспортної системи (ПТС), що складається з чотирьох конвеєрів.....	102

5. 3 Підвищення енерго- і ресурсозбереження конвеєрного транспорту за рахунок оптимального алгоритму управління частотно-регульованим багатодвигуновим асинхронним електроприводом конвеєра.....	105
РОЗДІЛ 6 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	109
6. 1. Характеристика складових економічного ефекту.....	113
6. 2. Розрахунок економічного ефекту від впровадження частотного перетворювача на електроприводі конвеєра.....	116
ВИСНОВКИ.....	120
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	122
ДОДАТКИ.....	124
ДОДАТОК А. Охорона праці.	125
ДОДАТОК Б. Звіт подібності кваліфікаційної роботи.....	133

ВСТУП

Ефективне використання електричної енергії на промислових підприємствах становить найважливішу проблему електроенергетики України. Це обумовлене ростом цін на електроенергію й зростанням її частки в собівартості продукції, яка для енергоємних підприємств досить висока й може досягати 60% і більш. Основним напрямком, що дозволяє скоротити цю частку, є автоматизація керування електроспоживанням на промислових підприємствах.

При проектуванні системи електропостачання промислового підприємства необхідно забезпечити раціональне використання електроенергії. Це визначається в першу чергу техніко-економічними показниками системи електропостачання.

Велика увага при розробці проекту приділяється питанням надійності та економічності системи електропостачання, безпеці та зручності експлуатації. Система електропостачання повинна забезпечити можливість розширення при розвитку підприємства без значного ускладнення та подорожчання початкового варіанта.

Особливе місце при проектуванні займає проблема забезпечення потрібної якості електроенергії на затискачах споживачів, питання контролю якості електроенергії на підприємстві, вплив зниження якості електроенергії на ефективність електропостачання.

Важливою вимогою до проекту являється застосування сучасного комплектного обладнання, що скорочує термін монтажу та вводу до експлуатації підприємства.

Питання автоматизації керування, пов'язані з економією електроенергії, вирішувалися й раніше. Спочатку стали використовувати більш точні прилади первинного обліку електроенергії, потім примітивні

технічні й програмні засоби для автоматичного збору, нагромадження, обробки, зберігання й відображення інформації з електроспоживання, пізніше – автоматизовані системи контролю й обліку електроенергії із трохи розширеним набором функцій.

Останнім часом здійснюється перехід до використання в керуванні електроенергетикою нових інформаційних технологій і апаратно-програмних засобів.

В даний час прискорення науково-технічного прогресу диктує необхідність вдосконалення промислової електроенергетики: створення економічних, надійних систем електропостачання промислових підприємств, освітлення, автоматизованих систем управління електроприводами і технологічними процесами; впровадження мікропроцесорної техніки, електричного і вакуумного електрообладнання, нових комплектних перетворювальних пристроїв. На проектування електропостачання промислових підприємств зайнято величезна кількість персоналу, які накопичили значний досвід. Проте в стрімкий прогрес в техніці і, зокрема, в енергетиці постають все нові проблеми і питання, які повинні враховуватися при проектуванні та спорудженні сучасних мережеских об'єктів.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СТАНУ ПРОБЛЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯМ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

1.1 Аналіз поточного стану ринкових взаємин споживачів і постачальників електричної енергії

Промислові споживачі електричної енергії (абоненти) зі значною приєднаною потужністю оплачують електроенергію за двоставочним тарифом, що включає плату:

- за заявлену потужність (основна ставка);
- за фактично спожиту електроенергію (додаткова ставка).

Заявлена потужність – максимальна активна півгодинна (усереднена за 0,5 години) потужність, що відпускається абонентам (промисловим підприємствам) у години максимуму навантаження ЕЕС. Ця потужність фіксується в договорах електропостачання й періодично перевіряється енергопостачальною організацією.

Якщо активна півгодинна потужність, споживана абонентами в години максимуму навантаження ЕЕС, протягом кварталу перевищує заявлену, то вони платять штраф (оплачують перевищення за підвищеним тарифом) або зазнає примусового відключення (відключаються один або кілька вводів електроенергії). Тому абонентам не вигідно занижувати величину потужності, що заявляється. Їм також не вигідно й завищувати значення даної потужності, тому що при цьому оплачується фактично невикористана потужність. Звідси виникає завдання визначення оптимальної величини, що заявляється абонентами максимальної активної потужності.

Значення заявленої потужності виступає як обмеження при нормальних умовах функціонування споживачів електричної енергії й ЕЕС.

При виникненні аварійних ситуацій на електричних мережах споживачів і у випадках необхідності вживання невідкладних заходів по запобіганню або ліквідації аварії в ЕЕС енергопостачальна організація для абонентів може вводити більш жорсткі обмеження на величину споживаної ними активної потужності.

Для керування споживанням активної потужності на промислових підприємствах використовуються спеціально виділені споживачі-регулятори (СР) активного навантаження. У якості таких споживачів виступають окремі енергоємні електроспоживачі та їх групи, для яких за умовами експлуатації можливі короточасні перерви в електропостачанні. Відключення (підключення) СР здійснюються шляхом впливу на комутаційний апарат систем електропостачання промислових підприємств (СЕПП).

Для забезпечення економічно вигідних режимів функціонування енергопостачальна організація встановлює обмеження також і на рівень реактивної потужності абонентів. Обмеження можуть бути диференційовані за часом доби (регламентується договором електропостачання).

При виконанні даних обмежень абоненти одержують знижки на тариф, а при порушенні – надбавки до нього. Тому економічно невигідно порушувати їх.

Значна економія для споживачів електричної енергії утворюється від оптимізації процесу нормування, планування й керування електроспоживанням.

При цьому необхідно також прагнути:

- до мінімізації втрат електроенергії в електромережах, що виникають через поточкорозподілення (перетікань) реактивної потужності;
- до підтримки в припустимих межах, установлених нормативними документами, напруги на затискачах електроприймачів (коливання напруги

на електроприймачах допускається в межах $\pm 5\%$ або від -5% до $+ 10\%$ від номінальної величини);

– до забезпечення надійного функціонування електроспоживаючого устаткування.

1.2 Вивчення питання автоматизації систем керування електроспоживанням на підприємствах.

До останнього часу керування електроспоживанням підприємств здійснювалося переважно за рахунок організаційно-технічних заходів з мінімальним залученням технічних засобів, таких як енергодиспетчерський щит, пристрої дистанційного керування комутаційною апаратурою електромереж і селекторному зв'язку, апаратура КІПіА й локальна автоматика.

І лише на сучасному етапі автоматизації керування електроенергетикою підприємств велика увага стала приділятися розробці й впровадженню *автоматизованих систем керування*. В основу побудови цих систем покладені сучасні інформаційні технології й апаратно-програмні засоби.

У цей час функціонує ряд *АСДК ЕЕС*, які вирішують облікові завдання й забезпечують дистанційну передачу керуючих впливів (КВ) на виконавчі механізми, мають програмне забезпечення (ПЗ), яке по надійності й составу реалізованих функцій не уступає закордонним аналогам.

Варто відзначити, що при побудові АСКОЕ основна увага приділяється питанням керування споживанням активної потужності приймачами електроенергії.

При цьому виділяється:

– пасивне керування, при якому СР відключаються (переводяться на знижений режим електроспоживання) на весь період обмеження, що вводиться ЕЕС;

– активне керування – коли режими роботи СР задаються залежно від того, як складається графік електроспоживання.

Пасивне керування широко використовувалося й раніше. Це найпростіший спосіб регулювання режимів електроспоживання приймачів електроенергії по активній потужності, здійснюваний за рахунок організаційно-технічних заходів.

Для реалізації цього способу керування виконується попередня робота з виявлення потенційних СР і розробці графіків їх автоматичного відключення (перекладу на знижений режим електроспоживання) відповідно до заздалегідь установлених пріоритетів.

У якості додаткових заходів можуть бути запропоновані:

– поліпшення організації виробництва шляхом виконання профілактики, дрібного ремонту, обслуговування і технічних оглядів агрегатів у години максимуму навантаження ЕЕС і раціонального використання устаткування, що допускає почергове короткочасне відключення без впливу на технологічний процес (ТП);

– підвищення інтенсивності використання виробничих агрегатів за рахунок створення додаткових запасів проміжного продукту в окремих фазах ТП;

– збільшення кількості виробничих агрегатів в електроємній фазі й монтаж додаткових ємностей (накопичувачів) проміжного продукту;

– зміна ходу ТП, наприклад, за рахунок маневрування в часі роботою термічних печей і іншого енергоємного устаткування, що має кілька режимів роботи;

– раціональний вибір потужності й числа технологічних установок на стадії проектування, коли оптимізацію режимів електроспоживання можна здійснити з найбільшим економічним ефектом.

Незважаючи на свою значимість, організаційно-технічні заходи лише частково вирішують проблему регулювання електроспоживання на

промислових підприємствах. Для більш ефективного розв'язку цієї проблеми необхідно здійснювати керування в широких часових діапазонах.

1.3 Структура й принципи функціонування сучасних систем керування електроспоживанням промислових підприємств

Особлива увага при побудові сучасних АСКОВЕ приділяється пристроям збору й передачі даних (ПЗПД), а також програмного забезпечення верхнього рівня керування.

Пристрої збору й передачі даних становлять основу вимірювального каналу АСКОВЕ, який включає вимірювальні трансформатори струму й напруги, їх вторинні ланцюги, а також лічильники електроенергії, реалізовані на базі мікропроцесорів із цифровим виходом.

Електролічильники є джерелами первинної інформації для АСКОВЕ. Їхні типи, як правило, внесені в Держреєстр засобів вимірювання України й мають діючі свідоцтва про перевірку.

При проектуванні ПЗПД велика увага приділяється елементній базі. Ці пристрої комплектуються сучасними, перспективними апаратними засобами, забезпечуються надійними процесорними модулями й інтерфейсами із сумісними протоколами обміну даних, в основному, закордонних виробників (Computer Product, Octagon Systems та ін.).

Однак, реалізуючи стандартний набір функцій збору, зберігання, передачі й відображення інформації, ПЗПД не здійснюють аналіз вірогідності вихідних даних (виключення грубих вимірів), що значно знижує ефективність систем, до складу яких вони входять. Тому ці пристрої доцільно використовувати в якості автономних систем керування.

В даний час знаходять практичне застосування АСКОВЕ нового покоління, що використовують мікропроцесорні лічильники, пристрої збору й передачі даних, побудовані на базі сучасних промислових контролерів.

Ці системи дозволяють вирішувати завдання комерційного обліку споживання електричної енергії й потужності, технічного обліку й моніторингу електричних навантажень підприємств у режимі реального часу.

Розробку АСК енергетикою підприємств важко уявити без використання SCADA-систем – спеціалізованого ПЗ, що забезпечує комунікацію із зовнішнім світом і візуалізацію енергетичних процесів.

SCADA-системи значно скорочують строки й прямі фінансові витрати на розробку систем керування. Вони дозволяють створювати АСКОВЕ підприємств без програмування в спеціальних графічних редакторах, що використовують термінологію, звичну для енергетичного персоналу.

Залежно від масштабу розв'язуваних завдань можуть бути застосовані системи керування базами даних (СКБД) Microsoft SQL Server, Sybase або Oracle. Комп'ютери енергодиспетчера з'єднуються із сервером АСК по локальній обчислювальній мережі. Диспетчерська підсистема реалізована на базі ПЗ SKADA.

В зв'язку з стрімким розповсюдженням програмного забезпечення широке розповсюдження набули методи штучного інтелекту (ШІ), а саме, генетичні алгоритми (ГА) та штучні нейронні мережі (ШНМ), які використовуються в якості нового напрямку для розв'язання проблем оптимізації й керування процесами електроенергетики. ШНМ проявляють свою ефективність в умовах часткової відсутності, викривлення й зашумлення параметрів та даних. Їх можна використовувати для розв'язання задач оновлення параметрів даних, прогнозування енергетичних процесів і розпізнавання образів. ГА дають можливість вирішувати задачі цілочисельного програмування значної розмірності з потрібною точністю за прийнятний проміжок часу, а це є дуже важливим для функціонування алгоритмів у режимі реального часу.

В електроенергетиці промислових підприємств поряд з активним велика увага приділяється й реактивному електроспоживанню. Тому в значній мірі слід розглядати базові питання автоматичного регулювання реактивного навантаження підприємств з метою зниження втрат, викликаних перетіканнями реактивної потужності в електромережах, і підтримки в заданих межах величини напруги в їхніх вузлах. Аналізуються різні способи регулювання реактивного навантаження за допомогою конденсаторних установок (КУ):

- за часом доби;
- за значенням коефіцієнта потужності;
- за рівнем і знаком реактивної потужності (генерація або споживання);
- за струмом навантаження;
- за декількома параметрами одночасно.

Обговорювані питання в основному стосуються розміщення й локального використання КУ (у тому числі й автоматичних) для регулювання реактивного навантаження й напруги в електромережах підприємств.

Для компенсації реактивної потужності при цьому використовуються нерегульовані (КК1(2)-0,4-37,5 УЗ; КК6-0,4-75 УЗ; КК9-0,4-112,5 УЗ та ін.) і регульовані (УКМ61-0,38-72-24УЗ; УКМ58-0,4-200-33 УЗ; УКМ58-0,4-337,5-37,5 УЗ; УКМ58-0,4-402-67УЗ; УКМ61-0,38-144-24УЗ та ін.) конденсаторні установки низької напруги.

У більшості випадків як з технічної, так і з економічної точки зору доцільна компенсація реактивної потужності за допомогою регулювання по основному параметру – реактивній потужності. Слід зауважити, що регулювання за напругою неефективно. Це обумовлене тим, що напруга є не параметром, що оптимізується, а параметром обмеження.

Керування ж споживанням реактивної потужності в процесі експлуатації електромереж промислових підприємств переслідує трохи інші цілі. Це, у першу чергу, більш повне й економічне використання наявних засобів регулювання реактивної потужності й проведення заходів, що поліпшують режими реактивного електроспоживання підприємств.

Особливої уваги заслуговує використовуваний підхід до нормування електроспоживання, який не можна застосувати при великій кількості електроприймачів, різноманітні режимів їх роботи й зв'язків між ними. Стандартний розрахунковий підхід трудомісткий, неточний і не забезпечує безпосередню прив'язку норм витрати електроенергії до ланок організаційної структури підприємств. Через це неможливі обґрунтовані висновки про витрату й значення показників електроспоживання промислових підприємств.

Виходом з даного положення є використання для нормування споживання електроенергії імовірнісно-статистичних методів стосовно до організаційних (виробничих) підрозділам і підприємствам у цілому. При цьому забезпечується менша трудомісткість нормування й облік у нормах електроспоживання не тільки ТУ, але й інших електроприймачів (допоміжного устаткування, освітлення та ін.).

До того ж даний підхід дозволяє повністю автоматизувати процес нормування й планування електроспоживання промислових підприємств. Він забезпечує структурну стійкість моделей нормування й, через жорстку прив'язку до ланок організаційної структури підприємств, реалізацію заходів щодо морального й матеріального стимулювання персоналу виробничих підрозділів за економію електроенергії.

З методичної точки зору при побудові АСК електроенергетичними показниками промислових підприємств важливими є питання їх структурної організації й функціональної поведінки, спрямованого на досягнення поставлених цілей.

Реалізація даних підходів спрямована на забезпечення адаптації промислових підприємств до умов і вимогам сучасного ринку, виконання яких необхідно для виробництва високонадійної й конкурентоспроможної продукції. Зазначені підходи перебувають на початковій стадії розвитку й надалі можуть знайти застосування в енергетику підприємств при описі неординарних і погано формалізуючих ситуацій, що виникають при керуванні.

1.4 Узагальнення результатів аналізу в питанні створення й експлуатації сучасних систем обліку й керування електроспоживанням промислових підприємств

В результаті проведених аналізів, можна зробити наступні висновки.

До теперішнього часу розроблена й впроваджена велика кількість АСКОВЕ, які за останні роки пройшли стадію істотного розвитку й удосконалення. Багато із цих систем мають метрологічну атестацію, що дозволяє підприємствам виконувати фінансові розрахунки з енергопостачальними організаціями, у тому числі й по диференційованих тарифах на оплату електроенергії.

Однак розв'язувані цими системами завдання як і раніше носять обмежений характер.

Це, у першу чергу, завдання:

- контролю активної й реактивної потужності (у тому числі, усереднений за різні проміжки часу) підприємств;
- обліку споживання електроенергії окремими групами технологічного обладнання й підприємством в цілому;
- розрахунків балансів електричної потужності й енергії підприємств.

Деякі з діючих у цей час АСКОВЕ вирішують окремі завдання прогнозування й керування, до яких належать наступні.

1. Завдання прогнозування електричних навантажень і керування споживанням активної потужності підприємств.

Однак для прогнозування використовуються математичні моделі, що не забезпечують необхідної точності прогнозу в умовах нерівномірності графіків електричних навантажень, викликаній глибоким регулюванням режимів електроспоживання підприємств.

Регулювання споживання активної потужності підприємств, у найкращому разі, здійснюється шляхом реалізації жорстко встановлених пріоритетів у відключенні електроспоживаючого устаткування, а не за економічними критеріями.

Такий спосіб регулювання в умовах глибоких обмежень підприємств по активній потужності неефективний.

2. Завдання керування споживанням реактивної потужності підприємств.

На окремих підприємствах здійснюється дистанційне регулювання споживаної реактивної потужності, яке зводиться, в основному, до зміни стану конденсаторних батарей, установлених у вузлах електричних мереж. Регулювання виконується на основі поточних значень (як правило, усереднених за різні інтервали часу) реактивної потужності у вузлах електромереж.

3. Завдання нормування й планування споживання електроенергії на підприємствах.

На деяких підприємствах здійснюється автоматизоване нормування й планування електроспоживання. Однак це має місце для окремих груп технологічного устаткування, а не для структурних (виробничих) підрозділів і підприємств у цілому.

До того ж використовувані методи нормування й планування електроспоживання не орієнтовані на автоматичне виконання в режимі реального часу.

Наприкінці огляду необхідно відзначити, що окремі АСКОВЕ мають у своєму складі SKADA-системи, які дозволяють прискорити процес розробки систем керування й забезпечити їхню інтеграцію з іншими підсистемами АСК енергетикою підприємств.

Однак використання SKADA-системи, не начинених прикладним математичним забезпеченням, не вирішує проблему побудови ефективних систем керування, тому що виконують обмежений обсяг функцій. Ці функції пов'язані зі збором вимірювальної інформації, дистанційним керуванням комутаційною апаратурою, архівуванням інформації і її відображенням на мнемонічних схемах

РОЗДІЛ 2

ПОБУДОВА СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯМ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

Впровадження ІАСК промисловими підприємствами, що забезпечують автоматизацію всіх етапів електрозабезпечення життєвого циклу виробів, реалізованих на підприємстві, є одним з напрямків удосконалювання керування виробництвом і підвищення його ефективності. Цей напрямок тісний пов'язаний з подальшим розвитком різного роду АСК (АСКП, АСОДК, АСКТП, АСК енергетикою та ін.) і їхнім об'єднанням у єдиний автоматизований комплекс, функціонування якого спрямовано на досягнення поставлених перед підприємством цілей, реалізованих як на основі формалізованих методів, так і думок експертів або власної інтуїції людини, що приймає рішення (ЛПР).

Створення ІАСК підприємствами базується на використанні системного підходу, що припускає: типізацію проектних розв'язків, єдність інформаційної бази, адаптацію до змін умов функціонування й безперервний розвиток систем керування.

Рішення по керуванню електроспоживання промислових підприємств ухвалюються в умовах невизначеності, а їх результат визначається безліччю, у загальному випадку неузгоджених (суперечливих), цілей. При цьому має сенс говорити не про окремі рішення, а про класи рішень, для формування яких можуть бути використані методи багатокритеріальної оптимізації, моделювання, теорії ігор, розмитих (розпливчастих, нечітких) множин, а також інтелектуальні компоненти, такі як штучні нейронні мережі (ШНМ), еволюційні (генетичні) алгоритми, логіко-лінгвістичні моделі, засновані на мовах, породжуваних контекстно-вільними й трансформаційними

граматиками, моделі ситуаційного керування й інші семіотичні моделі, побудовані засобами природних й штучних мов. У слабо формалізованих ситуаціях ефективні неформальні процедури прийняття рішень, що базуються на знаннях. Опис нескладних ситуацій можливо й на основі таблиць рішень.

При використанні багатокритеріальних завдань навіть виділення області компромісів (області Парето) дозволяє суттєво поліпшити якість прийнятих рішень. При визначенні компромісного розв'язку найбільш ефективні ітераційні процедури взаємодії особи, що приймає рішення з ЕОМ, що поєднують можливості природнього інтелекту людини й «детермінованих» алгоритмів, розміщених в ЕОМ. Інтерактивний режим роботи дозволяє підвищити гнучкість формування управлінських рішень.

Для підготовки рішень при керуванні складними динамічними системами широке поширення знаходять імітаційні моделі й мережі Петрі, що дозволяють урахувати велику кількість різноманітних факторів, що визначають поведінку систем, і виробити конструктивні рішення по керуванню ними.

Теоретично-гральні методи забезпечують вибір компромісних рішень при конфліктах і антагоністичних інтересах сторін в умовах установлених відносин між ними (антагоністичні ігри), а також у випадках, коли в якості однієї зі сторін виступає пасивне середовище, «природа» (гри з «природою» або статистичні рішення), поведінка якої характеризується заданим законом розподілу ймовірностей її станів. Даний закон може бути отриманий на основі обробки статистичного матеріалу, гіпотез про поведінку середовища, досвіду ЛПР або думок групи експертів. Застосування гіпотез, досвіду ЛПР або думок експертів при побудові законів розподілу обумовлений відсутністю об'єктивних даних про стани середовища. У цьому, випадку ймовірності станів середовища оцінюються суб'єктивно й називаються суб'єктивними ймовірностями.

Математичний апарат, що базується на представленні розмитих множин, орієнтований на опис ситуацій, що не мають чітко визначених границь. Визначення розмитої множини засноване на понятті функції приналежності багато в чому співзвучному поняттю суб'єктивної ймовірності.

Зараз усе більш широке застосування в керуванні знаходять штучні нейронні мережі. Побудовані на їхній базі системи здатні формувати внутрішні відображення ситуацій, що моделюються і адекватні їм управлінські рішення. Синтез, структур нейромереж здійснюється на основі їх інтуїтивного підбору з урахуванням специфіки розв'язуваного завдання. Задавшись структурою нейромережі й видом активаційних функцій, зазвичай шляхом навчання визначають оптимальні значення її параметрів (синоптичних зв'язків).

Не менш широко використовуються й генетичні алгоритми, які дозволяють генерувати послідовність наборів рішень, оцінюваних за встановленими критеріями їх «придатності». Кожен наступний набір рішень формується з рішень, відібраних на попередній ітерації (крок селекції), шляхом їхнього перетворення (крок змін) за допомогою «генетичних» операторів. Після деякого числа ітерацій виходять рішення, близькі до оптимальних.

Особливе місце серед методів прийняття розв'язків займає ситуаційне керування, що дозволяє одержувати опис об'єкта й алгоритми керування мовою наближеному до природньої. На відміну від мов, побудованих на основі формальних граматик, це мова більш високого порядку, що добре відображає поряд із синтаксисом семантику й прагматику розв'язуваних завдань, що й забезпечує одержання моделей, які володіють високим ступенем ідентичності реальному об'єкту.

Для реалізації неформальних процедур зазвичай використовуються засоби підтримки прийняття рішень, експертні системи й вирішувачі

логічних завдань. Велике значення при цьому надається експертним системам, що працюють із інформацією, яка надходить від об'єкту управління (ОУ) в режимі реального часу (РЧ). Ці системи особливо ефективні при оперативному прийнятті рішень у складних неординарних ситуаціях.

Використання таблиць рішень обумовлене простотою їх побудови й практичної реалізації, що зводиться до перевірки комбінацій умов, що характеризують ситуації на ОУ, і визначенню можливих варіантів реакції на них. Ці таблиці ефективні при розв'язку завдань РЧ, тому що при зміні станів ОУ дозволяють швидко одержувати необхідні керуючі впливи (КВ).

Рішення доводиться здійснювати, як правило, через персонал (операторів) системи керування. Це обумовлене тим, що недостатньо повно враховується стохастична природа зовнішніх факторів, що діють на ОУ, і поведінка самого ОУ в реальних умовах його експлуатації.

При описі характеристик операторів, як керуючих елементів, зазвичай спираються на концепцію «чорного ящика», що припускає побудову моделей на основі психологічних спостережень і різного роду тестів. Для опису характеристик операторів можна використовувати й тренажерні комплекси, засновані на принципах напівнатурного моделювання.

Дана концепція дає гарні результати при описі характеристик операторів нижчих рівнів ієрархії керування. Складніше з описом характеристик операторів високих рівнів, що працюють у режимі прийняття управлінських рішень.

2.1 Системний аналіз енергетики промислових підприємств.

Системи керування споживанням електроенергетичних ресурсів промислових підприємств важко адекватно представити за допомогою існуючого математичного апарата. Виникає необхідність їх розчленовування на окремі підсистеми, для формалізації яких можуть бути використані

математичні методи. Однак і при цьому все-таки залишається широке коло завдань, які з необхідною повнотою не можуть бути описані на основі математичних засобів.

Енергетика промислових підприємств включає процеси: виробництва й перетворення P_G , транспортування й розподілу P_T , споживання P_U енергії, палива й енергоносіїв (ЕПЕ); обслуговування цих процесів P_S і розвитку об'єктів керування P_D (рис.2.1). Керування зазначеними процесами здійснюється шляхом реалізації множини функцій C (збору c_1 , перетворення й передачі c_2 ,



Рисунок 2.1 – Результати декомпозиції системи керування енергетикою промислових підприємств

первинної обробки c_3 інформації; прогнозування станів ОУ c_4 ; вироблення управлінських рішень c_5 ; виводу цих рішень на пристрої відображення даних c_6 ; формування й передачі керуючих впливів на об'єкт керування c_7), що утворюють контури керування.

Функції реалізуються на інтервалах часу (із циклами керування) H , що відповідають безперервному h_1 , оперативно-диспетчерському (до 0,5 години) h_2 , плинному (у межах відповідно доби, місяця, року) h_3 , h_4 , h_5 і перспективному (більше року) h_6 рівням керування. Перетинання виділених процесів, функцій і рівнів керування утворює:

- функціональні підсистеми керування виробництвом $FG = C \cdot P_G \cdot H$, транспортом та розподілом $FT = C \cdot P_T \cdot H$, споживанням $FU = C \cdot P_U \cdot H$ ЕТЭ;
- підсистеми, що забезпечують, керування сервісом (обслуговуванням) $FS = C \cdot P_U \cdot H$ енергетики підприємств;
- підсистеми керування її розвитком $FD = C \cdot P_D \cdot H$.

Запропонований підхід до декомпозиції системи керування енергетикою промислових підприємств гарантує незалежність і повноту потрібних ознак, за якими здійснюється декомпозиція.

Даний підхід дозволяє:

- на теоретично-множинному рівні формалізувати структуру системи керування;
- у рамках єдиної концепції здійснити розробку функціональних та забезпечуючих підсистем керування;
- організувати спільне функціонування цих підсистем.

Результати, представлені на рис. 2.1, є матричною (табличною) моделлю функціональної структури системи керування, зручної (компактної й наочної) для використання на практиці.

Дана модель містить повний перелік функцій і завдань у тому або іншому обсязі присутніх у реальних системах керування. Залежно від

специфіки виробництва, етапів розробки й впровадження систем керування склад функцій і завдань, реалізованих ними, може бути різним.

Тому матриці (таблиці), зображені на рис. 2.1, можуть мати вакантні (порожні) комірки в тих випадках коли функції, що відповідають їм, у системі керування відсутні.

2.2. Методологія побудови систем керування електроспоживанням підприємств

Підсистема керування електроспоживанням промислових та інших підприємств є самою масштабною й безпосередньо пов'язана з виробничими процесами. Від підсистеми керування істотно залежить ефективне функціонування промислового підприємства в цілому. З цієї причини цій підсистемі при розробці АСК енергетичними процесами підприємства приділяється значна увага.

Метою М цієї підсистеми є ефективне (надійне й економічно вигідне) постачання електричною енергією промислових підприємств. Досягнення цієї мети досягається рішенням загального завдання керування $\{\Pi, \Phi\}$, де Π – опис об'єкта керування, а Φ – критерій керування їм.

Опис ОУ являє собою формалізацію вимог виконання підприємством запланованих (договірних) обсягів продукції, тобто $\Pi = \{\pi_i = f(X)\}$, $i = \overline{1, N}$ де π_i – формальний опис i -ї вимоги, X – простір енергетичних параметрів і характеристик поточних станів ОУ (докладніше див. розд. 3).

Критерій керування при існуючих взаєминах з енергозабезпечуючою організацією може бути прийнятий у вигляді

$$\Phi = \lambda W \cdot W + \lambda'_W \Delta W + \lambda_P \cdot P_S + \lambda'_P \Delta P_S + \lambda_Q \cdot Q + k_W \cdot \lambda_W \cdot W + Y_P(\Delta P, t_{op}) + Y_{TO}(y_{tm}, 3) \rightarrow \min.$$

Тут λW і W – відповідно тариф на електроенергію й обсяг її споживання підприємством (включаючи втрати в електромережі); λ'_W і ΔW – відповідно тариф на електроенергію, яка спожита понад норми згідно договору, і її витрата; λP і P_S – відповідно тариф на договірну (заявлену, абонентську)

потужність, яка приймає участь у максимумі навантаження ЕЕС, і значення цієї потужності; λ'_P і ΔP_S – відповідно тариф на активну потужність, спожиту понад заявленої, і її значення; λ_Q і Q – відповідно тариф на реактивну потужність у годинник максимуму навантаження ЕЕС і максимальна величина цієї потужності; $k_W = k'_W$ [або $k_W = k''_W$] – коефіцієнт плати за спожиту [або ту, що генерується] реактивну енергію понад значення, установлені в договорі (затверджується органом по регулюванню тарифів); Y_P – витрати підприємств по регулюванню активної потужності в години максимуму навантаження ЕЕС, що є функцією розміру зниження й часу обмеження $t_{обм}$ навантаження; $Y_{ТО}$ – збиток від неналежної роботи електроустаткування y_{nn} і невчасного виводу його в ремонт З.

Зазначені вище тарифи часто диференціюються за часом доби, днями тижня, місяцями, сезонами та режимами електропостачання.

Введення диференційованих тарифів спонукає споживача до скорочення споживаної потужності в годинник максимальних навантажень ЕЕС і переносу електроспоживання в зону дії, коли ставки тарифу мінімальні та відповідні мінімуму її навантаження. Таким чином досягається бажана для електросистеми оптимізація графіка навантаження як в межах доби, так і по днях тижня. Тобто диференційовані за часом тарифи економічно вигідні і енергопостачальній організації, і споживачам електроенергії.

Зображення опису Π та Φ аналітичним методом на просторі енергетичних параметрів і характеристик станів ОУ майже неможливо. Тому вводиться до реалізації взаємозалежна сукупність завдань керування.

Розкладання ОЗК електроспоживанням промислових підприємств на окремі ЗК дає можливість адекватного вибору й реалізації деяких комплексів задач. При цьому кожний комплекс завдань функціонує у відповідності зі своїми локальними критеріями ефективності, що відображають ту або іншу фазу процесу електроспоживання підприємства. Дані критерії узгоджуються

із критерієм Φ , який виступає в цьому випадку як оцінний. У якості локальних критеріїв можуть виступати безпосередньо складові критерію Φ , визначені виразом (1).

У роботі пропонується підхід до побудови систем автоматизованого керування електроспоживанням промислових підприємств, заснований на представленні їх структур у вигляді сукупності взаємозалежних структур: прийняття рішень (структура розв'язку ОЗК), функціональної, інформаційної й організаційно-технічної.

Далі розглянуті підходи до формування структури прийняття рішень і синтезованих на її основі функціональної, інформаційної, і організаційно-технічної структур.

2.2.1 Формування структури прийняття рішень.

Структура прийняття рішень (СПР) по керуванню електроспоживанням промислових підприємств є представленням ОЗК у вигляді сукупності ЗК Z , описаної орієнтованим графом $G_1(Z, V_1)$ (рис.2.2), де $Z = \{z_i\}$, $i = \overline{1, I}$ ($I=4$) – множина вершин (завдань керування) графа; $V_1 \subset Z \times Z$ – множина дуг $(z_i, z_{i'})$, $i \neq i'$ графа, що відображають зв'язаність ЗК (причинно-наслідкові зв'язки між ЗК); $z_i \in Z$ – завдання, реалізація яких необхідна для розв'язку ЗК $z_{i'}$ (табл. 2.1).

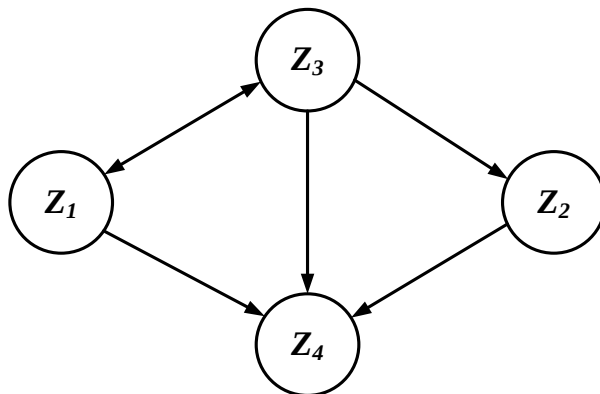


Рисунок 2.2 – Укрупнена структура прийняття рішень по керуванню електроспоживанням підприємств

Усі завдання керування є оптимізаційними, тобто при рішенні кожної з них необхідно одержати максимальну відповідно до критерію (1) ефективність. Для розв'язання конфліктів між ними вирішуються задачі координації, з використання різних способів формального представлення компромісу, а також досвід та інтуїція керуючого персоналу промислових підприємств.

Найбільша ефективність при розв'язанні конфліктів між ЗК досягається у випадку використання діалогових процедур, які засновані на інтерактивному спілкуванні енергодиспетчера з інформаційно-обчислювальним комплексом (ІОК). Такий підхід до розв'язання конфліктів надає можливість енергодиспетчеру змінювати умови рішення ЗК в діалозі з ІОК, проводити перегляд отриманої різноманітності рішень і вибір одного з них.

Таблиця 2.1 – Найменування й зміст завдань керування електроспоживанням промислових підприємств

Найменування завдань	Зміст завдань
z_1	Установлення обмежень на параметри електроспоживання підприємств (величина потужності, що заявляється, ліміти на споживання електроенергії, мінімально й максимально припустимі значення реактивної потужності, припустимі відхилення значень напруги в вузлах електромережі), а також характерні параметри технічного стану електроустаткування і якості продукції, що виготовляється на ньому
z_2	Оптимізація балансів підприємств по активній і реактивній електроенергії; прогнозування та планування споживання електроенергії, а також активної потужності підприємствами й виробничими ланками
z_3	Забезпечення безперебійного електропостачання підприємств: визначення топології електромережі; керування електроспоживанням, активною та реактивною потужністю; діагностика технічного стану

	електроспоживаючого технологічного устаткування
z_4	Підвищення ефективності керування електроспоживанням підприємства засобами морального й матеріального спонукання персоналу служби головного енергетика

Структура прийняття рішень дозволяє розглядати ОЗК електроспоживання підприємств вроздріб, вирішуючи задачі значно меншої складності. Оптимальність керування споживанням електроенергії на підприємстві досягається при цьому координацією й узгодженням результатів вирішення цих задач.

Діючі в цей час АСКОВ є, в основному, системами обліку, обробки даних і спостереження за ними. Економічний ефект від впровадження таких систем не може бути більшим через те, що розв'язувані ними завдання становлять лише підготовчий етап (побудова інформаційної бази) для інтегрованого керування електроспоживанням промислових підприємств.

Окремі ж завдання керування, реалізовані АСКОВ, характеризуються відсутністю оптимізаційних процедур, необхідних для прийняття ефективних управлінських рішень (див. розд. 1).

Впровадження запропонованого в роботі комплексу ЗК є природнім розвитком існуючих АСКОВ, яке забезпечує розумна комбінація формалізованих методів і інтуїції людини в керуванні електроспоживанням підприємств, що дозволяє ухвалювати адекватні рішення в реальних умовах виробництва Підприємстві.

2.2.2 Синтез функціональної та інформаційної структур.

Функціональна структура виходить зі СПР шляхом представлення завдань керування $z_i \in Z$, $i = \overline{1, I}$ у вигляді взаємозалежної сукупності функцій $C = \{c_j\}$, $j = \overline{1, J}$.

На першому етапі синтезу функціональної структури зручно розглядати укрупнені функції (див. підрозд. 2.1), а на наступних етапах переходити до їхньої деталізації, виходячи зі стану електроенергетики підприємства, для якого розробляється система, і можливостей її модернізації.

Функціональна структура, як і СПР, зображується у вигляді графа $G_2(C, V_2)$, де C – множина вершин (функцій) графа, а V_2 – множина його дуг, що відображають взаємозв'язок функцій (рис. 2.3).

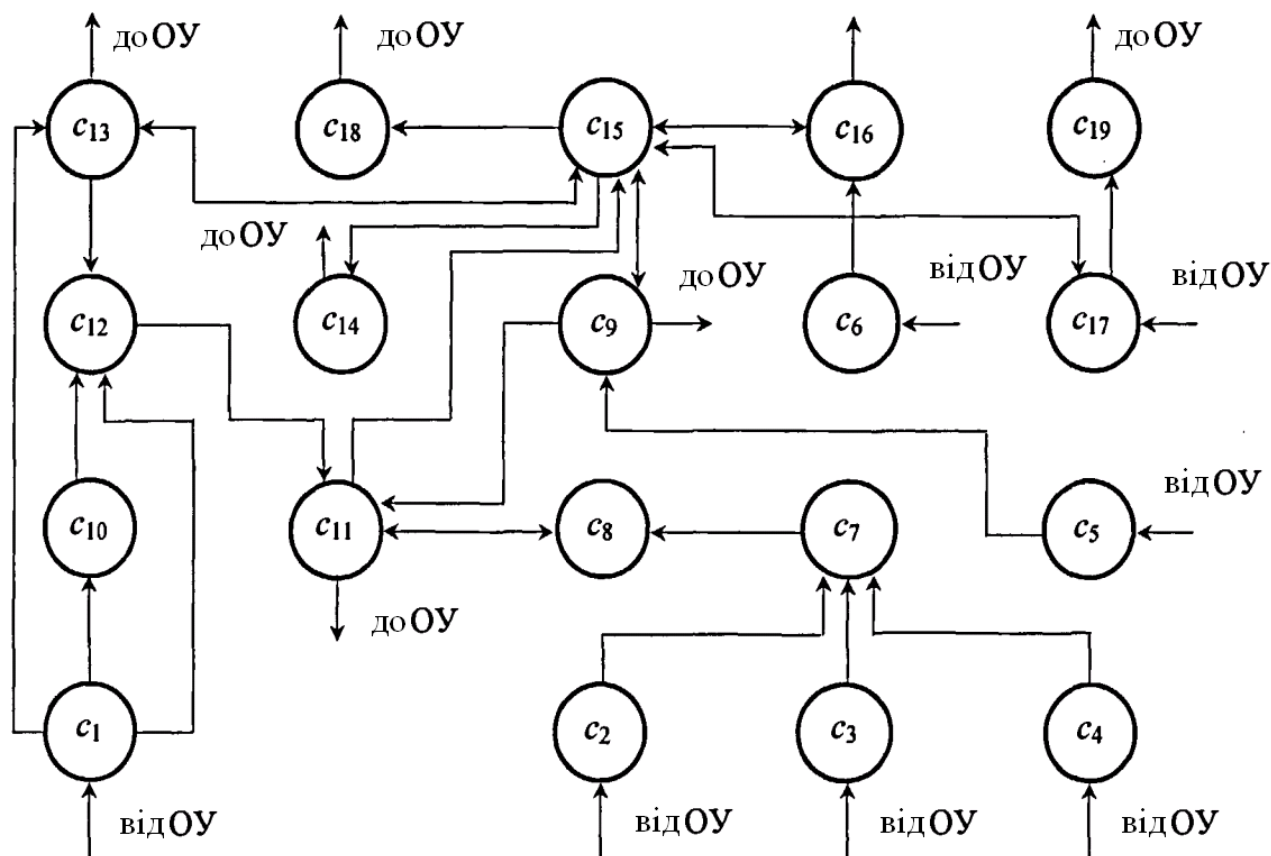


Рисунок 2.3 – Функціональна схема керування електроспоживанням підприємств

Номери функцій на рис. 2.3 означають:

1 – реєстрація телесигналів про стан комутаційної апаратури електромережі й моніторинг технічного стану електроспоживаючого технічного обладнання (ТО) підприємства; 2 – реєстрація й перевірка на достовірність статистичних даних по активних навантаженнях, обчислення

фактичних півгодинних навантажень підприємства, груп споживачів і енергоємних агрегатів; 3 – реєстрація й перевірка на достовірність статистичних даних по реактивних навантаженнях; 4 – реєстрація й перевірка на достовірність даних по напрузі у вузлах електромережі; 5 – визначення добових витрат електроенергії по підприємству, групах споживачів і енергоємним агрегатам; 6 – визначення витрат електроенергії по підприємству й виробничим підрозділам за місяць; 7 – прогнозування навантажень і споживання електроенергії по підприємству й виробничим підрозділам; 8 – формування області рішення багатокритеріального завдання (області Парето) оперативно-диспетчерського керування електроспоживанням підприємства; 9 – визначення показників режимів електроспоживання підприємства і їх граничних значень; 10 – відображення оперативної інформації про поточний стан системи електропостачання промислового підприємства (СЕПП) із пристроями зв'язку та ОУ; 11 – пошук рішення завдання оперативно-диспетчерського керування електроспоживанням підприємства шляхом інтерактивного спілкування енергодиспетчера з ІОК; реалізація КВ із запитом підтвердження виконання (АРМ енергодиспетчера); 12 – заборони на реалізацію КВ від диспетчера виробничо-диспетчерського відділу (ВДВ) підприємства; 13 – вибір топології електромережі й оцінка стану СЕПП (з використанням ГІС-технологій); 14, 18 – відображення оперативної інформації з електроспоживання на АРМи головного енергетика, економіста й інженера з ремонту устаткування; 15 – формування баз даних для рішення завдань керування електроспоживанням підприємства; 16 – розрахунки норм витрати електроенергії й побудова нормативних графіків електроспоживання по виробничих підрозділах і підприємству; планування електроспоживання підприємства й виробничих підрозділів; моральне й матеріальне стимулювання персоналу виробничих підрозділів підприємства за раціональні режими електроспоживання; 17 – визначення заявляємої підприємством величини потужності; складання й

оптимізація електробалансів по підприємству, виробничих підрозділах і енергоємним споживачам електроенергії; аналіз результатів моніторингу технічного стану ТО; аналіз КВ по зміні режиму роботи електроустаткування; моральне й матеріальне стимулювання персоналу за економію електроенергії; 19 – затвердження графіків проведення ремонту устаткування.

Інформаційна структура включає інформацію, необхідну для підтримки функцій, реалізованих системою керування, а також взаємодії системи керування з ОУ й зовнішніми системами (основне й допоміжне виробництво підприємства, АСКЯ, енергопостачальна організація та ін.). Відповідно до цього в інформаційному забезпеченні виділяється вхідна, внутрішня (проміжна) і вихідна (керуюча) інформація.

Вхідна інформація являє собою сукупність вихідних даних, до яких відносяться всі первинні дані, нормативно-довідкова інформація (НДІ), а також перетворені (проміжні) дані, отримані в результаті розв'язання завдань керування.

До вихідної відноситься інформація, одержувана в результаті розв'язання ЗК. Ця інформація призначена для безпосереднього використання в керуванні.

Проміжна інформація є результатом розв'язання ЗК й використовується в якості вхідної для рішення інших завдань.

Інформаційна структура представляється у вигляді графа $G_3(C, V_3)$, де V_3 – множина дуг, що описують інформаційні зв'язки між функціями, які є джерелами й приймачами даних (зв'язаність за даними) (рис.2.4). Фактично граф $G_3(C, V_3)$ є графічним представленням шляхів переміщення даних у системі керування.

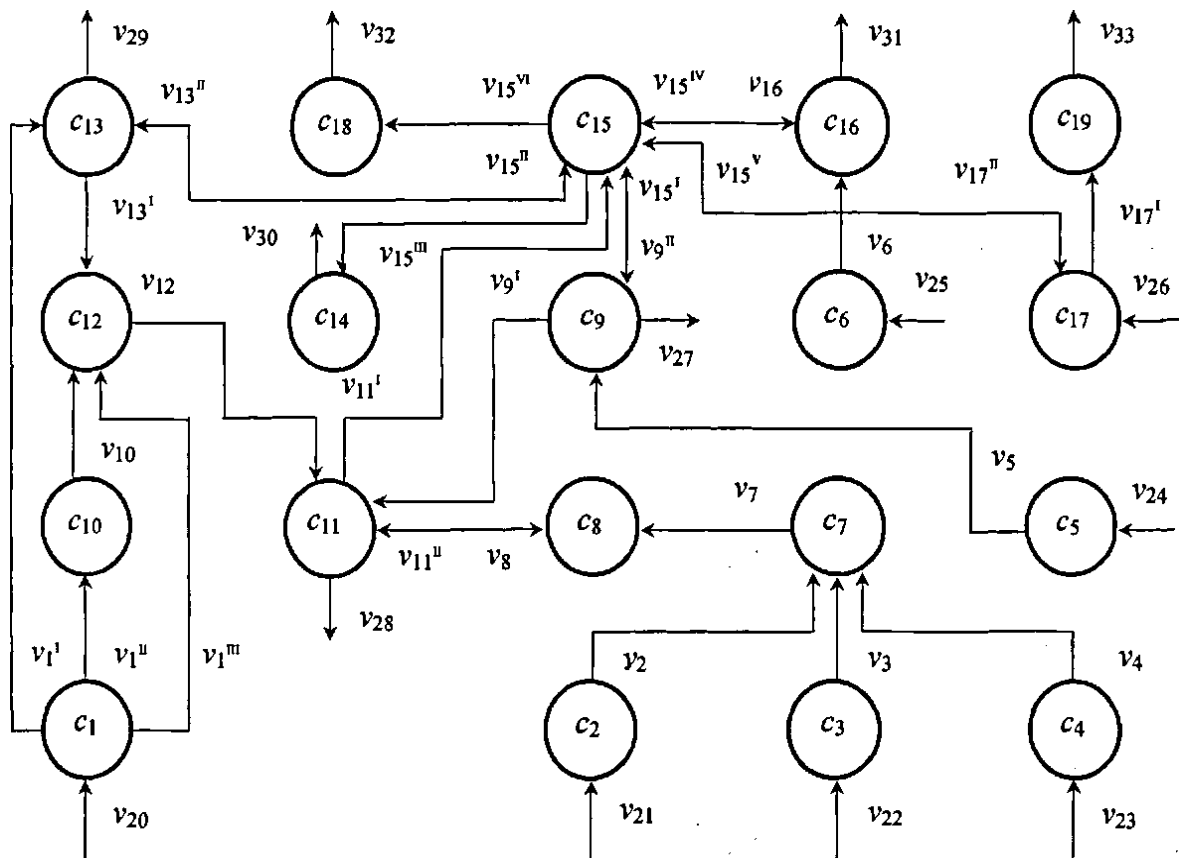


Рисунок 2.4 – Інформаційна схема керування електроспоживанням підприємств

Вхідна інформація:

v_{20} – телесигнали про стан комутаційної апаратури електричної мережі й моніторинг технічного стану електроспоживаючого ТО підприємства;

v_{21} – статистичні дані по активних навантаженнях підприємства, груп споживачів і енергоємних агрегатів;

v_{22} – статистичні дані по реактивних навантаженнях у вузлах електромережі підприємства;

v_{23} – дані по напрузі у вузлах електричної мережі;

v_{24} – витрати електроенергії по підприємству, групах споживачів і енергоємним агрегатам за добу;

v_{25} – те ж за місяць;

v_{26} – максимальна потужність, що заявляється підприємством ЕЕС.

Внутрішня $v_1^I, v_1^{II}, \dots, v_{17}^{II}$ і вихідна $v_{27}, v_{28}, v_{29}, v_{30}, v_{31}, v_{32}, v_{33}$ інформація формується відповідними функціями, зміст яких представлено в поясненні до рис. 2.3.

Форми представлення вихідної інформації (екранні форми, паперові носії) розробляються й затверджуються за узгодженням із замовником на стадії технічного проектування АСК.

Вхідна й внутрішня інформація утворюють базу даних, що містить:

- відомості про склад виробничих підрозділів і електроустаткуванню, розміщеному в них;
- дані про структуру електричної мережі і її параметри;
- дані про показники якості виробів;
- вимірювальну (сигнальну) інформацію, одержувану з ОУ (докладніше див. підрозд. 3.1).

Побудова бази даних здійснюється на основі широко використовуваних СКБД реляційного типу. Для забезпечення достовірності вимірювальної інформації застосовуються ШНМ, а документованої – таблиці, у рядках яких знаходяться вводимі в БД величини й у стовпцях – умови (співвідношення), виконання яких контролюється.

2.2.3 Побудова організаційно-технічної структури.

Функції розподіляються між елементами *організаційно-технічної структури* (ОТС) $O = \{o_k\}$, що утворюють ієрархічні рівні керування. У якості «типових» рівнів керування виступають:

- головний енергетик і його заступники o_1 ;
- начальники структурних підрозділів служби головного енергетика (СГЕ) o_2 ;
- енергодиспетчери o_3 ;
- інформаційно-обчислювальні комплекси o_4 .

Організаційно-технічна структура являє собою граф $G_4(O, V_4)$, де V_4 – множина дуг, що відбивають канали зв'язку для передачі інформації між організаційними й технічними засобами системи керування.

Автоматична частина систем керування електроспоживанням промислових підприємств здійснюється за допомогою апаратних й програмно-сумісних технічних засобів: інтелектуальних датчиків; вимірювальних перетворювачів; комутаторів; мікропроцесорних контролерів; ПЕОМ, розміщених на робочих місцях співробітників СГЕ (робочі станції, а також АРМи головного енергетика, енергодиспетчера, інженера з ремонту енергоустаткування, економіста та ін.) і з'єднаних у вигляді локальних обчислювальних мереж (ЛОМ), зв'язані між собою й іншими ЛОМ; виконавчих працюючих механізмів та інших технічних засобів, які вироблені фірмами: Siemens, Analog Devices, Grayhill, Octagon Systems, Fastwel, Advantech, Measurement Computing, Industrial Tech, TREI GmbH і Pepperl+Fuchs Group.

Локальні обчислювальні мережі і їх компоненти для забезпечення високої надійності функціонування систем керування повинні допускати дублювання.

Для введення інформації з датчиків в ЕОМ використовуються уніфіковані сигнали постійного струму (0-5, 0-20 і 0-100 мА), постійної напруги (0-5 і 0-10В) і частотні (1,5-2,5 і 4-8 кГц).

Уніфікація сигналів може здійснюватися за допомогою індивідуальних і групових нормуючих перетворювачів або шляхом застосування датчиків з уніфікованим вихідним сигналом.

При розробці ПЗ АСК електроспоживанням підприємств доцільно опиратися на сучасні інструментальні програмні засоби побудови систем керування:

– CASE-засоби, такі як Bpwin, Erwin (Logic Works), CASE. Аналітик (Эйтекс), Rational Rose (Rational Software) та ін.;

– SCADA-системи, що дозволяють систематизувати й автоматизувати всі етапи розробки ПЗ, забезпечити уніфікацію проектних рішень, полегшити обслуговування, розвиток і модифікацію програмних систем.

SCADA-системи являють собою, як правило, дворівневі структури. На нижній рівень – контролери – покладається реалізація функцій по керуванню ТО, а на верхній рівень – ПЕОМ – виконання функцій людино-машинного інтерфейсу. У контролерах припустиме використання модулів власної розробки. Для приєднання драйверів вводу-виводу SCADA-системи містять як стандартні, так і внутрішні механізми. При створенні ПЗ контролерів зазвичай використовуються власні мови програмування.

Поряд з функціями інформаційного забезпечення системи керування, для програмної реалізації яких використовуються CASE-технології, і функцій реального часу, програмованих за допомогою SCADA-пакетів, АСК електроспоживанням підприємств включає функції, частина з яких може бути реалізована системами більш високого рівня (керування підприємствами) – ERP (Enterprise Resource Planning)-системами такими, як «Галактика» (корпорація «Галактика»), SAP R/3 (фірма SAP AG), 1С: Підприємство 8.0 (фірма «1С») та ін.

Для прийняття рішень у слабоформалізованих умовах, наприклад, у передаварійних і аварійних ситуаціях на електричних мережах, доцільно використовувати експертні системи реального часу (СРЧ), створювані за допомогою інструментальних засобів, пропонованих фірмами Gensym, Palarian, COGSYS та іншими провідними виробниками програмних продуктів.

При цьому інтереси представляють орієнтовані на створення СРЧ, комерційні оболонки експертних систем:

– G2, GDA і Neuron-line фірми Gensym Corp. є надбудовами, що дозволяють здійснювати імітаційне моделювання й дослідження складних виробничих ситуацій за допомогою ШНМ;

– Activation Framework корпорації Real-Time Intelligent Systems з інструментарієм для формування прикладних програм обробки даних у режимі РЧ та ін.

Зазначені засоби ПЗ АСК електроспоживанням підприємств орієнтовані на роботу в середовищі різних версій операційних систем: Windows, Unix, Dos та ін. Для розробки ПЗ реалізації функцій, не охоплених цими засобами, можуть бути використані об'єктно-орієнтовані мови, середовища програмування й спеціалізовані пакети, підтримувані даними операційними системами.

У якості організаційно-технічних засобів автоматизованого проектування в АСК електроспоживанням підприємств необхідно широко застосовувати АРМи проектувальників, конструкторів і т.д., побудовані на основі ПЕОМ IBM AT і їх технічного оточення, що використовують у якості базового ПЗ Autocad (фірма Autodesk) зі спеціалізованими додатками, КОМПАС (компанія АСКОН) та інші графічні програмні засоби провідних вітчизняних і закордонних фірм. До складу АРМів включаються також Mathcad, Maple V, Matlab та інші системи автоматизації математичних і наукових розрахунків. Для рішення слабоструктурованих завдань проектування можна використовувати програмні комплекси, що реалізують методи угруповування даних (кластерного аналізу), багатомірного шкалювання й штучного інтелекту в комбінації з теорією нечітких множин (інтелектуальні АСК). Зберігання результатів проектних робіт може бути забезпечене, наприклад, системами електронного архівування типу Search фірми Intermech, що працюють на основі промислових СКБД Interbase або Oracle.

Представляють також інтерес системи електронного керування документами, такі як Company Media (Інтер Тракт), Domino.Doc (Lotus), «БосРеферент» (АйТи) та ін., що забезпечують створення документів і керування доступом до них, їх перетворення й безпеку.

Впровадження АСК електроспоживанням, сприяє переходу підприємств на CALS (Continuous Acquisition and Life Cycle Support)-технології – новітні комп'ютерні технології, що утворюють єдине інформаційне середовище для функціонування виробничо- господарської діяльності підприємств. Використання єдиного інформаційного простору для реалізації виробничо-господарської діяльності підприємств дозволяє значно підвищити ефективність виробництва.

Синтезовані структури керування електроспоживанням промислових підприємств G_1 - G_4 надалі деталізуються до одержання функцій, які можуть бути реалізовані існуючими математичними методами на основі серійно випускаємих вітчизняних і закордонних технічних засобів із застосуванням розглянутих вище інформаційних технологій, тобто процес синтезу структури системи керування – ітеративний процес багаторазового поліпшення спочатку ухваленого рішення (рис. 2.5).

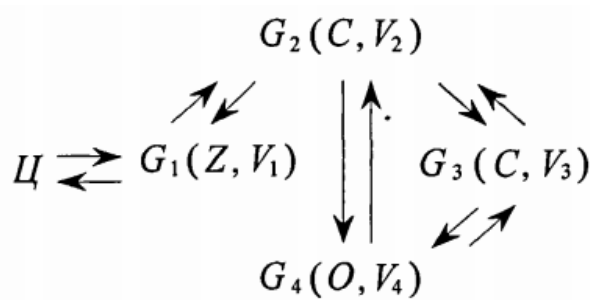


Рисунок 2.5 – Схема синтезу структури системи автоматизованого керування електроспоживанням підприємств

Таким чином, розглянута вище методологія будови систем автоматизованого керування електроспоживанням підприємств зводиться до послідовності етапів:

- формулювання ОЗК електроспоживанням підприємств;
- побудови СПР і формування на її основі функціональної, інформаційної й організаційно-технічної структур автоматизованого керування електроспоживанням підприємств.

Запропонована методологія побудови систем автоматизованого керування електроспоживанням може бути покладена в основу створення типових проектних розв'язків по розробці АСК електроенергетикою підприємства.

2.3 Побудова інформаційно-логічної схеми керування.

На основі синтезованих структур здійснюється побудова інформаційно-логічної схеми (ІЛС) керування електроспоживанням промислових підприємств (рис. 2.6).

Ця схема відображає функції C , виконувані системою керування, на організаційно-технічні засоби O і часові інтервали H їх реалізації, тобто $C \rightarrow O \times H$.

Жирними лініями виділені функції, що містять акти прийняття рішень (керуючі функції).

Як показує ІЛС, ступінь автоматизації завдань керування різна: автоматизовані в основному завдання оперативно-диспетчерського керування, більшість же завдань поточного керування (планування) виконується персоналом АСК з використанням інформації, що надходить від ІОК, і покладається на вищі рівні ієрархічної структури – енергетичне бюро й головного енергетика підприємства.

Представлення процесу керування електроспоживанням промислових підприємств за допомогою ІЛС відбиває нерозривний зв'язок автоматизованої й неавтоматизованої частин системи керування, дозволяє одержати загальну картину її функціонування і є загальносистемною основою для розробки спеціального математичного забезпечення керування (СМЗК).

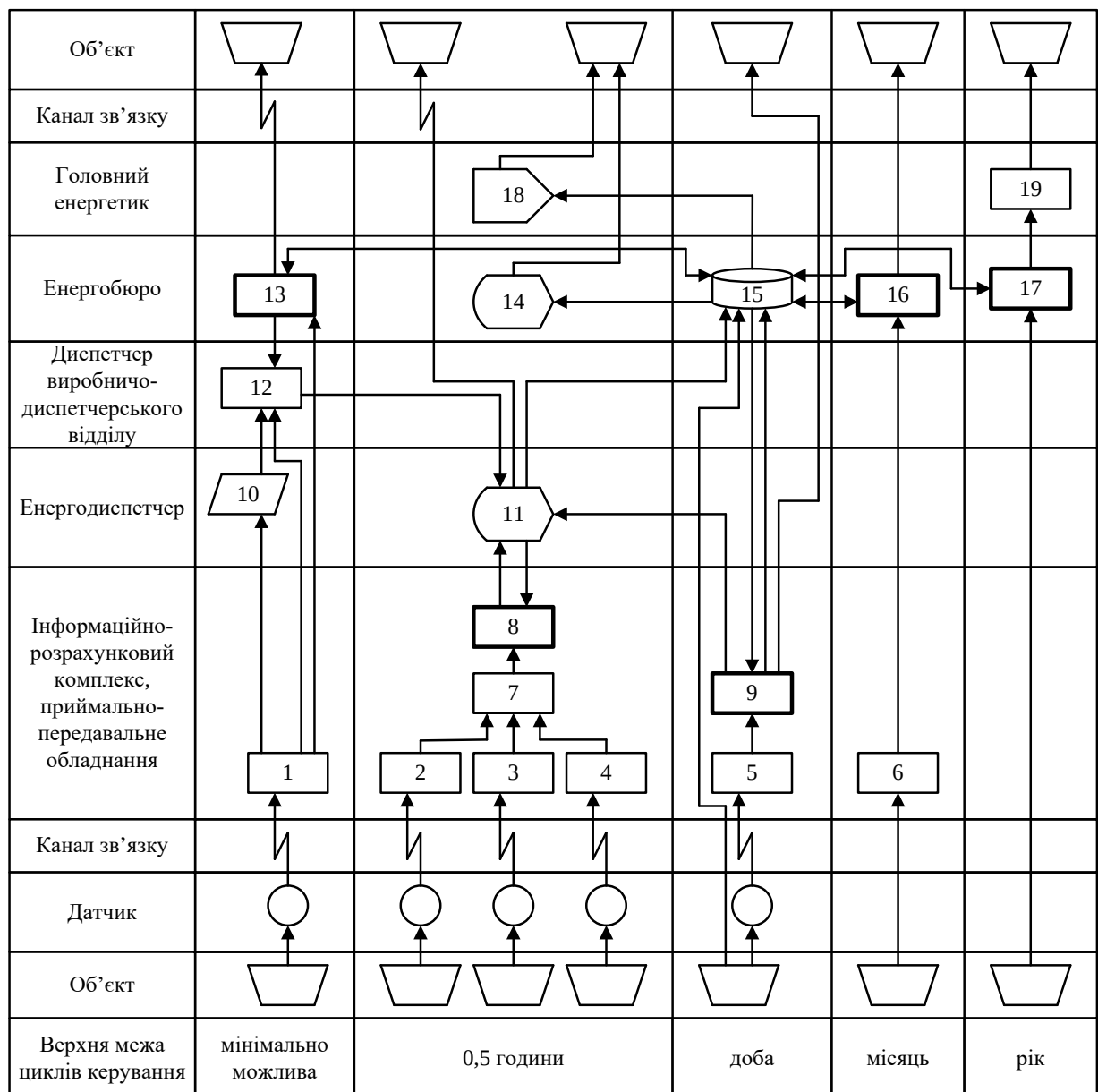


Рисунок 2.6 – Інформаційно-логічна схема керування
електроспоживанням підприємств

2.4 Визначення рівня автоматизації керування електроспоживанням підприємств.

При проектуванні АСК електроспоживання підприємств виникає завдання вибору раціонального рівня автоматизації керування, тобто

розподілу окремих функцій, які реалізуються системою, між працюючим персоналом і технічними засобами.

Рівень автоматизації технологічними процесами можна розглядати як чисто технічний показник.

Нижче запропонований підхід до рішення даного завдання на основі економічних критеріїв. Оскільки в рідких випадках можна кількісно оцінити ефект від автоматизації окремо взятих функцій керування, пропонується оперувати поняттям «контур керування», що включають набір функцій від збору інформації до реалізації КВ (див. підрозд. 2.1).

З урахуванням викладеного дане завдання можна сформулювати в такий спосіб.

Потрібно максимізувати цільову функцію

$$F = \sum_{j=1}^J \sum_{k_j=1}^{K_j} x_{k_j j} e_{k_j j} \rightarrow \max;$$

при обмеженнях:

$$\sum_{j=1}^J \sum_{k_j=1}^{K_j} x_{k_j j} \Pi_{k_j j} \leq \Pi^{\text{ДОП}};$$

$$\sum_{k_j=1}^{K_j} x_{k_j j} = 1;$$

$$x_{k_j j} = \begin{cases} 1, \text{ якщо в } j\text{-му контурі обирається } k_j\text{-й варіант;} \\ 0 - \text{ в іншому випадку.} \end{cases}$$

де $e_{k_j j}$ й $\Pi_{k_j j}$ – відповідно очікувана економія й наведені витрати від k_j -го варіанта автоматизації j -го контуру керування; $\Pi^{\text{ДОП}}$ – припустимі витрати на автоматизацію.

Поставлене завдання ставиться до класу завдань цілочисельного програмування з булевими змінними. Для її розв'язання пропонується використовувати евристичні методи.

Таким чином, узагальнюючи представлені в даному розділі результати, можна зробити висновок про те, що запропонована методологія побудови систем автоматизованого керування електроспоживанням промислових підприємств носить універсальний характер. Ця методологія застосовна для побудови систем автоматизованого керування складними організаційно-технічними об'єктами й може розглядатися як основа для створення САПР систем керування ними.

РОЗДІЛ 3

АНАЛІЗ ПРОЦЕСІВ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ ПІДПРИЄМСТВ ГІРНИЧОРУДНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Побудова АСК енергетикою промислових підприємств неможлива без використання системного підходу, при якому враховуються всі значимі зв'язки між компонентами системи керування й навколишнім середовищем. Системний підхід означає облік технічних, економічних, соціальних та інших факторів, що виявляють істотний вплив на досліджувану систему, і виявлення зв'язків, що визначають її границі.

Системний підхід до побудови АСК споживання електроенергетичних ресурсів підприємством припускає кількісний аналіз різних допущень із метою побудови таких математичних моделей, які, з одного боку, забезпечували б прийнятну точність рішення завдань, а з іншого – мали б відносно просту реалізацію.

Системний підхід також припускає багатокритеріальність завдань керування й наявність ефективних способів їх рішення. При цьому, наприклад, широко використовуваний у цей час метод рішення багатокритеріальних завдань, що полягає в зведенні всіх критеріїв в один узагальнюючий критерій і накладенні обмежень на його складові, як правило, не приводить до потрібного результату.

Це обумовлене постійною зміною ситуацій на ОУ, у яких доводиться ухвалювати рішення. Тому потрібна розробка більш гнучких механізмів розв'язання цих завдань.

3.1 Формалізоване представлення систем електропостачання підприємства й аналіз умов їх функціонування.

3.1.1 Формалізований опис систем електропостачання.

Об'єктом реалізації КВ по регулюванню режимів електроспоживання промислових підприємств є електрична мережа, що має ієрархічну структуру (рис.3.1 і 3.2).

У структурі електромережі виділяється наступна множина $J=\{j\}$ рівнів:

- 1) ввідні фідери в підприємство;
- 2) трансформаторні підстанції;
- 3) силові трансформатори;
- 4) групи приймачів електричної енергії, що одержують електроенергію від однієї секції шин;
- 5) групи електроспоживачів, що одержують електроенергію від одного фідера;
- 6) окремі енергоємні споживачі.

Структура S електричної мережі описується набором бінарних відносин (дуг) $\rho_j: S_j \times S_{j+1}$, де $S_j = \{s_{1j}, \dots, s_{ij}, \dots, s_{I_j j}\}$ – множина елементів (вузлів) на j -м у рівні електромережі, $j = \overline{1, J-1}$, $J=6$.

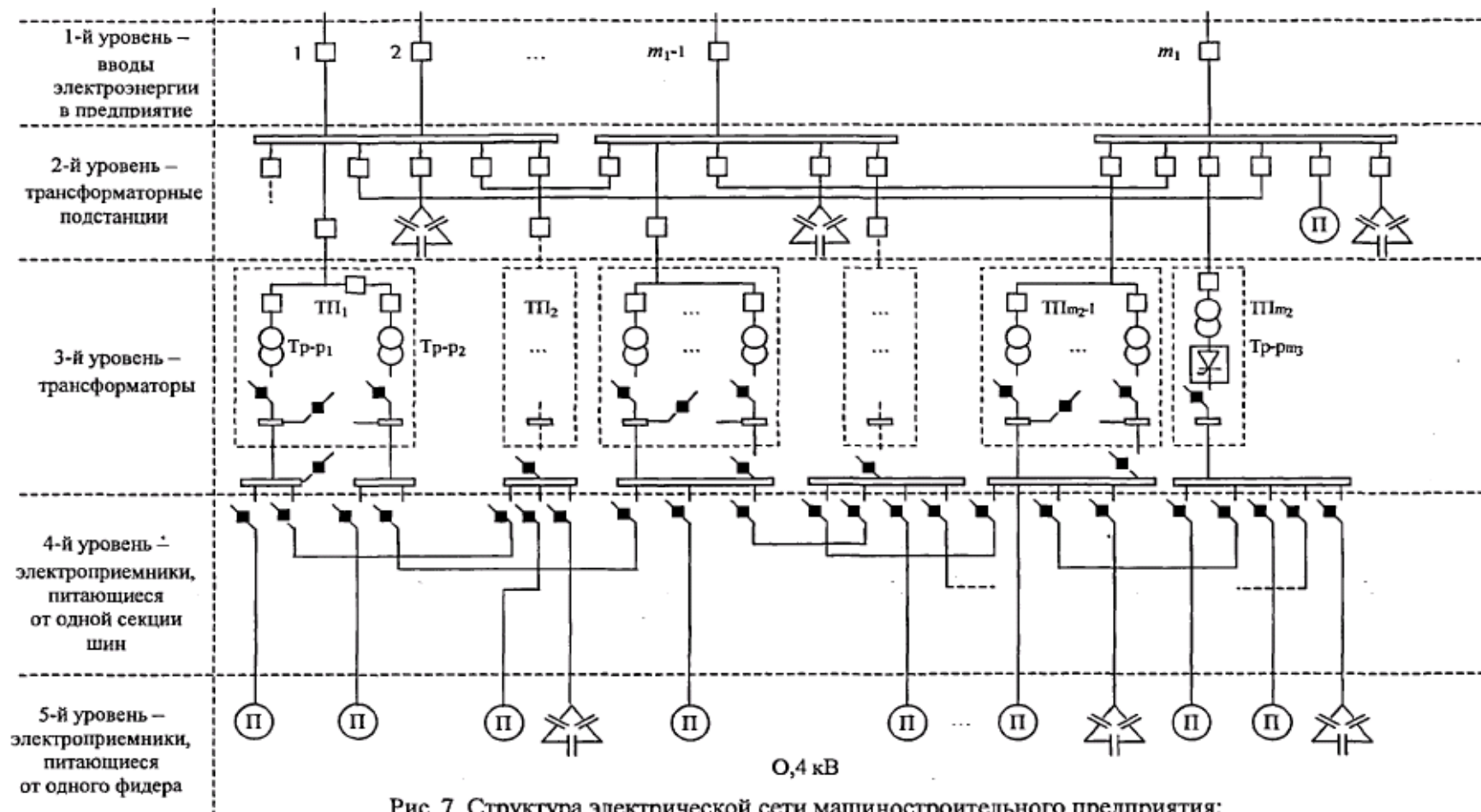


Рис. 7. Структура электрической сети машиностроительного предприятия:

□, ▤ – коммутационная аппаратура 10кВ и 0,4кВ соответственно, ТП – трансформаторная подстанция, Тр-р – трансформатор,
 ⚡ – конденсаторная батарея, (П) – потребитель электроэнергии, ▢ – вентильный преобразователь

Рисунок 3.1 – Структура електричної мережі гірничорудного підприємства:

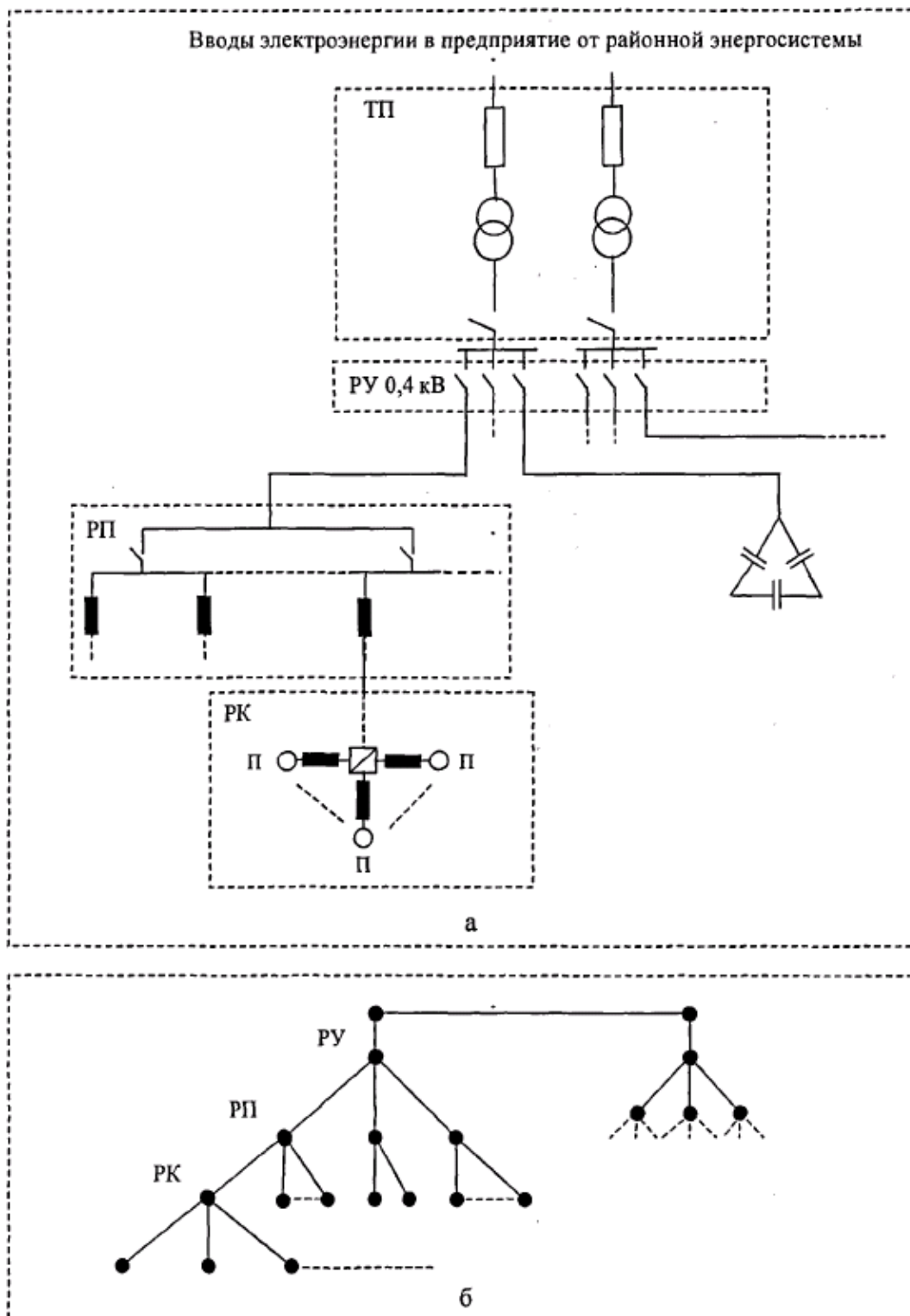


Рисунок 3.2 – Фрагмент низковольтної частини електромережі підприємства:

Представлений опис електромережі покладений в основу формалізації СЕПП. При цьому вузам і дугам мережі ставляться у відповідність компоненти (параметри й характеристики вектора стану ОУ)

$$X = \{P_{opr}, P_{ij}(t), P_{ij}^c(t), y_{ij}, k_{ij}, Q_{мин}(t), Q_{макс}(t), Q_{ij}(t), Q_{ij}^c(t), Q_{gij}(t), G_{ij}, h_{gij}, R_{ij}, U_{ijмин}, U_{ijмакс}, U_{ij}(t), I_j, J, W_n, w_n, \Pi_n, N, q_{nmlмин}(t), q_{nmlмакс}(t), q_{nml}(t), L_{nm}, M_n, z_{vмакс}(t), z_v(t), V\}$$

Тут $P_{ij}(t)$ і $P_{ij}^c(t)$ – відповідно активна миттєва й півгодинна (усереднена за 0,5 години) навантаження i -го вузла j -го рівня електромережі; $P_{обм}$ – обмеження по активному навантаженню підприємства, що вводиться енергопостачальною організацією, у якості якого в нормальних умовах функціонування підприємства виступає заявлена їм потужність P_S ; y_{ij} – оцінка питомого збитку від простою i -го СР активного навантаження j -го рівня мережі: збиток від простою робітників, плата за фонди й амортизаційні відрахування на устаткування, що відключається, витрати на оплату за потужність, витрати від руйнування виробничого процесу, викликаного відключенням СР (при короткочасному відключенні СР складова збитку, пов'язана з руйнуванням виробничого процесу, відсутня через наявність накопичувачів продукції); $k_{ij} = \alpha_{ij} \wedge \beta_{ij} \wedge \gamma_{ij}$, де $\alpha_{ij} = 1$, якщо i -й СР j -го рівня мережі може бути використаний для регулювання навантаження, $\beta_{ij} = 1$, якщо СР включений і $\gamma_{ij} = 1$, якщо рекомендується для регулювання навантаження, 0 – у протилежних випадках; I_j – кількість СР для регулювання навантаження на j -му рівні мережі; J – кількість рівнів мережі; W_n і w_n – інтегральні і питомі витрати електроенергії при заданому обсязі продукції Π_n по n -му об'єкту планування; N – кількість підрозділів; $Q_{ij}(t)$ і $Q_{ij}^c(t)$ – відповідно реактивна миттєва й усереднена (зазвичай за 0,5 години) навантаження i -го вузла j -го рівня мережі; $Q_{мин}(t)$ і $Q_{макс}(t)$ – відповідно мінімально й максимально припустимі значення реактивної потужності підприємства (диференційовані за часом доби); $Q_{gij}(t)$ – потужність батарей конденсаторів (БК), розміщених

в i -му вузлі j -го рівня мережі; G_{ij} – кількість секцій у БК, установленій в i -му вузлі j -го рівня мережі; h_{gij} – булева змінна, рівна 1, якщо здійснюється вплив на gij -у секцію i -ї БК j -го рівня, і 0 – в противному випадку; $U_{ij}(t)$ – напруга в i -му вузлі j -го рівня мережі; R_{ij} – активний опір i -ї ділянки j -го рівня мережі; $U_{ij\min}$ і $U_{ij\max}$ – мінімально й максимально припустимі значення напруги в i -му вузлі j -го рівня мережі (відповідно до прийнятих нормативів); $q_{nml}(t)$ – значення l -ї характеристики технічного стану m -го технологічного агрегату, розміщеного в n -му підрозділі; $q_{nml\min}(t)$ і $q_{nml\max}(t)$ – відповідно мінімально й максимально припустимі значення l -ї характеристики технічного стану m -го агрегату n -го підрозділу; M_n – кількість технологічних агрегатів (устаткування) в n -му підрозділі; L_{nm} – кількість характеристик технічного стану m -го агрегату n -го підрозділу; $z_v(t)$ – значення v -го параметра якості виробів; $z_{v\min}(t)$ і $z_{v\max}(t)$ – відповідно мінімально й максимально припустимі значення v -го параметра якості виробів; V – кількість контрольованих параметрів якості виробів.

Електричні мережі промислових підприємств експлуатуються по деревоподібних структурах. У цьому випадку при аваріях у СЕПП і зміні характеру електроспоживання підприємств виключається перерозподіл струмів у гілках мереж.

Визначений вище вектор X становить базу даних рішення ЗК, що забезпечує цілісність, повноту й несуперечність даних.

На даній БД вирішуються завдання:

- керування режимами електроспоживання підприємств по активній і реактивній потужності;
- мінімізації втрат електроенергії в електромережах і підтримки в заданих межах напруги в їхніх вузлах;
- регулювання витрати електроенергії й забезпечення нормального функціонування електроспоживаючого ТО.

Рішення у єдиному інформаційному просторі X зазначеного комплексу завдань приводить до істотного підвищення ефективності керування електроспоживанням промислових підприємств. Підвищенню ефективності керування також сприяє й упорядкування електропостачання електроспоживаючого устаткування (див. нижче).

При регулюванні активного навантаження промислових підприємств у систематичному її зниженні не можуть брати участь споживачі електроенергії, відключення яких неприпустимо з міркувань безпеки персоналу, катастрофічних наслідків або може привести до істотного браку й поломці устаткування в результаті змін у технологічний процес (ТП) виробництва. Для ефективного регулювання електричного навантаження зазначені споживачі електроенергії повинні об'єднуватися в окремі групи.

Потрібно виключити також живлення електроприймачів різних виробничих підрозділів підприємств від одного фідера й мінімізувати кількість введень електроенергії в підрозділи.

3.1.2 Класифікація електроспоживаючого устаткування.

Аналіз електроспоживання промислових підприємств дозволяє зробити висновок про доцільність виділення в окрему групу завдань керування режимами електроспоживання:

- задоволення вимог енергопостачальної організації по активній і реактивній потужності з мінімумом витрат для підприємств;
- мінімізації втрат електроенергії в електричних мережах і підтримки напруги в їхніх вузлах у заданих межах.

Це обумовлене тісною взаємодією даних завдань з використовуваною інформацією та результатами рішення.

Ефективність розв'язання цих завдань безпосередньо пов'язана з характером електроспоживання промислових підприємств, складом і режимами роботи електроустаткування.

Як приклад на рис.3.3 вказаний графік активного та реактивного півгодинного навантаження для гірнорудного підприємства.

Графік має слабо виражені максимуми, перший з яких збігається з годинами ранкового максимуму (з 9 год до 12 год), а другий (пообідній) трохи зміщений по відношенню вечірнього максимуму (з 16 год 30 хв до 18 год) навантаження ЕЭС.

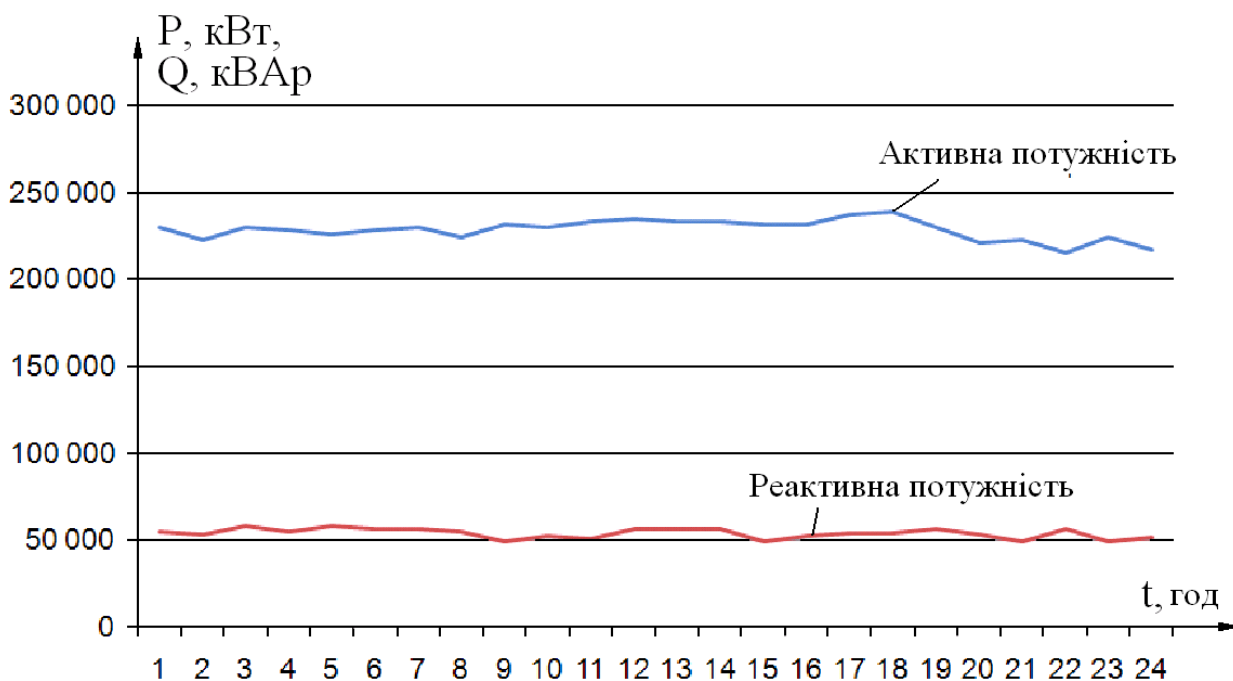


Рисунок 3.3 – Добовий графік активного та реактивного навантаження підприємства

Однак для ряду промислових підприємств максимуми більш явно збігаються за часом з утрішнім та вечірнім максимумом навантаження ЕЕС. По величині вечірній максимум, як правило, трохи менше ранкового. Для багатьох ЕЕС більш значимим є ранковий максимум.

Ефективне маніпулювання електроустаткуванням при регулюванні активного навантаження промислових підприємств здійснюється на основі інформації про його склад і умови функціонування.

Електричні характеристики переважної більшості електроустаткування не залишаються постійними, а змінюються в часі. За технологічними

режимами роботи електроустаткування навіть однієї групи вкрай різноманітної й вносить різний вклад у формування графіків електричних навантажень підприємств.

Устаткування можна класифікувати за різними ознаками. З погляду використання для регулювання активного навантаження підприємств його доцільно розділити на дві категорії (рис.3.4):

- основне, технологічне устаткування, до якого відносяться автоматизовані лінії, що обробляють центри, верстати з ЧПУ, преси, механообробне устаткування, електропечі, зварювальні апарати й гальванічні машини, високочастотні установки та ін.;

- неосновне, допоміжне устаткування, що включає до свого складу устаткування «життєзабезпечення» і сервісне устаткування, що забезпечує безперебійну роботу основного устаткування.

Устаткування «життєзабезпечення» – це обладнання систем вентиляції, теплопостачання, подачі води й освітлення, комбінату громадського харчування і т.д.

Сервісне устаткування – це обладнання механічних і слюсарних майстерень, служби КІПіА, електроцеха, метрологічного забезпечення і т.д.

Аналіз складу споживачів електричної енергії гірничодобувних підприємств показав, що 60-70% парку електроприймачів на них задіяне в технології й лише 30-40% припадає на допоміжне устаткування.

У результаті аналізу виробничого процесу були виявлені незначні коливання активного навантаження на початку й наприкінці змін, а також під час обідніх перерв. Ці коливання пов'язані зі зміною інтенсивності праці й кількісного складу функціонуючого допоміжного устаткування. У частину доби, що залишилася, електричне навантаження промислових підприємств відносно постійне. У цей період працює лише ТО, яке за умовами технологічного регламенту відключати не можна.

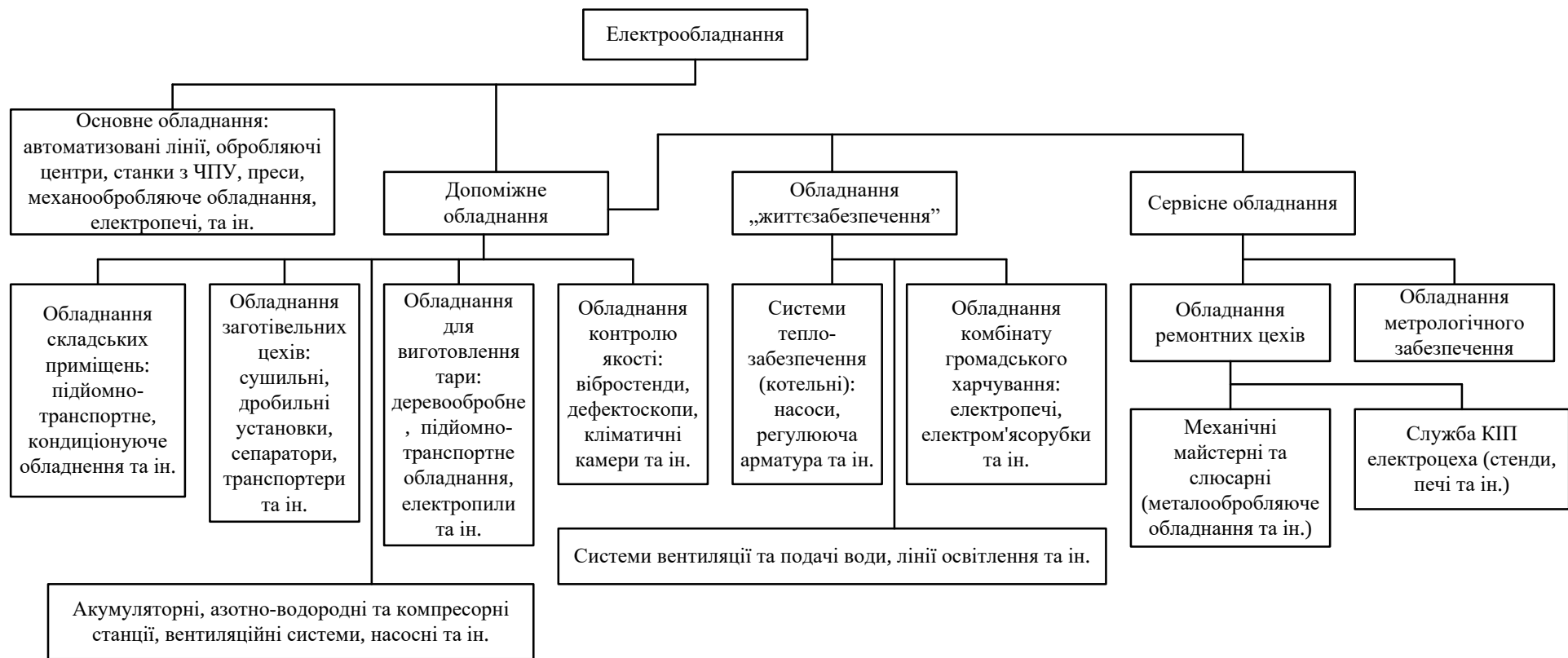


Рисунок 3.4 – Склад споживачів електричної енергії гірничорудних підприємств

Додаткове навантаження становить чергове освітлення виробничих приміщень і території промислових підприємств.

До допоміжного, сервісного й устаткування «життєзабезпечення» на машинобудівних підприємствах належить устаткування неосновного виробництва, що становить порядку 15% їх електричного навантаження.

Допоміжне устаткування цехів (верстати токарські, токарно-гвинторізні, свердлильно-розточувальні, кругло- і плоскошліфувальні, фрезерні, відрізні і т.д.), що відноситься, в основному, до групи сервісного устаткування, функціонує в режимі виконання повторюваних операцій або групи операцій. Сумарне навантаження цього устаткування становить від сотих до одиниць відсотків електричного навантаження промислових підприємств.

Режими роботи зварювальних апаратів, механічних і гідравлічних пресів характеризуються різко змінним «ударним» навантаженням, обумовленого їхнім частим включенням і відключенням. Однак через невелику кількість даного устаткування створювані ними коливання навантаження є незначними в загальній складовій навантаження підприємств.

Підйомно-транспортне устаткування (електронавантажувачі, приводні лебідки, крани, підйомники і т.д.), компресорні станції, кондиціонери й вентиляційні системи, що відноситься до групи допоміжного електроспоживаючого устаткування, характеризуються відносно рівномірним споживанням електроенергії. З категорії неосновного устаткування дане обладнання зазвичай вносить найбільший вклад у формування графіка електричних навантажень підприємств.

Електричні плити комбінату громадського харчування й електродвигуни насосів у котельні, що становлять групу устаткування «життєзабезпечення», функціонують зазвичай в тому самому режимі й мають у період роботи малу ймовірність відключення й включення.

Таким чином, вплив неосновного обладнання на ТП протягом певних проміжків часу можна вважати несуттєвим.

Це устаткування можна короткочасно відключати з метою регулювання навантаження практично без шкоди для підприємств. Воно є основним для регулювання в умовах заявленого максимуму й неглибоких обмежень по навантаженню.

Оскільки електроспоживаюче устаткування підприємств, в основному, має малу потужність (одиниці й десятки кіловат), то в якості СР активного навантаження доцільно використовувати не окремо взяті агрегати, а групи електроприймачів (5-й рівні електромережі підприємства).

Застосування для регулювання активного навантаження промислових підприємств не окремих електроприймачів, а їх груп, дозволяє не тільки звести до мінімуму розлад ТП, зменшити кількість перемикачів комутаційної апаратури, а також фізіологічне й психологічне навантаження на енергодиспетчера, що суттєво при роботі в режимі реального часу, але й використовувати для прогнозування електричного навантаження статистичні методи.

3.1.3. Оцінка збитку від перебоїв в електропостачанні технологічного устаткування.

Керування на промислових підприємствах виконується відповідно до принципу безперервності, сутність якого полягає в усуненні перерв при передачі предметів праці з однієї операції на іншу, невинній роботі всіх діючих у виробництві машин і апаратів. Чим менше перерв у роботі, тим коротше цикл виготовлення продукції, нижче її трудомісткість, вище продуктивність праці й інші показники, що характеризують ефективність керування виробництвом.

Ефективність керування виробництвом не може бути забезпечена, якщо абстрагуватися від питань керування електроспоживанням підприємств і, у першу чергу, споживанням активної потужності.

Регулювання активної потужності (навантаження) підприємств ефективно аж до їхньої аварійної броні (мінімального навантаження, що забезпечує функціонування обладнання, аварійне відключення якого приводить до виникнення вибухо- і пожежо- небезпечних ситуацій, ушкодженню унікальних технологічних установок і т.п.). Споживачі електроенергії, що становлять аварійну бронь підприємств, одержують електроенергію від надійно резервуємих ліній живлення. Аварійна бронь зазвичай становить 10-20% від максимальних електричних навантажень підприємств.

Від окремих резервуємих ліній одержує електроживлення й устаткування, що становить технологічну бронь підприємств. Відключення даного устаткування повинне проводитися після закінчення часу, необхідного для завершення виконуваного їм циклу технологічних операцій.

Збиток, який несуть промислові підприємства при відключенні електроустаткування, є складною функцією тривалості перебоїв в електропостачанні. Тому для ефективного регулювання активних навантажень підприємств для кожного СР необхідно мати залежність збитку u , викликаного його відключенням, від тривалості простою (тривалості відключення) $t_{обм}$. У першому наближенні цю залежність можна вважати лінійною й визначати збиток за співвідношенням $u = \gamma \cdot t_{обм}$, де γ – постійний коефіцієнт пропорційності, що має значення питомого збитку.

Однак використовувати дану залежність можна лише в межах несуттєвого розладу виробничого процесу.

При глибоких обмеженнях по навантаженню, коли для її регулювання не вистачає потужності допоміжного устаткування й відсутні накопичувачі продукції або продукція в них, що забезпечує роботу залежних від

відключаємих СР ланок виробництва (що запобігає розриви зовнішніх по відношенню СР виробничо-технологічних зв'язків), залежність між збитком у й тривалістю $t_{обм}$ відключення СР має суттєво нелінійний характер. У цьому випадку її часто можна представити поліноміальними моделями виду

$$y = \sum_{n=1}^N \beta_n t_{обм}^n,$$

де $\beta_n, n = \overline{1, N}$ – коефіцієнти моделі, оцінки яких визначаються за допомогою методу найменших квадратів (МНК).

Продукції в накопичувачах, як правило, вистачає на 1-2 години роботи ТО.

Для ТО, використовуваного в якості СР, має місце неоднорідність характеристик у й $t_{обм}$. Тому потрібне структурне групування (класифікація) СР, що дозволяє виділити однорідні по даних характеристиках їх сукупності й для кожної з них побудувати свою залежність.

Зазвичай ці залежності представляються у вигляді

$$y = \beta_1 t_{обм} + \beta_2 t_{обм}^2.$$

При формуванні складу споживачів-регуляторів потрібно враховувати взаємодію між ними, обумовлене їхньою участю в ТП. Це необхідно тому, що відключення окремих СР усередині функціональних груп (груп, зв'язаних ТП) приводить до простою всього устаткування, що входить в цю групу, а отже до розладу ТП. Накопичувачі продукції не забезпечують стійкості функціональних груп, тому що зазвичай розміщуються на зв'язках між ними. Тому в якості СР необхідно використовувати не окремі електроприймачі функціональних груп, а групи в цілому.

При запропонованому способі регулювання активних навантажень проблема «руйнування» функціональних груп частково знімається, тому що відключаються не окремі споживачі електроенергії, а досить великі їхні групи.

Одиницею, що мінімально відключається, є група електроприймачів, що одержує електроенергію від фідера (5-й рівень електромережі підприємства) (див. підрозд. 3.1). У цьому випадку відключенню підлягають, як правило, окремі виробничі ділянки й цеху.

3.2. Розподіл погрішності контролю електричних навантажень між елементами контуру керування.

Процес керування електроспоживанням підприємств розчленований на цикли рівної тривалості. На початку кожного із циклів ЕОМ робить послідовне опитування датчиків D електричних навантажень. Інформація $x_1, x_2, \dots, x_k$ з датчиків знімається у вигляді безперервних величин: струму, напруги й частоти. Тому величини, які поступають на вхід попередньо перетворюються в дискретну форму (рис.3.5). З метою підвищення точності передачі даних по каналах зв'язку перетворення виконується в безпосередній близькості від джерел інформації.

Енергопостачальною організацією контролюється активна півгодинна (усереднена за 0,5 години) потужність, споживана підприємствами в години максимуму навантаження ЕЕС (рис.3.3). Її вимір здійснюється шляхом зняття показань із лічильників комерційного обліку витрати електроенергії, установлених на вхідних фідерах підприємств. Ці прилади, як правило, мають клас точності 2,0.

Якщо прийняти погрішність δ_0 контролю навантаження рівному $\pm 2\%$, то число рівнів S її квантування (квантів) по амплітуді складе

$$S = 1/2\delta_0 = 25,$$

а максимальна кількість інформації, що міститься в одному статичному вимірі, обчислене на основі заходу Хартлі

$$I = \log_2 S = 5 \text{ біт.}$$

Максимальна кількість інформації, що міститься в одному статичному вимірі, отриманому в припущенні, що перетворювач аналог-код є ідеальним. Реальний же перетворювач таким не є. Тому його розрядність вибирається більшою.

Таким чином, при керуванні електроспоживанням підприємств для перетворення безперервної інформації $x_1, x_2, \dots, x_k$ у дискретну досить восьмибітного аналого-цифрового перетворювача (АЦП).

З метою зменшення обсягу устаткування АЦП вибирається багатоканальним. Через аналоговий комутатор він по черзі підключається до кожного датчика. Отриманий після перетворення код по каналу зв'язку передається в ЕОМ.

До АЦП пред'являються жорсткі вимоги не тільки по точності, але й по часовим характеристикам. Важливим параметром при цьому є час перетворення сигналу Δt_{np} , величина якого повинна бути такою, щоб перетворений сигнал не встигав за цей час змінитися більш ніж на одиницю молодшого розряду.

Для цього необхідно, щоб виконувалася нерівність

$$\Delta t_{np} = \frac{P_{\max} - P_{\min}}{(2^{n-1})(dP / dt)_{\max}},$$

де $P_{\min}$ і $P_{\max}$ – відповідно мінімально й максимально можливі значення перетвореного сигналу, а $(dP / dt)_{\max}$ – максимально можлива швидкість його зміни.

При характерних для промислових підприємств середньої енергоємності $P_{\min} = 16$ МВт, $P_{\max} = 18$ МВт і $(dP / dt)_{\max} = 0,020$ МВт/с максимально припустимий час перетворення сигналу складе $\Delta t_{np} = 1,9$ с.

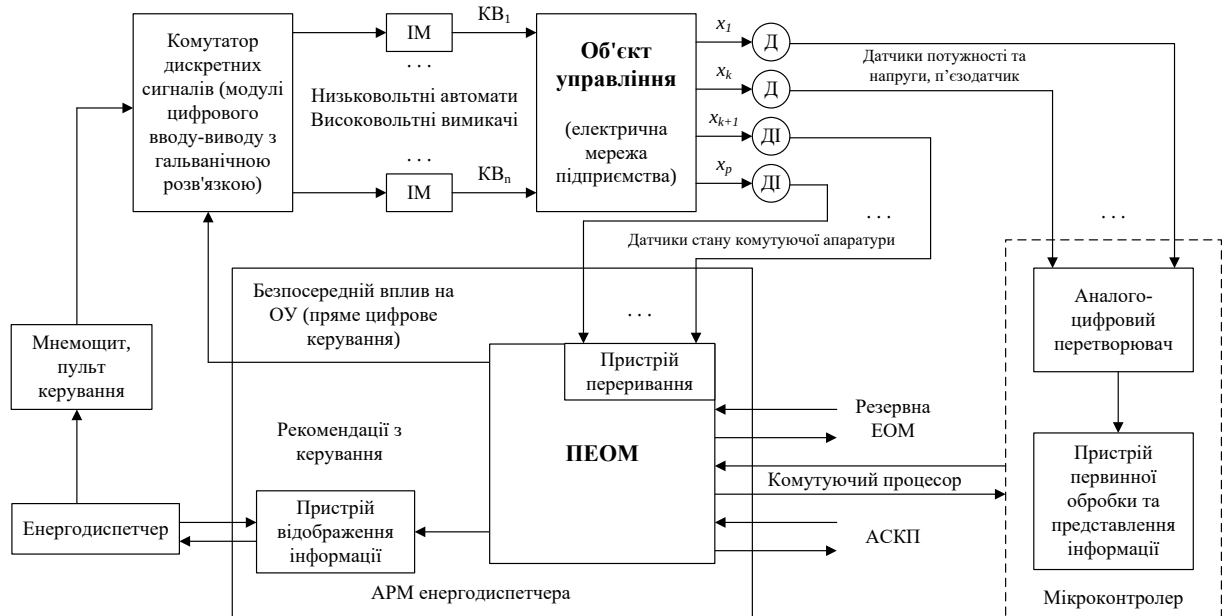


Рисунок 3.5 – Контур керування електроспоживанням підприємств

Час перетворення по одному каналу багатоканального АЦП визначається виразом $\Delta t_{np}^* = \Delta t_{np} / m$, де m – число комутаційних каналів, рівне кількості СР. Тоді для кількості СР, що дорівнює 1000, одержимо $\Delta t_{np}^* = 1,9$ мс. Як видно, вимоги до швидкодії АЦП не є твердим і в якості його можна використовувати серійно випускаємі промисловістю пристрої.

Перетворена в цифрову форму інформація (коди АЦП) передається в ЕОМ. Після введення інформації проводиться її масштабування, обробка по програмах, що реалізують прийнятий закон керування, і видача на пристрої відображення необхідних команд, які передаються енергодиспетчером або безпосередньо через комутатор виводу дискретної інформації на виконавчі механізми (ВМ), де перетворюються в керуючі впливи $KB_1, KB_2, \dots, KB_n$.

Сигнали $x_{k+1}, x_{k+2}, \dots, x_p$ про зміну топології електромережі знімаються за допомогою двопозиційних датчиків стану комутаційної апаратури: масляних вимикачів, низьковольтних автоматів і роз'єднувачів. Передача цих сигналів в ЕОМ викликає переривання виконуваних обчислень і перехід до програми, яка фіксує інформацію, що надійшла. Після закінчення роботи цієї програми ЕОМ переходить до виконання перерваних обчислень.

Для взаємодії енергодиспетчера з ОУ може бути передбачений пульт керування, що містить мнемосхему й органи керування об'єктом. При виході з ладу обчислювальної техніки енергодиспетчер здійснює ручне керування із цього пульта.

Таким чином, погрішність контуру керування електроспоживанням підприємств складається з погрішностей пристроїв виміру й перетворення інформації: датчиків – δ_{∂} ; комутаторів – δ_k , аналого-цифрових перетворювачів – δ_n (апаратна погрішність) і алгоритмів обробки інформації – δ_a (алгоритмічна погрішність). Інші елементи контуру керування при нормальному його функціонуванні істотної погрішності в перетворення й передачу інформації не вносять. Зазначені погрішності є випадковими величинами, які можна вважати незалежними й нормально розподіленими.

У цьому випадку загальна погрішність контуру керування $\delta_{\text{обц}} = \sqrt{\delta_{\partial}^2 + \delta_k^2 + \delta_n^2 + \delta_a^2}$, також буде нормально розподіленою випадковою величиною.

Максимальні погрішності контуру керування і його складових визначаються виразом $\delta_i \text{ макс} = 3\delta_i \forall i \in \{\text{обц}, \partial, n, k, a\}$. При цьому алгоритмічна погрішність не повинна перевищувати величини

$$\delta_a \text{ обц} = \sqrt{\delta_{\text{обц макс}}^2 - (\delta_{\partial}^2 + \delta_k^2 + \delta_n^2)}.$$

При використанні для виміру електричних навантажень промислових підприємств датчиків загальнопромислового призначення з межами припустимої погрішності $\delta_{\partial \text{ max}} = \pm 1,0\%$, а для комутації й перетворення аналогових сигналів – серійно випускаємих пристроїв з точністю не гірше $\delta_k \text{ max} = \delta_n \text{ max} = \pm(0,3-0,5)\%$, алгоритмічна погрішність складе $\delta_a \text{ max} = \pm(1,5-1,6)\%$.

РОЗДІЛ 4

ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ РЕГУЛЬОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ КОНВЕЄРНИХ ЛІНІЙ ТА ПОТОЧНО- ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

4.1. Вдосконалення експлуатації електроприводу конвеєрного транспорту

Для економії електроенергії при експлуатації конвеєрного транспорту пропонуються наступні заходи: збільшення середнього завантаження конвеєрів до оптимального значення; усунення режимів праці конвеєрів вхолосту; усунення нераціонального функціонування скребкових конвеєрів; підтримка конвеєра у високому технічному стані; використання регульованого електропривода.

Обрахувати витрату електроенергії одного конвеєра за розрахунковий період часу можна за допомогою виразу

- стрічковий конвеєр:

$$W_{CT} = 0,013 \cdot L \cdot \delta \left[C_{CT} \cdot V_{CT} \cdot t_p + 0,28 \cdot Q_p \cdot \left(1 \pm \frac{\sin \beta}{\delta} \right) \right], \text{ кВт} \cdot \text{год}, \quad (4.1)$$

- скребковий конвеєр:

$$W_{CK} = 0,01 \cdot L_T \cdot \delta [C_{CK} \cdot V_{CK} \cdot t_p + 0,34 \cdot Q_p \cdot (1 \pm \operatorname{tg} \beta)], \text{ кВт} \cdot \text{год}, \quad (4.2)$$

де L – довжина конвеєра, м; якщо приймається вантаж з виїм очних частин, його довжина визначається, якщо відома його початкова довжина на початок запланованого періоду, L_{Π} – половина довжини просування лінії вибою конвеєра за розрахунковий період роботи при подовженні конвеєра; β – кут установки конвеєра, градус; $L_T = L \cdot \cos \beta$ – довжина конвеєра в

горизонтальному замірі, м; δ - коефіцієнт опору руху; в стаціонарних конвеєрах $\delta = (0,02-0,033)$; $C_{\text{л}}$, $C_{\text{СК}}$ – погонна маса частин конвеєра, що рухаються ; t_p – час функціонування конвеєра в розрахунковий період, год; $V_{\text{с}}$, $V_{\text{СК}}$ – швидкість стрічки та ланцюга конвеєра, м/с; Q_p – розрахункова маса вантажу, перевезеного конвеєром за час роботи, т.

Щоб визначити нераціональної витрати електроенергії при ненавантаженій роботі конвеєрів використовується тільки перший доданок вищенаведених виразів, і ще замість t_p використовується час t_x холостого ходу конвеєра за проміжок розрахункового періоду.

Для того, щоб підвищити завантаження конвеєра до номінальних значень за конвеєром треба встановлювати бункер чи іншу усереднюючу ємність, за допомогою якої проводиться навантажування конвеєрів, які працюють послідовно з номінальним завантаженням.

Іноді скребкові конвеєри можуть використовуватися нераціонально, в цьому випадку їх можна замінити стрічковими. При цих заходах, а також при використанні бункерів, економічний ефект розраховуються за допомогою наведених аналітичних виразів для визначення витрати енергії конвеєрами.

З метою підтримки надійного технічного стану конвеєрів, який знижує електроспоживання, слід:

- регулярно забезпечувати змащування механічних вузлів згідно карти змащування заводу – виготовлювача;
- уникати заштибовки конвеєра і кінцевих станцій;
- уникати експлуатації конвеєра при надмірному зношенні окремих вузлів;
- у стрічкових конвеєрах систематично проводити перевірку стану приладів очищення стрічки та барабанів;
- у скребкових конвеєрах забезпечувати належний стані замкових з'єднань і стиків секцій регулювання натягіння скребкового ланцюга в потрібних межах;

- вчасно проводити планово-попереджувальний ремонт.

4.2. Обґрунтування застосування регульованого електроприводу.

Рух стрічки конвеєра або транспортера, як правило, передається від асинхронного двигуна через редуктор і приводний барабан. Визначити момент на валу приводного електродвигуна конвеєра можна за виразом;

$$M = FR / (i_p \eta_p), \quad (4.3)$$

де F – величина зусилля на приводному барабані,

$F = F_{xx} + F_b$ (F_{xx} – зусилля, необхідне для на переміщення стрічки конвеєра або транспортера; F_b – зусилля, що потребується для переміщення вантажу);

R – радіус приводного барабана;

i_p – значення передавального відношення редуктора;

η_p – коефіцієнт корисної дії (ККД) редуктора.

При відсутності вантажу на стрічці конвеєра двигун розвиває момент холостого ходу, який можна знайти за виразом:

$$M_{xx} = F_{xx} R / i_p \eta_{p.x.x}, \quad (4.4)$$

де $\eta_{p.x.x}$ – коефіцієнт корисної дії (ККД) редуктора, який відповідає зусиллю F_{xx} .

Залежність моменту на валу двигуна від зусилля на барабані можна представити, беручи до уваги лінійну залежність сил тертя від зусиль, які потрібні для переміщення вантажу, таким чином:

$$M = M_{x.x*} + (1 - M_{x.x*}) F_{\Gamma*}, \quad (4.5)$$

де $M_* = M / M_{ном}$;

$M_{x.x*} = M_{x.x} / M_{ном}$;

$F_{\Gamma*} = F_{\Gamma} / F_{\Gamma.ном}$ ($M_{ном}$ – значення номінального моменту на валу двигуна, необхідного для руху стрічки і номінального вантажу при номінальній швидкості; $F_{\Gamma.ном}$ – складова зусилля F в органі конвеєра, що тягне, що виникає за рахунок переміщення тільки номінального корисного вантажу).

Продуктивність конвеєра визначається складовою F_B тягнучого зусилля та лінійною швидкістю переміщення V_* :

$$Q_* = F_{\Gamma} V_*, \quad (4.6)$$

де $Q_* = Q/Q_{\text{НОМ}}$ ($Q_{\text{НОМ}}$ – номінальне значення продуктивності конвеєра).

Якщо постійна номінальна швидкість конвеєра $V_* = 1$

$$Q_* = F_{\Gamma^*}, \quad (4.7)$$

тому споживана з валу двигуна потужність записується у вигляді

$$P_* = M_* \omega_* = M_{X.X^*} + (1 - M_{X.X^*}) \cdot Q_*, \quad (4.8)$$

де $P_* = P/P_{\text{НОМ}} = 1$;

$\omega_* = \omega/\omega_{\text{НОМ}}$;

$\omega = V_{ip}/R$;

$P_{\text{НОМ}}$, $\omega_{\text{НОМ}}$ – номінальні відповідно потужність і кутова швидкість на валу двигуна.

З формули (4.8) витікає, що по мірі скорочення продуктивності ефективність праці конвеєра знижується, тому що збільшується відносна частка потужності, яка витрачається на здолаття моменту холостого ходу $M_{X.X}$.

Більш економічним є режим праці конвеєра, в якого змінюється лінійна швидкість, що забезпечує потрібну продуктивність, але якщо постійна складова зусилля дорівнює одиниці $F_{\Gamma^*} = 1$. Відповідно до формули (4.8) кутова швидкість в даному випадку може змінюватися згідно із законом $\omega_* = V_* = Q_*$, згідно якому відповідає потужність на валу двигуна

$$P_* = M_* \omega_* = [M_{X.X^*} + (1 - M_{X.X^*})] \cdot Q_* = Q_*. \quad (4.9)$$

Очевидно, що в цьому випадку потужність на валу двигуна буде меншою на величину

$$\Delta P_* = M_* \omega_* = M_{X.X^*} (1 - Q_*). \quad (4.10)$$

З формули (4.10) видно, що ефект від регулювання лінійної швидкості конвеєра буде вище, якщо буде більше момент холостого ходу і при цьому істотно знижується його продуктивність.

Характерним прикладом є електропривод стрічкових конвеєрів, що працює із змінним навантаженням, зміну якого досить важко передбачені із-за випадкового характеру вантажного потоку. В такому випадку час роботи конвеєра на холостому ході може сягати 20...40 % часу роботи конвеєра.

Для оцінки можливого зменшення енергоспоживання при використанні регульованого електроприводу стрічкового конвеєра порівняно з нерегульованим електроприводом було вираховано відносне споживання електричної енергії в процесі транспортування вантажу однакового об'єму системами з нерегульованим електроприводом, з електроприводом, який має частотно-регульоване керування та здійснює плавне регулювання швидкості стрічки конвеєра, із електроприводом двошвидкісним, в якого різне співвідношення номінальних кутових швидкостей, і вони дорівнюють 1:2 і 1:3, здійснює дискретне регулювання лінійних швидкостей стрічки конвеєра [5].

При оцінці приймалося, що система автоматичного керування частотно-регульованим електричним приводом здійснює підтримку постійного погонного навантаження шахтного конвеєра. В такому випадку робота електроприводу конвеєра здійснюється з оптимальною енергоємністю. Значення параметрів електричного приводу наведені для стрічкового конвеєра типу 2Л80У. Отримані значення споживання електроенергії приводом конвеєра наведені в таблиці 4.1 у відносних одиницях. Базовим значенням прийнято рахувати споживання електричної енергії електроприводом з нерегульованою системою управління.

Проаналізувавши дані таблиці 4.1 робимо висновок, що використання плавного регулювання лінійної швидкості стрічки конвеєра, наприклад з використанням частотно-регульованого електроприводу, дає змогу зменшити енергоспоживання на 26... 38 %, що не стосується нерегульованого електроприводу. Якщо проводити дискретне регулювання лінійної швидкості стрічки конвеєра, використовуючи двошвидкісний електропривод, в якому співвідношення кутових швидкостей 1:2 і 1:3, то зниження електроспоживання складає 5...21% в порівнянні з нерегульованим приводом.

Чим нижче завантаження конвеєра при застосуванні регульованого приводу, тим вище економія електроенергії.

Таблиця 4.1 - Споживання електроенергії конвеєрами в залежності від типу приводу і навантаження.

Електропривод конвеєра	Значення споживання електроенергії при навантаженні конвеєра, відн.од.	
	низькому	високому
Нерегульований асинхронний	1,0	1,0
Частотно-регульований асинхронний	0,62	0,74
Двошвидкісний асинхронний із співвідношенням кутових швидкостей:		
	1:2 1:3	0,79 0,80
		0,92 0,95

Доходимо висновку, що використання частотно-регульованого приводу шахтного конвеєра, який здійснює плавне регулювання лінійної швидкості стрічки конвеєра, дає максимальний економічний ефект в процесі транспортування вантажу при постійно змінному вантажопотоці. Істотною перевагою є можливість здійснення плавного пуску конвеєра.

4.3. Вибір типу регульованого електроприводу та закону регулювання.

В теперішній час основним типом електропривода, що регулюється, є частотно-регульований асинхронний електропривод – система „напівпровідниковий перетворювач частоти – асинхронний двигун”(НПЧ-АД). Але в деяких випадках для рішення окремих виробничих завдань і енергозбереження використовується система „тиристорний перетворювач напруги першої гармоніки напруги, яке підводиться до статора.

Також застосовуються електроприводи на основі асинхронних двигунів з фазним ротором, які регулюються за рахунок зміни додаткових опорів в роторних ланцюгах, які називають системами реостатного регулювання – пристрій реостатного регулювання – асинхронний двигун з фазним ротором (ПРР – АДФР). Особливо багато таких електроприводів входить у склад підйомно-транспортних механізмів.

Щоб провести оцінку енергетичної ефективності функціонування різноманітних типів регулюючих асинхронних електроприводів потрібно ввести і проаналізувати загальні енергетичні показники для установлених і перехідних режимів електричного привода.

В процесі статичної роботи електропривода використовуються основні енергетичні показники - коефіцієнт корисної дії η , який показує ступінь економічності перетворення електричної енергії в механічну енергію та коефіцієнт потужності k_m , який є мірою економічності споживання електроенергії з мережі і використовується замість поняття $\cos\phi$ в ланцюгах з несинусоїдальними струмами, що характерно для електроприводів, які керуються від вентильних перетворювачів.

В якості показника економічності роботи електропривода в перехідних режимах використовуємо значення енергії втрат за час перехідного процесу $\Delta W_{п.п.}$.

4.3.1. Асинхронний електропривод з реостатним управлінням.

Реостатне регулювання може бути використане тільки для асинхронних двигунів з фазним ротором, коли в процесі управління змінюється значення додаткового $R_{2\text{дод}}$ та повного $R_{2\Sigma}$ опорів в роторних колах. Схеми силових кіл асинхронних електроприводів з реостатним регулюванням при ступеневій і плавній зміні $R_{2\text{дод}}$ показані на рисунку 1.

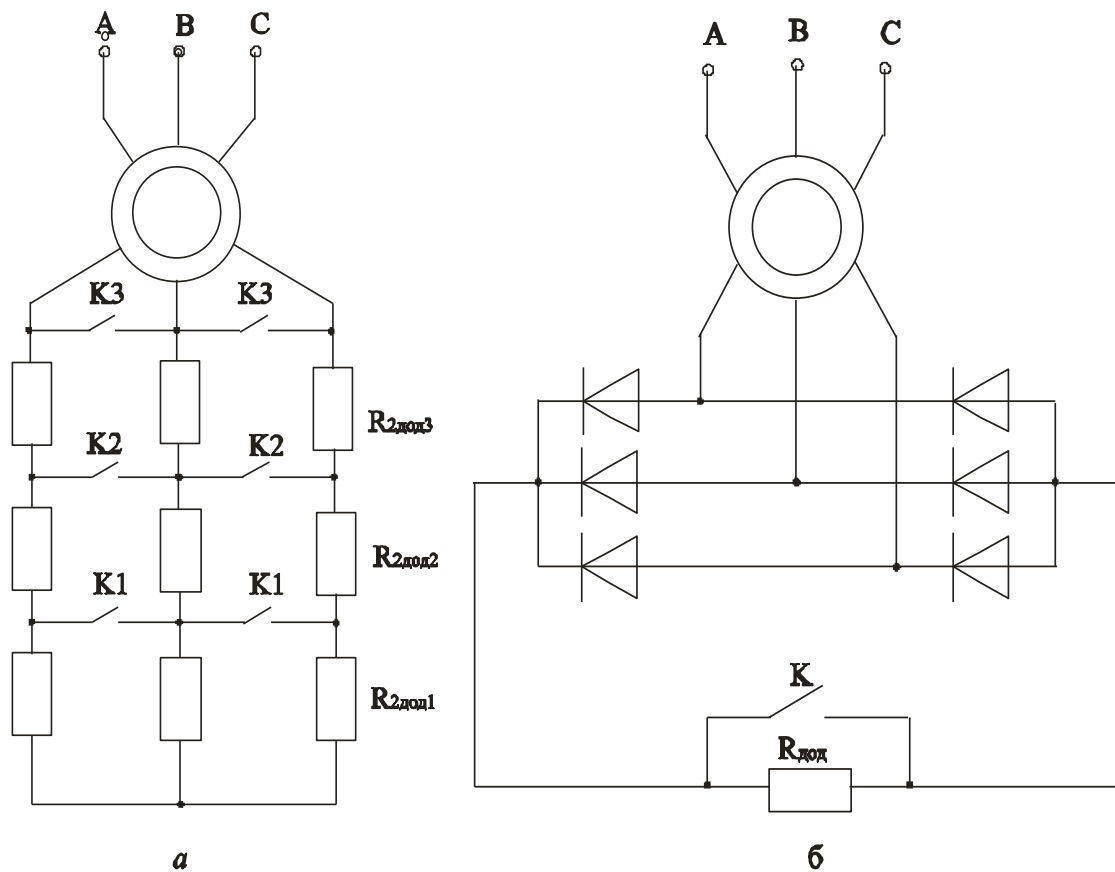


Рисунок 4.1- Схеми силових кіл асинхронних електроприводів з реостатним регулюванням: а – при ступеневій зміні $R_{2\text{доп}}$; б – при плавній зміні $R_{2\text{доп}}$.

На рисунку 4.1,а приведена схема реостатного регулювання зі ступеневою зміною значення додаткового опору в роторі, тобто коли при розмиканні (замиканні) контактів K1, K2, K3 в роторне коло вводяться або виводяться ступені опору. В цій схемі асинхронний двигун може працювати як на природній характеристиці (при замороженому роторі), так і на одній з трьох регульовальних характеристик, коли в роторні кола ввімкнені опори $R_{2\text{доп}3}$, $R_{2\text{доп}3}+R_{2\text{доп}2}$, $R_{2\text{доп}2}+R_{2\text{доп}1}$.

В схемі, яка показана на рисунку 4.1,б ,зміна додаткового опору в роторних колах здійснюється плавно, так яка стороні випрямленого струму некеруемого трифазного перетворювача, підключеного до контактних кілець ротора, ввімкнено незмінний додатковий опір $R_{\text{доп}}$,який періодично шунтується силовим напівпровідниковим ключем K на тиристорах або

транзисторах, який виконує роль широтно-імпульсного перетворювача (ШП). Частота комутацій ШП (f_k) не пов'язана з частотою живлячої мережі і в розглянутій схемі особливо при застосуванні транзисторів досягає 400...600 Гц.

Втрати в міді статора і ротора асинхронного двигуна при роботі в установленому режимі можна визначити з наступних виразів:

$$\begin{aligned}\Delta P_{1M} &= \Delta P_{1M.HOM} \cdot k_{\pi 1}^2 [A + (1-A)M^2] ; \\ \Delta P_{2M} &= \Delta P_{2M.HOM} \cdot k_{\pi 2}^2 M^2 ; \\ \Delta P_{1c} &= \Delta P_{1c.HOM} [B + (1-B)M^2] ; \\ \Delta P_{2M\Sigma} &= k_{\pi 2}^2 \cdot M \cdot \omega_0 \cdot S,\end{aligned}\tag{4.11}$$

де ΔP_{1M} , ΔP_{2M} - відповідно втрати в міді статора, ротора;

ΔP_{1c} – втрати в сталі статора;

$\Delta P_{2M\Sigma}$ – повні втрати в роторному колі при включенні додаткового опору;

$\Delta P_{1M.HOM}$ – номінальні втрати в міді статора, $\Delta P_{1M.HOM} = 3I_{1HOM}^2 R_1 (I_{1HOM}$ – номінальний струм статора);

$\Delta P_{2M.HOM}$ – номінальні втрати в міді ротора, $\Delta P_{2M.HOM} = 3I_{2HOM}^2 R'_2 = M_{HOM} \cdot \omega_0 \cdot S_{HOM}$ (I_{2HOM} – приведений номінальний струм ротора; M_{HOM} – номінальний момент двигуна; S – ковзання двигуна; $\Delta P_{1c.HOM}$ – номінальні втрати в сталі статора);

$M' = M/M_{HOM}$ - відносне значення моменту двигуна;

A і B – конструктивні коефіцієнти двигуна.

Приблизно значення $\Delta P_{1c.HOM}$ може бути визначене з виразу $\Delta P_{1c.HOM} = 0.2 \Delta P_{дв}$, де $\Delta P_{дв}$ – сумарна потужність втрат в двигуні при номінальному режимі, $\Delta P_{дв} = P_{HOM} (1/\eta_{HOM} - 1)$, де P_{HOM} – номінальна потужність двигуна; η_{HOM} – номінальний ККД.

При реостатному управлінні втрати в міді статора і ротора асинхронного двигуна не залежать від ковзання двигуна, а визначаються тільки моментом двигуна. Це означає, що в усьому діапазоні швидкостей допустимий за нагріванням момент дорівнює номінальному моменту двигуна, якщо не враховувати погіршення тепловіддачі самовентилюємих двигунів.

Перехідні процеси в електроприводі з реостатним управлінням (пуск, гальмування, зміна швидкості і т.д.), які проходять при відносно великих додаткових опорах в роторних колах і, як наслідок, при великих коефіцієнтах затухання, можна при інженерних розрахунках аналізувати за статичними залежностями. Приймаючи $M_c = \text{const}$ і вважаючи, що при пуску або гальмуванні електропривода забезпечується рівномірно прискорене або рівномірно уповільнений рух, що відповідає реальним умовам, особливо при використанні замкнених за швидкістю систем автоматичного регулювання (САР), отримаємо

$$\begin{aligned} |M_{\text{дин}}| &= J_\varepsilon = \text{const}; \\ \varepsilon &= M_{\text{дин}}/J, \end{aligned} \quad (4.12)$$

де $M_{\text{дин}}$ - динамічний момент електропривода;

J – сумарний момент інерції електропривода, $J = J_{\text{дв}} + J_{\text{мех}}$;

ε - модуль прискорення при пуску або уповільнення при гальмуванні.

Тоді час розгону при пуску $t_{\text{п}}$ або гальмуванні $t_{\text{г}}$ буде змінюватись від нуля до швидкості ω_y або від швидкості ω_y до нуля:

$$t_{\text{п}} = t_{\text{г}} = t_{\text{пп}} = \omega_y / \varepsilon = J \omega_y / M_{\text{дин}}, \quad (4.13)$$

де $t_{\text{пп}}$ - час перехідного процесу.

Вирази для розрахунку втрат енергії в міді статора $\Delta W_{1\text{м}}$, в міді ротора $\Delta W_{2\text{м}}$; в сталі статора $\Delta W_{1\text{с}}$ і повних втрат в міді роторних кіл $\Delta W_{2\text{м}\Sigma}$ при пускогальмівних режимах, які протікають в двигунному режимі роботи асинхронної машини, при $M_c = \text{const}$ мають такий вигляд:

$$\begin{aligned} \Delta W_{1\text{м}} &= \Delta P_{1\text{м.ном}} \cdot t_{\text{пп}} \cdot k_{\text{п}}^2 [A + (1-A)M'^2]; \\ \Delta W_{2\text{м}} &= \Delta P_{2\text{м.ном}} \cdot t_{\text{пп}} \cdot k_{\text{п}}^2 M'^2; \\ \Delta W_{1\text{с}} &= \Delta P_{1\text{с.ном}} \cdot t_{\text{пп}}; \\ \Delta W_{2\text{м}\Sigma} &= k_{\text{п}}^2 \cdot M \cdot (\omega_0 t_{\text{пп}} - \varepsilon t_{\text{пп}}^2 / 2), \end{aligned} \quad (4.14)$$

де M' – відносний момент, який розвивається двигуном в перехідних режимах, $M' = M/M_{\text{ном}} = \text{const}$.

Сумарна енергія втрат в перехідному процесі $\Delta W_{\Pi\Pi} = \Delta W_{1M} + \Delta W_{1c} + \Delta W_{2M\Sigma}$.

Енергія, яка споживається асинхронним двигуном в пускогальмівних режимах у випадку нехтування втратами в колі ротора від вищих гармонік струму, визначається за формулою:

$$W_{\Pi\Pi} = t_{\Pi\Pi} \{ M \cdot \omega_0 + \Delta P_{1M.HOM} \cdot k_{\Pi}^2 [A + (1-A)M^2] + \Delta P_{1c.HOM} \} \quad (4.15)$$

4.3.2. Системи електроприводів „Тиристорний перетворювач напруги – асинхронний двигун”.

Найбільш розповсюджена силова структура ТПН – АД, схема якої приведена на рисунку 4.2, яка складається з шести тиристорів, які ввімкнені попарно зустрічно-паралельно в статорні кола трифазного асинхронного двигуна. Такий перетворювач призначений для регулювання 1-ї, або основної, гармоніки живлячої двигун напруги зміною кута відкриття тиристорів α в діапазоні від $\alpha = \varphi$ до $\alpha = 180^\circ$. В цьому випадку діюча фазна напруга першої гармоніки змінюється від $U_1 = U_{1HOM}$ (де U_{1HOM} – діюча фазна номінальна напруга живлячої мережі; φ – кут відставання струму від напруги при синусоїдальному живленні) до $U_1 = 0$. Частота змінної напруги основної гармоніки залишається незмінною і дорівнює частоті мережі, тобто $f_1 = f_{1HOM}$. При такому управлінні синхронна швидкість асинхронного двигуна і граничне ковзання не змінюються, але регулюється момент двигуна $M = f(U_1^2)$.

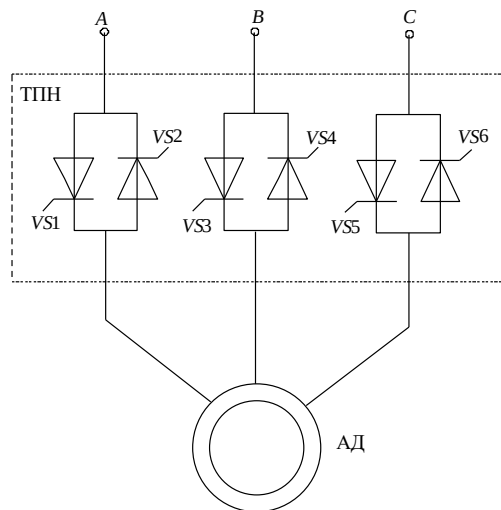


Рисунок 4.2 - Схема з'єднань елементів системи ТПН – АД

Відмітимо, що робота асинхронного двигуна на регулюючих характеристиках при $U_1 < U_{1\text{ном}}$ проходить в режимі переривчатого струму. В цьому випадку в спектрі несинусоїдального періодичного струму при з'єднанні обмоток статора зіркою без нульового проводу в періодичному несинусоїдальному струмі крім основної гармоніки мають місце непарні гармоніки: 5-а, 7-а, 11-а, 13-а і т.д. При такому способі управління здійснюється дискретний вплив на асинхронний двигун і протягом періоду живлячої напруги 0.02 с при $f_{1\text{ном}}=50$ Гц відбувається чередування схем підключення статорних кіл двигуна до трифазної живлячої мережі в наступній послідовності: трифазне підключення, двофазне підключення різних фаз, відключення всіх фаз двигуна. У зв'язку з цим навіть в установленому режимі є пульсації моменту електродвигуна з частотою 300 Гц (схема ТПН на рисунку 4.2 має пульсність $p=6$) і, якщо бути точним, статичний режим представляє собою квазистатичний, або установлений динамічний, режим.

Для точного аналізу установлених режимів не можна користуватися однофазною схемою заміщення асинхронного двигуна для визначення значення 1-ї гармоніки, питомої ваги вищих гармонік і коефіцієнта потужності асинхронного електропривода. Розрахунок вказаних та інших показників може бути точно виконаний при використанні диференціальних

рівнянь асинхронної машини з врахування алгоритму переключення тиристорів при $\omega = \text{const}$ та $\alpha = \text{const}$.

При регулюванні U_1 за рахунок ТПН втрати в елементах асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором при роботі в установленому режимі визначаються наступним чином:

$$\begin{aligned}\Delta P_{1M} &= \Delta P_{1M.HOM} \cdot k_{\pi 1}^2 M'_c [A \cdot S_{HOM} / S + (1-A) \cdot S / S_{HOM}] ; \\ \Delta P_{2M} &= \Delta P_{2M.HOM} \cdot k_{\pi 2}^2 M'_c \cdot S / S_{HOM} ; \\ \Delta P_{1c} &= \Delta P_{1c.HOM} \cdot M'_c [B \cdot S_{HOM} / S + (1-B) \cdot S / S_{HOM}].\end{aligned}\quad (4.16)$$

В цих формулах замість швидкості використовується ковзання двигуна $S = (\omega_0 - \omega) / \omega_0$, що більш доцільно.

При цьому способі управління робота асинхронного двигуна на регулюючих характеристиках при зменшенні розвиваючого моменту (збільшенні кута α) поєднана зі значним зниженням коефіцієнта потужності, так як зі зростом α збільшується фазовий зсув 1-ї гармоніки струму φ_1 і зменшується $\cos \varphi_1$, але збільшується питома вага вищих гармонік струму, що призводить до зниження k_m . При $\omega_0 = 0.6 \omega_{HOM}$ в діапазоні зміни моменту від 0 до M_{HOM} асинхронний двигун працює в зоні переривчатих струмів.

При визначенні ККД електропривода в системах ТПН – АД можна не враховувати механічні і додаткові втрати та втрати в сталі ротора зважаючи на їх малість в порівнянні з іншими складовими втрат. Тоді формула для визначення ККД має наступний вигляд:

$$\eta = \frac{M_c \cdot \omega}{M_c \omega + \Delta P_{1m} + \Delta P_{2m} + \Delta P_{1c}} \quad (4.17)$$

Особливістю використання асинхронних короткозамкнених двигунів в системах ТПН – АД є те, що відносні втрати в роторі перевищуються відносні втрати в інших елементах машини. Тому встановлена потужність асинхронного двигуна (P_{HOM}) повинна бути вибрана таким чином, щоб в усьому діапазоні регулюючих (знижених) швидкостей потужність втрат в роторі ΔP_{2M} була менше номінальної потужності втрат $\Delta P_{2M.HOM}$. Тоді для

забезпечення нормального теплового режиму двигуна необхідно, щоб виконувалось наступна умова:

$$\Delta P_{2M} \leq \Delta P_{2M.ном} \quad (4.18)$$

з якого виходить, що допустимий за нагріванням відносний момент двигуна $M'_{доп} = M_{доп} / M_{ном}$ при тривалому режимі роботи повинен бути:

$$M'_{доп} = M_{доп} / M_{ном} \leq S_{ном} / k_{п2}^2 S. \quad (4.19)$$

4.3.3. Системи електроприводів «Напівпровідниковий перетворювач частоти – асинхронний двигун»

Регулювання швидкості асинхронних двигунів за допомогою частотного способу є найекономічнішим в порівнянні з іншими відомими способами. Регулювання швидкості асинхронного двигуна за допомогою зміни частоти здійснюється згідно виразу, отриманому для визначення швидкості ідеального холостого ходу:

$$\omega_0 = 2\pi / p_{п} \cdot f_1, \quad (4.20)$$

де f_1 – частота напруги обмотки статора;

$p_{п}$ – кількість пар полюсів двигуна.

Якщо змінювати частоту f_1 напруги обмотки статора, можна отримати різні швидкості ідеального холостого ходу. Якщо зберігати U_1 , яка підводиться до обмотки статора постійною, то пусковий і критичний моменти двигуна збільшуються при зменшенні f_1 , механічні характеристики стають більш жорсткими. Однак при незмінній напрузі джерела живлення U_1 зі зменшенням частоти f_1 різко збільшується струм намагнічування, а також струм статора. При цьому насичується магнітна система двигуна. Як результат, стають істотними електричні і магнітні втрати. Регулювання амплітуди напруги U_1 як функції від частоти f_1 і моменту навантаження M при зміні частоти суттєво підвищує техніко-

економічні показники двигуна. Цю закономірність виражає закон частотного управління:

$$U_1 = U_1(f_1, M). \quad (4.21)$$

Таким чином, для здійснення частотного способу регулювання швидкості АД необхідно мати перетворювач частоти (ПЧ) з можливістю окремої зміни амплітуди і частоти вихідної напруги.

Перетворювачі частоти, які призначені для частотно-регулюючих асинхронних електроприводів, різняться за типом зв'язку з живлячою мережею. Це безпосередньо перетворювачі частоти та двохланкові перетворювачі частоти (ДПЧ), які мають проміжну ланку постійного або змінного струму.

В сучасних частотно-регулюючих асинхронних електроприводах широко застосовуються ДПЧ з проміжною ланкою постійного струму. Основними елементами таких перетворювачів є випрямляч, фільтр проміжної ланки постійного струму і автономний інвертор.

За типом інвертора, який представляє собою комутатор на напівпровідникових силових ключах, ДПЧ розрізняються на два класи: з автономним інвертором напруги, який позначається – АІН, та з автономним інвертором струму, що позначається - АІС.

Перетворювач частоти з АІН (див. Рисунок 4.3) не дозволяє забезпечувати двосторонній обмін енергією між мережею і двигуном, так як у ньому використовується некеруємий випрямляч. При генераторному гальмуванні енергія, яка віддається двигуном розсіюється в елементах інвертора і резисторі гальмівного пристрою, який підключається до шин постійного струму через керуючий напівпровідниковий ключ. В тих випадках, коли для здійснення режимів електропривода вигідний обмін між мережею та двигуном, двохланкові перетворювачі частоти з АІН містять замість некеруємого випрямляча активний випрямляч напруги.

За допомогою активного випрямляча напруги забезпечується не тільки рекуперативне гальмування асинхронного двигуна, але й робота перетворювача частоти з заданим значенням коефіцієнта потужності, наприклад рівним одиниці.

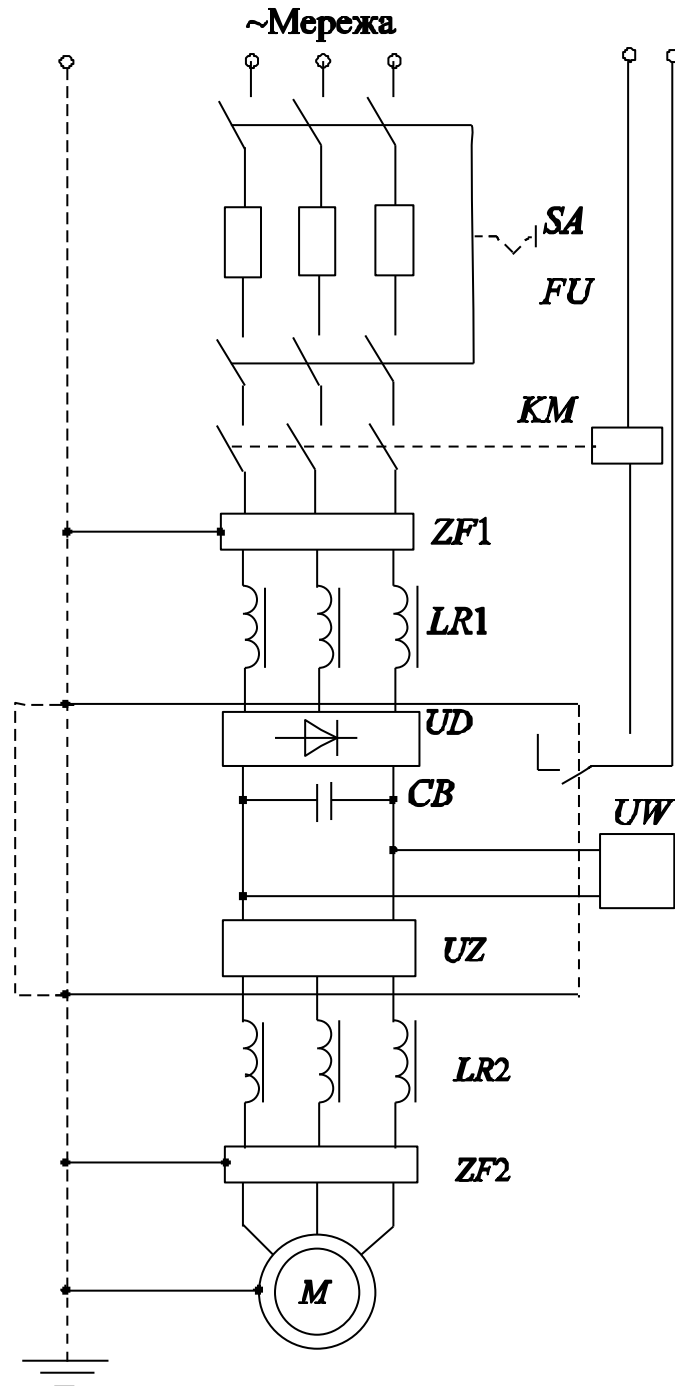


Рисунок 4.3 - Схема силових кіл частотно-регулюємого асинхронного електропривода: SA – головний вимикач системи; FU – встановлені лінійні запобіжники; KM – головний контактор системи; ZF1 – вхідний фільтр; LR1

– вхідний реактор системи; UD – випрямляч; CB – фільтр ланки постійного струму приводу; UW – пристрій гальмування; UZ – автономний інвертор напруги; LR2 – вихідний реактор системи; ZF2 – вихідний фільтр; М – асинхронний електродвигун.

В найближчий час в регулюючому асинхронному електроприводі можуть знайти застосування ПЧ з безпосереднім зв'язком на повністю керуємих напівпровідникових приладах.

Застосування дволанкових ПЧ з активними випрямлячами і ПЧ з безпосереднім зв'язком на керуємих напівпровідникових приладах дозволяє вирішувати на якісно більш високому рівні задачу енергозбереження в системі автоматизованого електропривода при виконанні їм основної своєї функції, яка полягає в управлінні рухом робочих органів технологічних машин і пристроїв.

Розглянемо основні енергетичні характеристики частотно-регулюємого асинхронного електропривода і проведемо дослідження показників енергетичної ефективності системи ПЧ – АД в установлених і перехідних режимах .

Коефіцієнт корисної дії. Для оцінки економічності перетворення енергії системою ПЧ – АД в установлених режимах електропривода використовується відношення між споживаною з мережі активною потужністю P і корисною потужністю на валу двигуна $P_{\text{мех}}$. Тоді

$$\eta_{\text{е.п.}} = P_{\text{мех}} / P. \quad (4.22)$$

В практичних розрахунках це відношення представляється у вигляді добутку коефіцієнтів корисної дії перетворювача частоти ($\eta_{\text{пч}}$) і асинхронного двигуна ($\eta_{\text{дв}}$):

$$\eta_{\text{е.п.}} = \eta_{\text{пч}} \cdot \eta_{\text{дв}}. \quad (4.23)$$

Визначення потужності втрат енергії в асинхронному двигуні. Дослідження втрат енергії при різних режимах роботи електропривода вагоме як з боку економічності роботи електричної системи, так і для

оцінювання теплового стану двигуна в процесі вибору або перевірки за умовою нагрівання.

При частотному способі регулювання швидкості визначними для асинхронного двигуна є такі види втрат:

втрати в міді в обмотці статора ($\Delta P_{1м}$) і обмотки ротора ($\Delta P_{2м}$), які обумовлені першими гармоніками струмів обмоток

втрати в сталі статора від гістерезису ($\Delta P_{1с.г}$) і вихрових струмів ($\Delta P_{1с.в}$);
механічні втрати ($\Delta P_{мех}$);

додаткові втрати ($\Delta P_{дод}$), які пропорційні квадрату основної гармоніки струму статора.

Електричні втрати в міді обмотки статора $\Delta P_{1м}$ і ротора $\Delta P_{2м}$ пропорційні квадратам їх струмів. Для розрахунку фізичних величин втрат в обмотках запишемо формули в наступному вигляді:

$$\Delta P_{1м} = \Delta P_{1м.ном} (i_1^2 / i_{1ном}^2); \quad (4.24)$$

$$\Delta P_{2м} = \Delta P_{2м.ном} (i_2^2 / i_{2ном}^2), \quad (4.25)$$

де i_1, i_2 – значення модулів результуючих векторів струмів обмоток статора і ротора;

$i_{1ном}^2, i_{2ном}^2$ – значення модулів результуючих векторів струмів статора і ротора в номінальному режимі.

Механічні втрати $\Delta P_{мех}$ визначаються виразом

$$\Delta P_{мех} = \Delta P_{мех.ном} (\omega / \omega_{ном})^3, \quad (4.26)$$

де $\Delta P_{мех.ном}$ – механічні втрати коли швидкість обертання двигуна номінальна;

$\omega_{ном}$ – значення номінальної швидкості обертання двигуна.

Значення додаткових втрат $\Delta P_{дод}$, пропорційне квадрату струму обмотки статора, вони визначаються за виразом:

$$\Delta P_{дод} = \Delta P_{дод.ном} (i_1^2 / i_{1ном}^2), \quad (4.27)$$

де $\Delta P_{дод.ном}$ – значення додаткових втрат при роботі двигуна в номінальному режимі.

При частотному способі регулювання швидкості асинхронного електродвигуна результуюча потужність енергетичних втрат буде визначатися за формулою:

$$\Delta P_{\text{дв}} = \Delta P_{1\text{м}} + \Delta P_{2\text{м}} + \Delta P_{1\text{с.г}} + \Delta P_{1\text{с.в}} + \Delta P_{\text{мех}} + \Delta P_{\text{дод}}. \quad (4.28)$$

Визначення потужності втрат енергії в частотному перетворювачі. В перетворювачі частоти з АІН при живленні його від некеруємого випрямляча мають місце наступні види втрат:

втрати потужності в вентилях некеруємого випрямляча і силових ключах автономного інвертора напруги;

втрати потужності в реакторах комутації та фільтрах електромагнітної сумісності на вводі випрямляча, втрати в реакторі фільтра ланки постійного струму, а також в вихідних фільтрах і реакторах у випадку їх встановлення;

втрати потужності в конденсаторах, встановлених у фільтр ланки постійного струму і вихідного фільтру;

втрати потужності в захисних RC – колах.

Значну частину повних втрат потужності в частотному перетворювачі складають втрати потужності в вентилях випрямляча, в ключах інвертора та реакторах. Це є основною проблемою і вимагає проводити розрахунок електричних втрат потужності в частотному перетворювачі найбільш досконало.

В автономних інверторах напруги використовують силові повністю керуємі напівпровідникові ключі на IGBT – транзисторах. Ці ключі мають двосторонню провідність.

Сумарні втрати енергії. В загальному випадку втрати енергії в системі ПЧ – АД в період перехідного процесу виражається функціоналом

$$\Delta W := \int_0^t \Delta p(t) dt \quad (4.29)$$

де $\Delta p(t)$ – миттєва потужність сумарних втрат в системі;

$t_{п.п}$ – час перехідного процесу.

Визначення миттєвої потужності втрат енергії. Дослідження миттєвих втрат енергії є дуже важливим для оцінювання економічності функціонування системи ПЧ – АД в перехідних режимах електропривода, наприклад при пуску двигуна, при переході від одної швидкості до другої та гальмуванні.

У загальному випадку втрати енергії в період перехідного процесу представляють собою миттєву потужність сумарних електричних втрат в складових елементах перетворювача частоти і асинхронного двигуна: електричних, механічних, магнітних і додаткових.

Аналітичне визначення сумарних втрат в ПЧ і АД при їх роботі в динамічних режимах, що супроводжуються електромагнітними перехідними процесами в частотному перетворювачі і асинхронному двигуні, представляють собою складну задачу. Приведені загальні рівняння розвитку динаміки системи ПЧ – АД вміщують лише втрати енергії в міді обмоток реакторів ПЧ і втрати енергії в міді обмоток статора і ротора АД.

$$\Delta W := \int_0^t \Delta p(t) dt \quad (4.30)$$

де миттєва потужність сумарних втрат $\Delta p(t)$ системи ПЧ – АД, яка розраховується за виразом:

$$\Delta p_{\epsilon}(t) = \Delta p_{1м}(t) + \Delta p_{2м}(t) + \Delta p_{р.вх}(t) + \Delta p_{р.ф}(t) + \Delta p_{р.вих}(t). \quad (4.31)$$

При проведенні дослідження з'ясувалось, що при незмінній частоті змінної напруги, яка живить статорні кола, при зниженні швидкості збільшується ковзання асинхронної машини і втрати в електроприводі. Їх зріст тим значніший, а ККД тим менше, чим менше значення знуженої швидкості. Це означає, що системи реостатного регулювання швидкості асинхронного електропривода і систему ТПН – АД неможливо признати на сучасному етапі доцільними для регулювання швидкості, а саме при

тривалому режимі роботи двигуна із-за низьких енергетичних показників і суттєвого зниження ККД електропривода.

При реостатному регулюванні швидкості втрати в роторних колах електропривода лінійно зв'язані з ковзанням, що призводить до низьких енергетичних показників системи. Перерозподіл втрат між опорами ротора двигуна і додатковими опорами відбувається таким чином, що при зниженні швидкості втрати в АД не перевищують номінального значення, тому, якщо не враховувати погіршення тепловіддачі самовентильованих двигунів, немає необхідності збільшувати встановлену потужність двигуна для уникнення його перегріву. Також тип електропривода УРР – АДФР не можна розглядати як енергозберігаючий, а його енергетичні показники дозволять в подальшому кількісно оцінити вигоду в енергоспоживанні при його заміні частотно-регульованим асинхронним електроприводом.

При використанні систем ТПН – АД для регулювання швидкості асинхронних короткозамкнених двигунів крім погіршення енергетичних показників і зростання втрат негативна ситуація посилюється тим, що всі втрати виділяються в машині (частина їх, як це має місце в двигунах з фазовим ротором, не виноситься на зовнішні додаткові опори), тому для забезпечення нормального теплового режиму регулюючого АД необхідно підвищувати його встановлену потужність і підвищувати капітальні витрати, що не дозволяє рекомендувати цей спосіб управління для регулювання швидкості АД при тривалому режимі роботи і постійному моменті статичного навантаження, який не залежить від швидкості, не кажучи вже про енергозбереження при регулюванні швидкості.

Однак системи ТПН – АД знаходять широке промислове застосування для здійснення управляємих пускогальмівних режимів з обмеженням рівня пускових струмів і моментів, що обумовлено технологічними вимогами. При впровадженні систем плавного пуску можливо декілька знизити

пускогальмівні втрати, тобто разом з забезпеченням вимог технології вирішувати задачі енергозбереження.

Таким чином, аналіз різних способів регулювання АД дозволяє стверджувати, що для зниження енергоспоживання універсальним є частотно-регулюючий асинхронний електропривод.

4.4. Типи систем управління НПЧ.

Розрізняють наступні типи систем управління НПЧ: скалярне, векторне та пряме управління моментом.

Системи скалярного управління являються найбільш простими та дешевими. Вони характеризуються невеликим діапазоном регулювання швидкості (від 1:5 до 1:10), відносно низькою точністю та якістю регулювання.

Системи векторного управління можуть бути зі зворотнім зв'язком по швидкості або без нього. Вони являються найбільш швидкодіючими і якісними і забезпечують діапазон регулювання швидкості 1:1000 і більше. Їх недолік полягає у необхідності використання вбудованого у двигун або прибудованого датчика швидкості.

Скалярне управління є простішим варіантом реалізації частотно-регулюємого електроприводу. За рахунок нескладної системи управління, тобто застосування простого контролера, відсутності датчиків на валу двигуна НПЧ зі скалярним управлінням користуються попитом і успішно конкурують з дорогими багатфункціональними перетворювачами.

При скалярному управлінні широтно-імпульсному перетворювачу задається частота і амплітуда вихідної напруги. Частота задається напряму з пульту управління, або з регулятора технологічного параметру. В цьому випадку використовується зворотній зв'язок по технологічному параметру, тобто по тиску витраті рідини тощо. Необхідна амплітуда напруги є

функцією частоти. Типовим законом в системах скалярного управління є закон пропорційного управління ($u_1 / w_1 = \text{const}$), який для механізмів з вентиляторною характеристикою не являється оптимальним. При скалярному управлінні момент двигуна не регулюється, а визначається навантаженням, Точність підтримання швидкості невелика. У випадку застосування регулятора технологічного параметру, система працює на такій швидкості, яка забезпечує заданий рівень технологічного параметру. При відсутності такого регулятора швидкість визначається поточним ковзанням, тобто навантаженням.

Закон пропорційного управління є найбільш розповсюдженим, але він не являється оптимальним, так як, по-перше, не забезпечує мінімуму енергоспоживання в усталеному режимі при мінімумах навантаження, а по-друге, при низьких частотах за рахунок падіння напруги на активних опорах статора перевантажувальна здатність двигуна знижується. Для механізмів з вентиляторним навантаженням застосовується також закон $u_1 / \omega_1^2 = \text{const}$. В цьому випадку момент навантаження має ступеневу залежність від швидкості, тому немає необхідності підтримувати високу перевантажувальну здатність у всьому діапазоні частот, тобто з'являється можливість поліпшити енергетичні показники при зниженні швидкості.

Для створення високоякісних асинхронних приводів використовується векторне управління. На відміну від скалярного управління, в ньому використовується векторне представлення регулюємих величин, тобто в системі управління крім абсолютних значень струмів і потокозчеплень використовується їх кутове положення у вибраній системі координат. У більшості сучасних високоякісних асинхронних електроприводів використовується принцип орієнтації поля, при якому регулювання проходить в системі координат, що жорстко зв'язана з однією з векторних величин.

Існує також метод прямого управління моментом і потоком, або пряме управління моментом. В цьому методі, на відміну від векторного способу управління, потік і момент управляються безпосередньо, у той час як струми та напруги – опосередковано. Основна ідея цього методу полягає у відказі від звичайного широтно-імпульсного модулятора і виборі такого стану інвертора, який визиває зміну потоку та моменту у потрібний бік. В даному способі управління використовуються принципи релейного (гістерезісного) управління.

Незважаючи на суттєву різницю у принципах управління, що використовуються, більшість перетворювачів частоти мають єдині принципові рішення у побудові силової частини.

Типовим представником електропривода з керуючими пристроями нових поколінь можна вважати 600-у серію «бездатчикових» силових перетворювачів для загальнопромислового регульованого асинхронного електропривода фірми ABB. У цьому приводі реалізується не лише векторне керування, але й сучасні методи оцінки змінних стану, а також система прямого управління моментом і потоком.

РОЗДІЛ 5

ВИКОРИСТАННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ СПОСОБІВ УПРАВЛІННЯ КОНВЕЄРНИМ ТРАНСПОРТОМ

5.1. Побудова математичної моделі частотно-регульованого асинхронного електропривода.

5.1.1. Фізичний опис об'єкта дослідження

Проаналізуємо систему керування, рух якої описується рівнянням:

$$\ddot{x} - \mu \left(\dot{x} - \frac{1}{3} \dot{x}^3 \right) + x = u, \mu > 0 \quad (5.1)$$

Представимо характерні особливості розглянутої системи.

При $u = 0$ рівняння (5.1) характеризує коливальну систему зі змінним демпфіруванням. Якісний характер вільного руху такої системи характеризується величиною μ . При невеликих значеннях μ (порівняно з одиницею) у системі встановлюються практично синусоїдальні коливання, їх період незначно відхилений від 2π . А при $\mu \gg 1$ коливання системи носять релаксаційний вигляд з періодом набагато перевищуючим 2π .

Проведемо для системи (5.1) синтезований алгоритм управління, при якому її пересування у точку $x^0 = const, \dot{x} = 0$ відбувається поблизу вирішення диференціального рівняння

$$\ddot{x} + 2\zeta \frac{1}{\tau_x} \dot{x} + \frac{1}{\tau_x^2} x = \frac{1}{\tau_x^2} x^0, \quad (5.2)$$

де τ_x - постійна часу, ζ - декремент згасання коливань. Але якщо $\zeta = \sqrt{2}/2$ час процесу $x(t) \rightarrow x^0$ в системі (5.2) дорівнює $3\tau_x$.

Представимо рівняння (5.1) у слідуючому вигляді:

$$F(x, \dot{x}, u) = \mu \left(\dot{x} - \frac{1}{3} \dot{x}^3 \right) - x + u. \quad (5.3)$$

При цьому рівняння замкнутої системи будуть представлені у вигляді:

$$\begin{aligned}
x &= F(x, \dot{x}, u), \\
u &= k[F^*(x, \dot{x}) - \dot{x}], \\
F^*(x, \dot{x}) &= \frac{1}{\tau_x^2}(x^0 - x) - 2\zeta \frac{1}{\tau_x} \dot{x}.
\end{aligned} \tag{5.4}$$

Характеристики τ_x, ζ еталонної системи нам відомі. Коефіцієнт прискорення k в контурі прискорення повинен бути визначений з умови, щоб процес $x(t) \rightarrow x^0$ у синтезованій системі (5.4) здійснювався поблизу рішення рівняння (5.2). Шукане значення k можна знайти по формулі

$$k = \frac{N + \tau_x F_1^0}{\tau_x F_u^0},$$

де F_1^0, F_u^0 знаходять із (5.3)

$$F_0 = \frac{\partial F}{\partial x} = -1, \quad F_1 = \frac{\partial F}{\partial \dot{x}} = \mu(1 - \dot{x}^2), \quad F_u = \frac{\partial F}{\partial u} = 1.$$

Звідси, якщо підставити значення похідних у точці $x = x^0, \dot{x} = 0$, отримаємо:

$$k = \frac{N + \tau_x \mu}{\tau_x} \tag{5.5}$$

За допомогою цього співвідношення можна розрахувати необхідний коефіцієнт підсилення для заданих значень τ_x, μ , якщо призначено величину $N = \tau_x / \tau_a$.

У таблиці 5.1 представлено співвідношення $N = \tau_x / \tau_a$, що відповідають різним значенням параметра μ в тому випадку, якщо посилення в контурі прискорення приймається рівним $k=9$ і $k=6,2$. Згідно (5.5) значення $N = (k - \mu)\tau_x$, при розрахунках приймалося $\tau_x = 0,5c$.

Таблиця 5.1 Співвідношення $N = \tau_x / \tau_a$, що відповідають різним значенням параметра μ

μ	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	3,0	k
N	4,4	4,3	4,2	4,1	4,0	3,0	9
	3,0	2,9	2,8	2,7	2,6	1,6	6,2

Визначаємо, що в алгоритмі управління з підсиленням $k = 9$ співвідношення постійних часу $N = \tau_x / \tau_a = (3 \dots 4.4)$ при змінюванні параметра μ в межах $(3 \dots 0,2)$. Цей факт свідчить про слабку параметричну чутливість системи (5.4). Навпаки, якщо припустити, що $k = 6,2$, то при зміні μ в зазначених межах відношення між постійними часу τ_x (по керованій змінній) і τ_a (контуру прискорення) буде менше трьох. У цьому випадку процес $x(t) \rightarrow x^0$ буде помітно відрізнятися від еталонного при $\mu > 1$.

У таблиці 5.2 представлено числові значення, які демонструють залежність перерегулювання σ від N . Отримані дані відповідають перехідній характеристиці $h(t)$ системи для випадку $\mu = 3$. Коефіцієнт підсилення k мінявся таким чином, що відношення τ_x / τ_a дорівнює значенням.

Таблиця 5.2 Числові дані, що показують залежність перерегулювання σ від N				
N	1,6	2,6	3	4
$\sigma(\%)$	17	9	4	0

зазначеним у верхньому рядку таблиці. Як видно з наведених даних, незначне відхилення $h(t)$ від перехідної характеристики еталонної системи ($\sigma = 4\%$) відбувається при $N < 3$. Якщо $N > 3$ величина σ дуже мала, але перехідний процес завершується за час $t_x = 3\tau_x$, що відповідає еталонній системі (5.2).

5.1.2 Математичне моделювання

Синтезуємо алгоритм управління за лінійною моделлю. На практиці при проектуванні електроприводних систем будь-якого призначення досить часто застосовуються саме лінійні моделі. Це дозволяє синтезувати структуру й винайти наближені величини параметрів алгоритмів управління. Дуже розповсюдженим є той факт, що отримані таким способом параметри гарантують виконання вимог, які пред'являються до системи. Таким чином, рішення завдання синтезу алгоритмів управління за лінійними моделями становить практичний інтерес.

Відомі загальноприйняті рівняння виконавчого двигуна мають вигляд

$$\begin{aligned} J \frac{d\omega}{dt} &= k_m I + M_c, \quad \frac{d\alpha}{dt} = \omega, \\ L \frac{dI}{dt} + RI &= u - k_\omega \omega, \end{aligned} \quad (5.6)$$

де I - струм, L - індуктивність якорного кола.

Процеси в електричних колах двигуна протікають істотно швидше, ніж у механічних.

$$W_\omega(p) = \frac{1}{Lp + R}$$

і характеризують наступні рівняння динаміки:

$$\begin{aligned} J \frac{d\omega}{dt} &= k_m I + M_c, \quad \frac{d\alpha}{dt} = \omega, \\ RI &= u - k_\omega \omega. \end{aligned} \quad (5.7)$$

Дана модель буде застосовуватися для створення алгоритмів управління кутовою швидкістю обертання разом з кутом повороту валу двигуна.

Виключимо з (5.7) змінну I . Маємо

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{k_m}{JR} u - \frac{k_m k_\omega}{JR} \omega + \frac{1}{J} M_c, \quad \frac{d\alpha}{dt} = \omega \quad (5.8)$$

Отже, що управляюче прискорення прийме вигляд

$$\varepsilon(u, \omega, M_c) = \frac{k_m}{JR} u - \frac{k_m k_\omega}{JR} \omega + \frac{1}{J} M_c \quad (5.9)$$

Впливовим параметром для контуру кутової швидкості є значення величини ω^0 . При сталому режимі отримується $\omega(\infty) = \omega^0$, якщо $\lambda > 0$ і коефіцієнт підсилення $\rho > 0$. Величини цих параметрів розраховуються з обов'язковим урахуванням електричних та механічних характеристик електродвигуна.

Величина параметру λ характеризує швидкість зменшення помилки $\delta_\omega = \omega^0 - \omega(t)$ відповідно до експонентного закону $\omega^0 - \omega(t) = c_\omega e^{-\lambda t}$, $\lambda > 0$, де $c_\omega = \omega^0 - \omega(0)$. Величина $1/\lambda = \tau_\omega$ являється постійною часу контуру для кутової швидкості. Цей параметр повинен бути більшим механічної постійної τ_ω двигуна. Отже

$$\lambda \leq \frac{k_m k_\omega}{JR} = \tau_\omega \quad (5.10)$$

Виходячи з цього видно, що швидкодія контуру кутової швидкості зменшується зі спадом величини λ . При $\lambda = \tau_\omega^{-1}$ швидкодія контуру є граничною.

Після того, як визначено параметр λ варто розрахувати значення коефіцієнта підсилення ρ контуру прискорення. Як слідує з рівняння керованого процесу по кутовій швидкості, при $M_c = 0$

$$\dot{\omega} = \frac{k_m}{JR} u - \frac{k_m k_\omega}{JR} \omega, \quad \dot{u} = \rho(\varepsilon^* - \dot{\omega}). \quad (5.11)$$

Відповідно до прийнятих позначень:

$$M(u, \omega, M_c) = \frac{k_m}{R} u - \frac{k_m k_\omega}{R} \omega + M_c$$

тому частки похідних:

$$m^\omega = J^{-1} \frac{\partial M}{\partial \omega} = -\frac{k_m k_\omega}{JR}, \quad m^u = J^{-1} \frac{\partial M}{\partial u} = \frac{k_m}{JR}. \quad (5.12)$$

Розрахувати співвідношення для ρ можна, якщо проаналізувати динаміку контуру прискорення. Проводячи диференціацію першого рівняння (5.11) за часом і підставляючи потім у нього вираження для u із іншого рівняння, отримаємо:

$$\varepsilon + \frac{k_m}{JR}(\rho + k_\omega)\varepsilon = \frac{k_m}{JR}\rho\varepsilon^*, \quad (5.13)$$

де $\varepsilon = \omega$. Дане рівняння характеризує процеси в контурі прискорення. Підставляючи величину постійної часу τ_ε , у вираження для приватних похідних цього контуру має вигляд:

$$\tau_\varepsilon = \frac{1}{\rho m^u - m^\omega} = \frac{JR}{k_m(\rho + k_\omega)} = \frac{\tau_m}{1 + \tau_m \frac{k_m}{JR}\rho}. \quad (5.14)$$

Процес керування кутовою швидкістю буде підкорятися призначеному закону, коли швидкодія контуру прискорення значно вище контуру ω , а саме $\tau_\varepsilon \ll \tau_\omega$. В свою чергу, значення τ_ε не може бути вибрано довільно, тому що керований двигун має свою інерційність. Нижній діапазон постійної часу τ_ε обирається, виходячи з електричних властивостей роторного ланцюга. Так з рівняння (3.6) можна знайти

$$L \frac{\partial \varepsilon}{\partial y} + R\varepsilon = \frac{k_m}{J}(u - k_\omega \omega), \quad \varepsilon = \omega.$$

Таким чином, швидкість зміни прискорення характеризується електричною постійною часу $\tau_\varepsilon = L/R$. Для того, щоб запропоновані вимоги по швидкодії контуру прискорення були технічно виконаними, величина τ_ε повинна бути більшою τ_γ . Згідно (5.14) маємо

$$\rho = \frac{JR}{k_m} \frac{\tau_m - \tau_\varepsilon}{\tau_\varepsilon \tau_m}, \quad \tau_\varepsilon \geq \tau_\gamma. \quad (5.15)$$

Оскільки $\tau_\varepsilon < \tau_m$ те формула (3.15) завжди дає $\rho > 0$. У випадку $\tau_\varepsilon = \tau_\gamma$ реалізується найбільша швидкодія контуру прискорення. Якщо поряд із цим згідно (5.10) допускається $\tau_\omega = \tau_m$, то розраховані параметри λ , ρ

забезпечують граничну (по технічних можливостях) швидкодію для контуру обробки кутової швидкості. В такому випадку враховуючи (5.10) і (5.15) отримуємо:

$$\rho = \frac{JR}{k_m} \frac{\tau_m - \tau_3}{\tau_3 \tau_m}, \quad \lambda = \tau_m^{-1}. \quad (5.16)$$

Таким чином, параметри алгоритму управління кутовою швидкістю обертання вала електродвигуна обчислюються по формулах (5.10) і (5.15).

Розглядаючи на варіант, припускаємо, що побудова контуру управління кутовою швидкістю може проводитися без виміру прискорення $\varepsilon = \dot{\omega}$. В зв'язку з цим керуюча функція $u(t)$ повинна формуватися не по (5.11), а згідно:

$$\varepsilon^*(\omega) = \lambda(\omega^0 - \omega) \quad (5.16)$$

і інтегруючи обидві частини рівності за часом. При цьому рівняння замкнутого контуру мають вигляд:

$$\begin{aligned} \dot{\omega} &= \frac{k_m}{JR} u - \frac{k_m k_\omega}{JR} \omega, \\ u &= \rho \lambda \int (\omega^0 - \omega) dt - \rho \omega. \end{aligned} \quad (5.17)$$

Проведемо розробку алгоритму управління кутом повороту вала електродвигуна (його кутовим положенням). Синтезуємо контур управління кутовою швидкістю, того його параметри ρ, λ будуть розраховуватися з умови, підкорення процесу зміни $\omega(t)$ виразу (5.16). Отримуємо вихідні рівнянням керованого процесу:

$$\dot{\omega} + \lambda \omega = \lambda \omega^0, \quad \varphi = \frac{1}{i} \omega, \quad (5.18)$$

де φ - величина кута повороту вала системи, що пов'язаний з регулятором. Потрібно провести синтез алгоритму управління, щоб забезпечити поворот вала двигуна на такий кут $\varphi^0 = \text{const}$, щоб похибка неузгодженості $\delta_\varphi = \varphi^0 - \varphi(t)$ відповідала кінематичному закону:

$$\varphi(t) = \varphi^*(t), \quad \varphi^0 - \varphi^*(t) = c_1 e^{-r_1 t} + c_2 e^{-r_2 t}, \quad (5.19)$$

Керуючою функцією в цьому випадку виступає величина ω^0 , що має вплив на контуру кутової швидкості.

Представимо рівняння (5.18) у вигляді:

$$\dot{\varphi} + \lambda\varphi = \frac{1}{i}\lambda\omega^0 \quad (5.20)$$

Підставимо замість $\varphi(t)$ вираження для $\varphi^*(t)$ з (5.18). Одержимо програмну керуючу функцію

$$\omega^0(t) = \frac{1}{i^{-1}\lambda} [r_1(\lambda - r_1)c_1 e^{-r_1 t} + r_2(\lambda - r_2)c_2 e^{-r_2 t}]$$

і закон управління зі зворотним зв'язком

$$\omega^0(\varphi, \dot{\varphi}) = \frac{i}{\lambda} [r_1 r_2 (\varphi^0 - \varphi) - (r_1 + r_2 - \lambda)\dot{\varphi}]. \quad (5.21)$$

Підставляючи (5.18) в (5.20) одержимо

$$\dot{\varphi} + (r_1 + r_2)\varphi + r_1 r_2 \varphi = r_1 r_2 \varphi^0. \quad (5.22)$$

Задаємо, що рішення цього рівняння відповідає процесу в еталонній системі

$$\tau_\varphi^2 \ddot{\varphi} + 2\zeta\tau_\varphi \dot{\varphi} + \varphi = \varphi^0 \quad (5.23)$$

де τ_φ - постійна часу по регульованій змінній. Це значення при проектуванні є заданою. Для здійснення якісного перехідного процесу ($\zeta = \sqrt{2}/2$) постійна часу τ_φ майже в 3 рази перевершує величину τ_ω . В зв'язку з цим для розрахунку параметрів r_1, r_2 , згідно (5.22) і (5.23) будуть справедливі співвідношення

$$r_1 + r_2 = \frac{\sqrt{2}}{\tau_\varphi}, \quad r_1 r_2 = \frac{1}{\tau_\varphi^2}, \quad \tau_\varphi = 3\tau_\omega, \quad (5.24)$$

які являють собою рівняння відносно r_1, r_2 . Отже, на підставі (5.21) можна записати

$$\omega^0(\varphi, \dot{\varphi}) = \frac{i}{\lambda} \left[\frac{1}{\tau_\varphi^2} (\varphi^0 - \varphi) - \left(\frac{\sqrt{2}}{\tau_\varphi} - \lambda \right) \dot{\varphi} \right]. \quad (5.25)$$

Проведений аналіз задовольняє завдання створення алгоритмів управління кутовою швидкістю та кутом повороту вала електродвигуна.

Побудовані всі необхідні рівняння та співвідношення для наступного дослідження.

Характеристики властивостей системи.

Дослідження властивостей динамічної системи - це визначення особливих точок динамічної системи та визначення стійкості положення рівноваги.

Для знаходження положень рівноваги використовуємо рівняння

$$\omega^0(\varphi, \varphi) = \frac{i}{\lambda} \left[\frac{1}{\tau_\varphi^2} (\varphi^0 - \varphi) - \left(\frac{\sqrt{2}}{\tau_\varphi} - \lambda \right) \varphi \right].$$

Дорівнюємо нулю $\frac{d\varphi}{dt} = 0$ й підставимо в наше рівняння, одержимо

$$\omega^0(\varphi, \varphi) = \frac{i}{\lambda} \left[\frac{1}{\tau_\varphi^2} (\varphi^0 - \varphi) \right].$$

Це рівняння підставимо у формулу

$$u = \rho \lambda \int (\omega^0 - \omega) dt - \rho \omega$$

Результат підставимо в

$$\dot{\omega} = \frac{k_m}{JR} u - \frac{k_m k_\omega}{JR} \omega.$$

У підсумку маємо

$$0 = \frac{k_m}{JR} \rho \lambda \int \frac{i}{\lambda} \frac{1}{\tau_\varphi^2} (\varphi^0 - \varphi) dt.$$

Із чого одержуємо $\varphi^0 = \varphi$.

Це рівняння дає можливість визначити кут повороту вала двигуна, на якому система зупиняється. Для нашого завдання очевидно, що вал двигуна повернеться на заданий кут, що доводить наш висновок.

Оскільки $\varphi^* \geq 0$, то для будь-яких величин параметрів системи, стан рівноваги не є стійким.

5.1.3 Побудова імітаційної моделі.

Побудова імітаційної моделі в Simulink. Проведемо імітацію дослідної математичної моделі. Будемо використовувати параметри асинхронного двигуна типу 4A132M6 в якості параметрів моделі:

$$J=6,2 \cdot 10^{-6} \text{ Н*м*с}^2; \quad k_m=0,023 \text{ Н*м*A}^{-1}; \quad R=3,8 \text{ Ом};$$

$$L=0,0057 \text{ Гн}; \quad k_w=0,098 \text{ В*с*рад}^{-1}.$$

Знаходимо механічну постійну часу прийнятого об'єкту управління

$$\tau_m = \frac{JR}{k_m k_\omega} = 0.0105 \text{ с.}$$

Величина постійної часу електричного кола $\tau_\epsilon = L/R = 1.5 \cdot 10^{-3} \text{ с.}$

Значення відношення $\tau_m / \tau_\epsilon \approx 15$. Оскільки електричні процеси протікають істотно швидше механічних, це дає можливість при синтезі алгоритмів нехтувати електричними процесами.

Рівняння досліджуваної системи:

$$J \frac{d\omega}{dt} = k_m I + M_c, \quad \frac{d\alpha}{dt} = \omega,$$

$$L \frac{dI}{dt} + RI = u - k_\omega \omega,$$

$$u = \rho \lambda \int (\omega^0 - \omega) dt - \rho \omega,$$

$$\omega^0(\varphi, \phi) = \frac{i}{\lambda} \left[\frac{1}{\tau_\phi^2} (\phi^0 - \phi) - \left(\frac{\sqrt{2}}{\tau_\phi} - \lambda \right) \phi \right].$$

Останні два співвідношення представляють собою законам управління по кутовій швидкості й кутовому положенні.

Щоб обчислити інші параметри λ , ρ і τ_ϕ , приймаємо значення постійної часу по кутовій швидкості $\tau_\omega \approx 6.6 \tau_m = 0.07 \text{ с.}$ В такий спосіб ми реалізуємо досить повільні перехідні процеси. В цьому випадку $\lambda = \tau_\omega^{-1} \approx 14.3$.

Розрахуємо постійну часу $\tau_\epsilon = \tau_\epsilon = 1.5 \cdot 10^{-3} \text{ с.}$ Після цього обчислюємо

$$\rho = \frac{JR}{k_m} \frac{\tau_m - \tau_\epsilon}{\tau_\epsilon \tau_m} = 0.566. \text{ Приймаємо постійну часу } \tau_\phi = 3\tau_\omega = 0.21 \text{ с.}$$

На нижче наведеному рисунку зображена модель електропривода, реалізована в MATLAB за допомогою програми Simulink.

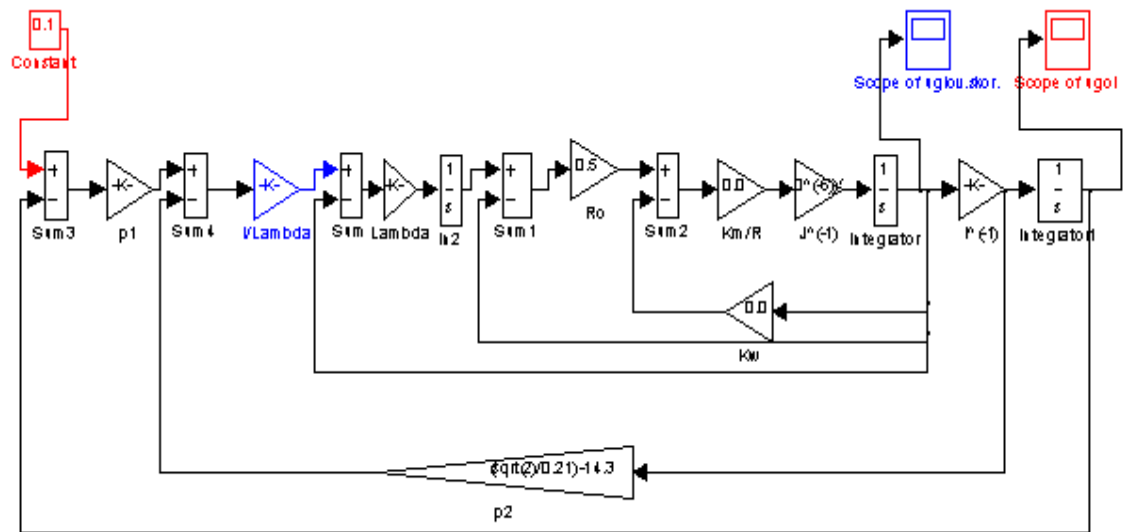


Рис.5.1- Схема імітаційної моделі в Simulink

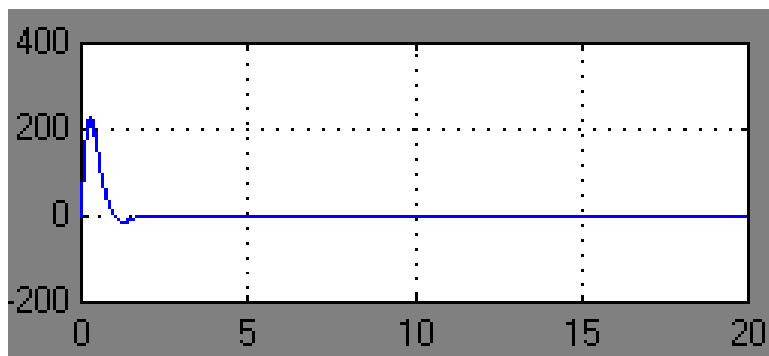


Рис. 5.2- Графік залежності кута швидкості від часу

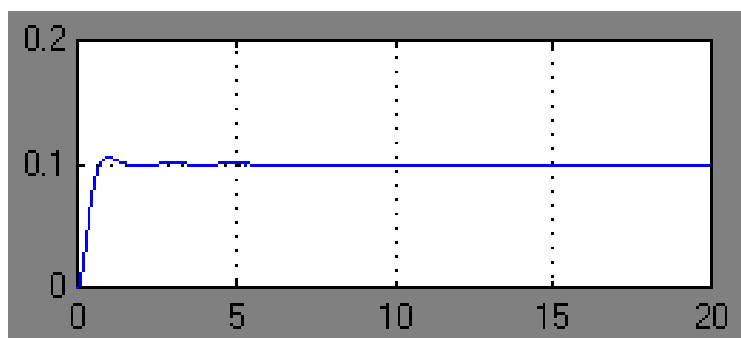


Рис.5.3- Графік залежності кута повороту від часу

На рисунках 5.2, 5.3 представлено результати моделювання імітаційної моделі, здійснені за допомогою схеми, представленої на рисунку 5.1

У процесі виконання магістерської роботи була також побудована математична модель електропривода за загальною методикою. Для цього застосовувалися формули:

$$u(t) = \frac{\rho_{\varphi}}{\tau_{\varphi}^2} \int (\varphi^0 - \varphi) dt - 2\rho_{\varphi} \frac{\zeta}{\tau_{\varphi}} \varphi - \rho_{\varphi} \varphi,$$

$$\varphi = \frac{k_m}{JR} (i^{-1} u - k_{\omega} \varphi).$$

Далі приводимо створену модель

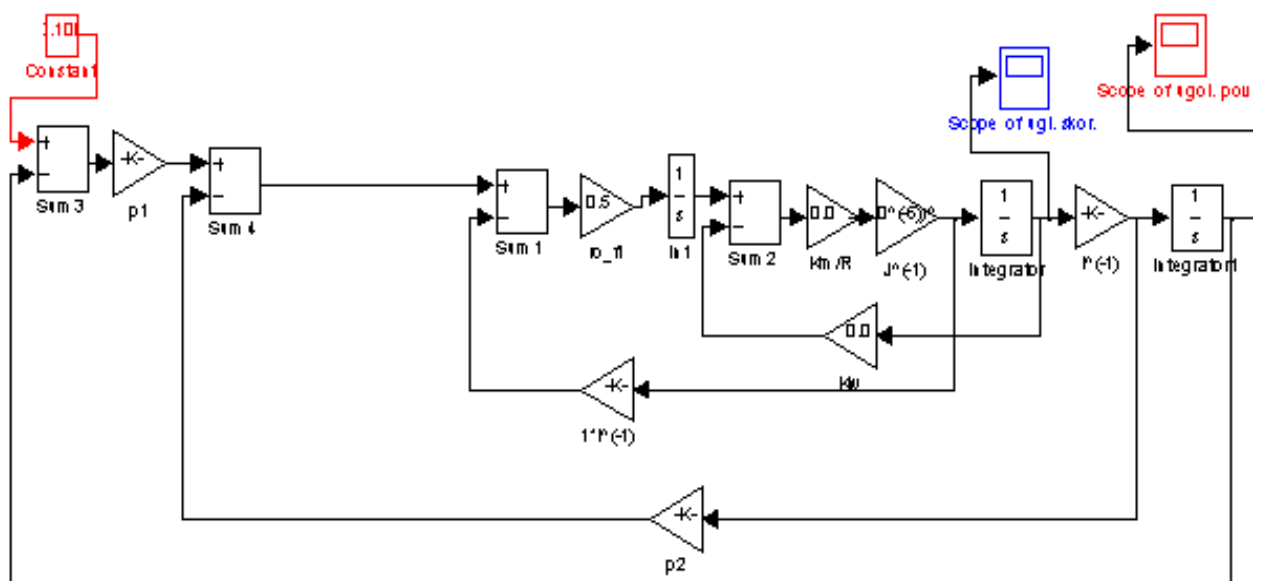


Рис.5.4- Імітаційна модель в Simulink, створена згідно загальної методики

Графік результатів імітаційної моделі по загальній методиці:

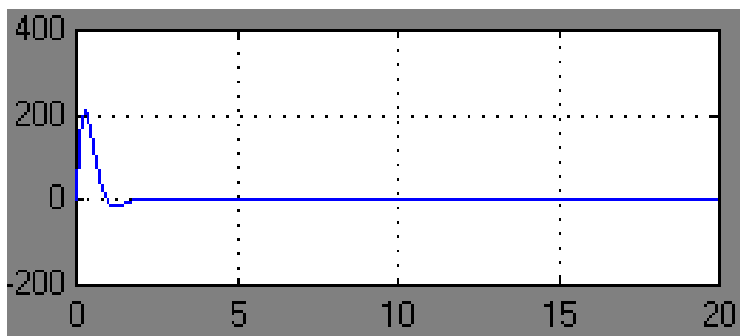


Рис.5.5- Графік залежності кутової швидкості від часу

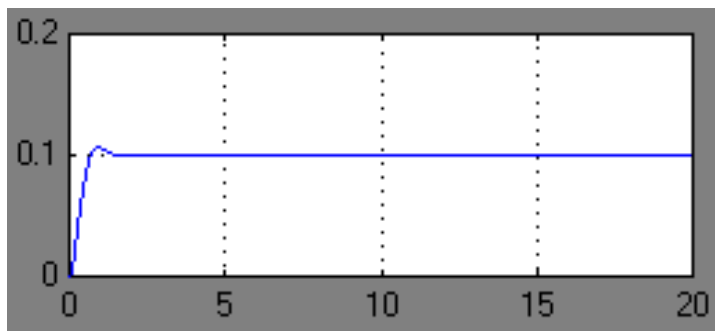


Рис.5.6- Графік залежності кута повороту від часу

Дослідження моделі при зміні параметрів

Для дослідження роботи системи при зміні значень параметрів здійснюємо наступні дослідження.

Проаналізуємо поведінку системи при зміні значень параметра ψ .

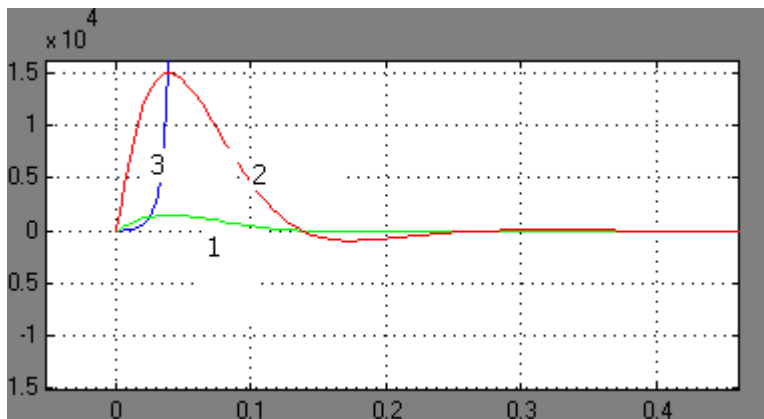


Рис.5.7- Графіки залежності кутової швидкості від часу при зміні параметра ψ

На рисунку 5.7 наведено реакцію системи при різних значеннях ψ . Динаміка зміни кута повороту при варіюванні параметра ψ практично не змінюється.

Проаналізуємо поведінку системи при зміні значень параметра J .

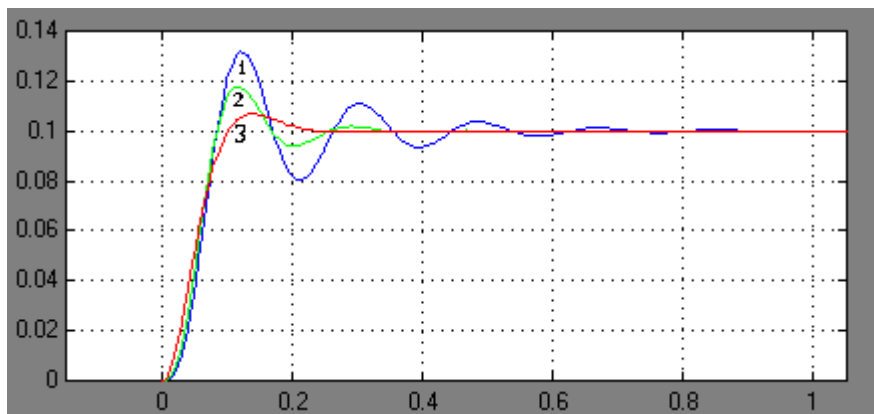


Рис.5.8- Графіки залежності кута повороту від часу при зміні параметра J

На рисунку 5.8 представлено поведінку системи при зміні значень J (позначення: 1 - $J = 6,2 \cdot 10^{-4}$; 2 - $J = 6,2 \cdot 10^{-5}$; 3 - $J = 6,2 \cdot 10^{-6}$). Процес динаміки кутової швидкості при зміні параметра J аналогічний процесу динаміки зміни кута повороту, тому його не розглядаємо. З експерименту видно, що збільшення моменту інерції J приводить до зменшення часу перехідного процесу, що відповідає використаній моделі, тому що в ній застосовується блок зі значенням J-1.

Для досягнення найбільш швидких перехідних процесів було проведено також дослідження. Для цього було проведене перерахування нижченаведених змінних:

$$\tau_{\omega} = \tau_m = 0.0105, \quad \lambda = \tau_{\omega}^{-1} \approx 95.23, \quad \tau_{\varphi} = 3\tau_{\omega} = 0.0315.$$

На рис. 5.9 представлені результати роботи досліджуваної моделі:

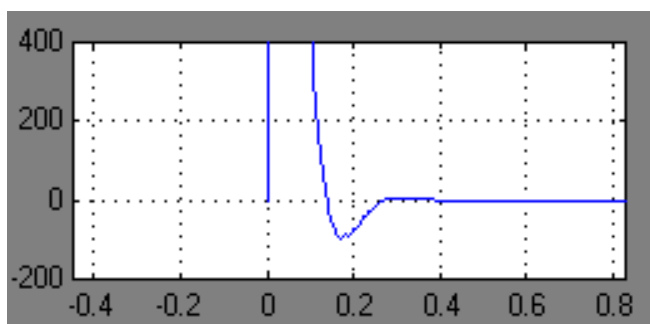


Рис.5.9- Графік залежності кутової швидкості від часу.

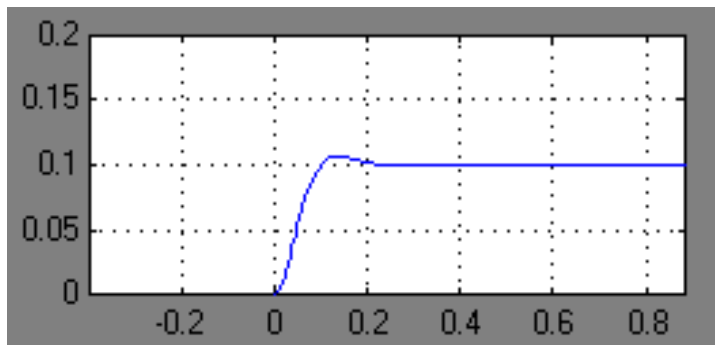


Рис.5.10- Графік залежності кута повороту від часу.

5.3 Дослідження роботи системи «електропривод – конвеєр» за допомогою математичної моделі.

5.2.1. Модель конвеєра Simulink Matlab.

При проведенні теоретичних досліджень використовувалися методи теорії автоматичного управління складною електромеханічною системою, методи теорії електроприводу і математичного моделювання з використанням програми Matlab. При моделюванні напівпровідникових перетворювачів використовувалися спрощені математичні моделі елементів (без детального вивчення процесів, що обумовлені комутацією **ключів** перетворювача). Спрощені моделі дозволяють вирішувати задачі розрахунку статичних, механічних і регулювальних характеристик електромеханічних систем, а також задачі синтезу систем управління.

Електропривод конвеєра за умов експлуатації має ряд специфічних особливостей, що накладають додаткові вимоги на вибір алгоритму управління: забезпечення плавного пуску з обмеженням короткочасних прискорень; необхідність створення пускового моменту, що у декілька разів перевищує номінальний; мінімізація часу пуску і гальмування з обмеженням динамічних натягнень стрічки і відсутністю пробуксовки стрічки.

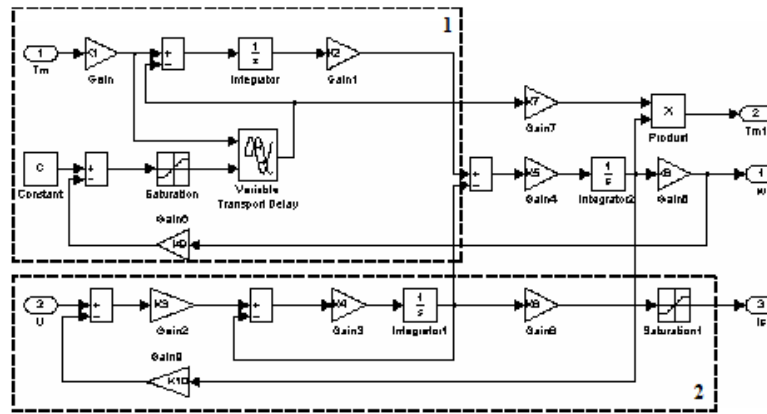


Рис.5.11- Модель конвеєра Simulink Matlab

Блок 1 моделює зміну навантаження на конвеєрі. На вхід поступають сигнали «Tm» від блоку «Zagruzka» (рис.1), що враховує випадковий характер вантажопотоку, і деяке постійне значення навантаження «Constant». Блок 2 визначає реакцію конвеєра на вхід сигнал «U» (управляюча дія від системи управління потоково-транспортною системою залежно від завантаження конвеєра). На виході моделі Tm1 – навантаження, що поступає на наступний конвеєр (рис.1 блоки konv1-konv4), w – швидкість руху стрічкового полотна конвеєра, яка виводиться на реєстратор (рис.1, реєстратор w1234), Is - струм статора, по якому визначається ступінь завантаженості конвеєра (рис.5.11, реєстратор I-1234).

Особливістю конвеєрного транспорту як технологічної системи є випадковість надходження вантажопотоку від суміжного технологічного устаткування.

У пакеті Simulink програми Matlab була створена модель навантаження (рис.5.12), що імітує випадковий вантажопотік, що поступає на конвеєр.

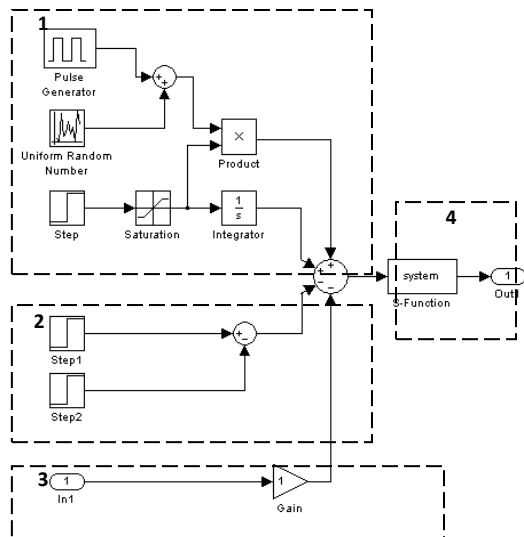


Рис.5.12. Модель вантажопотоку

Блок 1 моделює вантажопотік у вигляді дискретної послідовності імпульсів з випадковою тривалістю надходження вантажу і з випадковими інтервалами його відсутності. В межах тривалості імпульсів вантажопотік описаний як безперервний випадковий процес.

Блок 2 моделює скидання навантаження з конвеєра.

Блок 3 моделює надходження навантаження від інших конвеєрів, що входять до складу.

Блок 4 представляє написану в програмі Matlab на мові C s-функцію, що описує розподіл вантажопотоку.

5.2.2. Модель потоково-транспортної системи (ПТС), що складається з чотирьох конвеєрів.

На великих гірничо-збагачувальних комбінатах конвеєри як правило об'єднуються в ПТС, що складаються з декількох конвеєрів, які підключаються послідовно та паралельно. В таких випадках, крім регулювання швидкості обертання, при зміні завантаження конвеєра, слід вирішувати завдання перерозподілу та вирівнювання вантажопотоку.

На підставі вибраної схеми (рис.5.11) розташування конвеєрів в багатоконвеєрній лінії в додатку Simulink програми MatLab була розроблена модель системи конвеєр – багаторуховий електропривод у вигляді окремих блоків [12], входи яких є управляючими і збурювальними діями для даного елементу системи, а виходи – змінні стану, що є предметом дослідження або вхідними сигналами для інших блоків.

Модель об'єкту представлена наступними складовими:

- 1 Підсистема електропривод – конвеєр (konv1-konv4), що складається з механічної (барабан, стрічка і т.д.) і електричної частини конвеєра (багаторуховий частотно-регульований електропривод).
- 2 Блок формування навантаження конвеєра (zagruzka1, zagruzka2).
- 3 Блок системи управління багатоконвеєрною лінією (Control).

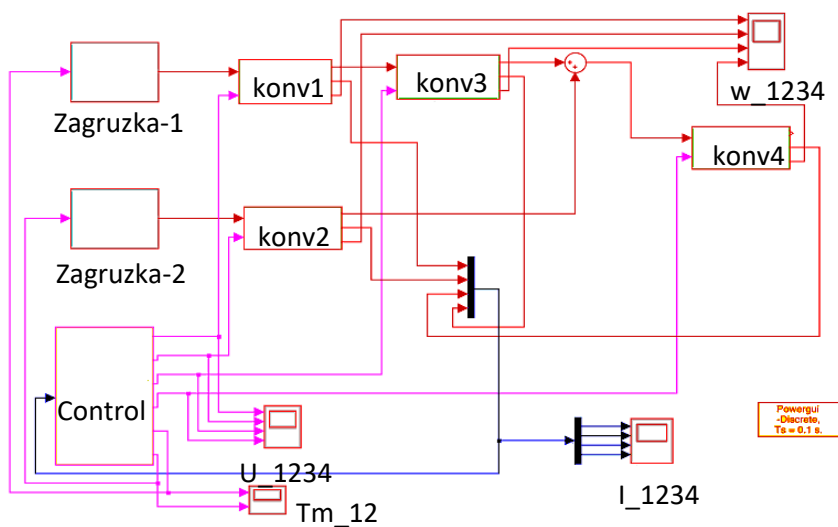


Рис. 5.13- Поточно-транспортна система (ПТС), що складається з чотирьох конвеєрів.

Математична модель даної потоково-транспортної системи є моделлю чотирьох конвеєрів, три з яких включені послідовно (konv 1, 3 і 4) і один паралельно (konv 2). Крім підсистем, що містять моделі конвеєрів (konv 1, 2,

3, 4, рис.5.11), на рисунку представлені: блоки Zagruzka-1,2, що моделюють навантаження з урахуванням характеру вірогідності вантажопотоку; блок системи управління транспортною системою (CONTROL), на вхід якої поступають сигнали (I_s) від конвеєрів, що свідчать про ступінь їх завантаження, на виході – управляючі дії (U_1-U_4) на конвеєри, а також сигнали T_{m1} і T_{m2} , що поступають на блоки Zagruzka1,2 і дозволяють враховувати поточну завантаженість потоково-транспортної системи.

Цифрова реалізація роботи потоково-транспортної системи виконана на мові С в програмі Matlab. За допомогою моделі потоково-транспортної системи можна аналізувати режими пуску конвеєрів в заданому порядку з номінальним моментом до номінальної швидкості, гальмування, відробітки конвеєрами заданого навантаження і одержати залежності (реєстратори w_{1234} , I_{1234} , $T_{m_{12}}$), що визначають завантаженість окремих конвеєрів в системі і показують зміну швидкості конвеєрів залежно від навантаження.

За допомогою представленої математичної моделі було виконане відлагодження системи прямого управління моментом для багаторухового асинхронного електроприводу конвеєра.

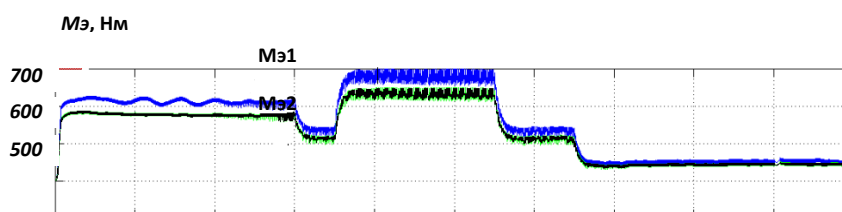


Рис.5.14-. Криві зміни моменту при пуску, зменшенні і збільшенні навантаження

$M_{э1}$ - існуюча система управління приводами конвеєрів;

$M_{э2}$ - система прямого управління моментом.

На рис. 5.14 приведені криві зміни моменту при пуску під номінальним навантаженням, зменшенні і збільшенні навантаження, що ілюструють

зниження динамічного моменту на (15-20)% в порівнянні з існуючими системами управління приводами конвеєрів.

5. 3. Підвищення енерго- і ресурсозбереження конвеєрного транспорту за рахунок оптимального алгоритму управління частотно-регульованим багатодвигуновим асинхронним електроприводом конвеєра.

На математичній моделі конвеєра були проведені дослідження різних алгоритмів управління частотно-регульованим багатодвигуновим асинхронним електроприводом.

Як локальний алгоритм управління багаторуховим електроприводом використовувався алгоритм прямого управління моментом, забезпечуючий максимальну швидкодію по контуру струму (моменту) і обмеження максимального значення струму (до номінального моменту).

Запропонована структурна схема моделі багатодвигунового асинхронного частотно-регульованого електропривода з системою прямого управління моментом (рис.5.15) та досліджений алгоритм формування сигналів завдання в системі управління.

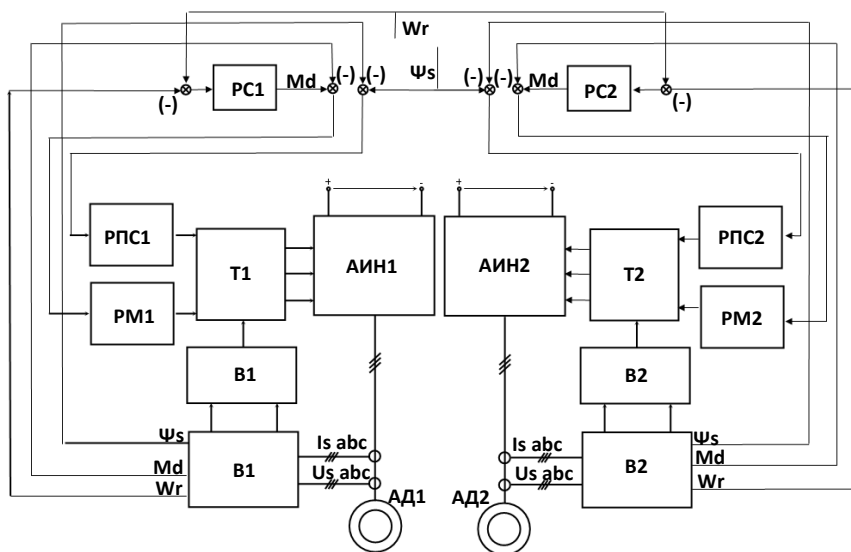


Рис.5.15- Структурна схема моделі багаторухового асинхронного частотно-регульованого електроприводу з системою прямого управління моментом
PC1,2 – регулятори швидкості; АИН1,2 – автономні інвертування напруги;
Т1,2 – таблиці перемикання ключів автономного інвертування; РПС1,2 – регулятори потокозчеплення статора; РМ1,2 – регулятори електромагнітного моменту; В1,2 – обчислювачі кута повороту вектора потокозчеплення статора, моменту, потокозчеплення статора двигуна і швидкості обертання ротора

Цей алгоритм, що враховує випадковий характер навантаження, , полягає в наступному: величина розузгодження по навантаженню (фактичний струм з напівпровідникових перетворювачів) використовується для коректування завдання швидкості окремих приводів.

Блок-схема коректування сигналів завдання приведена на рис.5.16.

- а). Якщо $M_1 = M_2$, то, то коректуючий сигнал рівний 0.
- б). Якщо $M_1 > M_2$, то $K \cdot (M_1 - M_2) > 0$. Завдання на регулятор швидкості (РС1) знижується, а на РС2 збільшується.
- в) Якщо $M_1 < M_2$, то $K \cdot (M_1 - M_2) < 0$. Завдання на регулятор швидкості (РС1) збільшується, а на РС2 знижується.

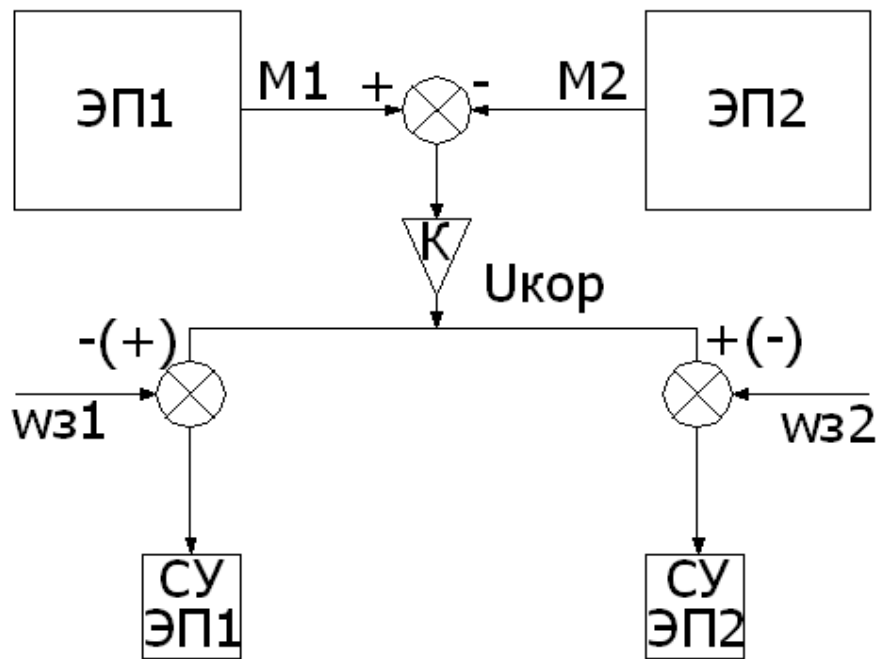


Рис.5.16- Алгоритм коректування сигналів завдання

ЭП1,2 – електроприводи, $U_{кор}$ – коректуючий сигнал, $w_{з1,2}$ – завдання швидкості, СУ ЭП1,2 – системи управління електроприводами.

Рис.5.17 ілюструє криві моменту і швидкості приводу змінного струму при випадковому навантаженні в режимі пуску на повну швидкість з подальшим гальмуванням до повної зупинки і при ступінчастому збільшенні навантаження.

З приведених кривих видно, що при використуванні розробленого алгоритму знижується перерегулювання і коливання моменту, а, отже, і швидкості.

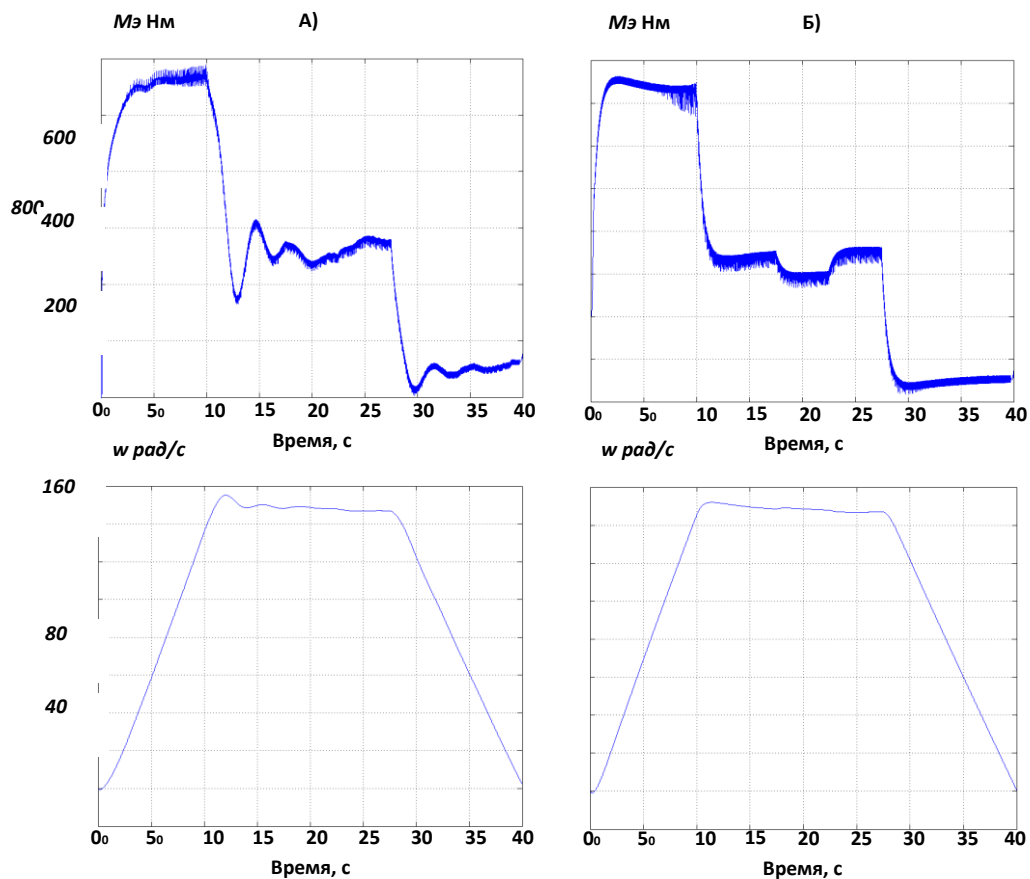


Рис.5.17 - Криві моменту і швидкості привоу без коректування сигналів (А) і з розробленим алгоритмом (Б).

Виконані дослідження режимів роботи привоу показали, що введення алгоритму коректування завдання швидкості окремих приводів забезпечило підвищення рівномірності розподілу навантаження між приводними двигунами (розузгодження складає не більш 10%), обмеження перерегулювання моменту двигуна (до 15%), а значить, обмеження динамічних навантажень на привід конвеєра при використуванні алгоритму прямого управління моментом і виключення прослизання стрічки при зміні умов роботи конвеєра.

РОЗДІЛ 6

ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Визначення техніко-економічної ефективності нового обладнання це – його об’єктивна технічна оцінка та аналіз з метою встановлення мінімальних вимог та затрат, необхідних для розробки і виготовлення і встановлення ефективно працюючої техніки, з визначенням сумарних витрат суспільної праці і покращення основних параметрів цього обладнання.

Економічна ефективність знаходиться із співвідношення E – економічний ефект від використання системи відео ідентифікації на K – капітальні витрати на її створення.

$$E_{\phi} = \frac{E}{K}, \quad (6.1)$$

Якщо вводиться новий програмний продукт, то витрати на створення цього забезпечення складаються з витрат на виплату заробітної праці розробника продукту, вартості спеціального устаткування і вартості комп’ютера:

$$K = C_o + C_k + Z_{opn} + C_{no}, \quad (6.2)$$

де K – капітальні витрати на створення системи; Z_{opn} – витрати на оплату праці розробника програми; C_o – вартість додаткового обладнання; C_{no} – вартість пакету Matlab C_k – вартість комп’ютера.

1) Витрати на оплату праці розробника програми.

Розрахунок оплати праці розробника програми визначається шляхом помноження трудомісткості створення програмного продукту на середню годинну оплату програмувача (з врахуванням коефіцієнта відчислень на соціальні потреби):

$$Z_{opn} = t \cdot T_{час} \quad (6.3)$$

2) Розрахунок трудомісткості втілення програмного продукту.

Величину трудомісткості впровадження програмного продукту можна визначити наступним чином:

$$t = t_o + t_a + t_b + t_n + t_d + t_{om}, \quad (6.4)$$

де t_o – величина витрат праці на підготовку постановки завдання; t_a – величина витрат праці на розробку плану вирішення задачі; t_b – величина витрат праці на визначення блок-схеми алгоритму рішення задачі; t_n – величина витрат праці на створення програми по блок-схемі; t_d – величина витрат праці на оформлення документації; t_{om} – величина витрат праці на опрацювання програми на комп'ютері при комплексному налагодженні.

Величину складових витрат можна розрахувати, використавши умовне число операторів Q . Приймаємо число операторів у налагодженій програмі $Q=3100$.

а) Розрахунок величину витрат праці на підготовку постановки завдання.

Провести точну оцінку витрат праці на підготовку постановки завдання вкрай важко, оскільки це вимагає творчого підходу щодо характеру роботи. Тому проведемо оцінку витрат праці на вивчення постановки завдання. Якщо уточнювати опис завдання і кваліфікацію програміста, то витрати визначаються:

$$t_o = \frac{Q \cdot B}{(75 \dots 85 \cdot K)}, \quad (6.5)$$

де B – коефіцієнт, який враховує зростання витрат праці із-за недостатнього опису завдання, уточнень і деякого недоопрацювання, $B = 1,2 \dots 5$; K – коефіцієнт кваліфікації розробника, для тих, що працюють до 2 років $K = 0,8$;

Таким чином, отримаємо:

$$t_o = \frac{3100 \cdot 2}{(75 \cdot 0,8)} = 103 \text{ (люд-год)}.$$

б) Розрахунок величини витрат праці на розробку плану.

Величина витрат праці на розробку плану вирішення задачі:

$$t_a = \frac{Q}{(60 \dots 75 \cdot K)} = \frac{3110}{65 \cdot 0,8} = 59,6 \text{ (люд-год)}.$$

в) Розрахунок величини витрат праці на створення блок-схеми.

Величина витрат праці на створення блок-схеми алгоритму вирішення задачі розраховується таким чином:

$$t_b = \frac{Q}{(60 \dots 75 \cdot K)} = \frac{3110}{65 \cdot 0,8} = 59,6 \text{ (люд-год)}.$$

г) Розрахунок величини витрат праці на створення програми.

Витрати праці на складання програми по готовій блок-схемі обчислюється за формулою:

$$t_{\Pi} = \frac{Q}{(60 \dots 75 \cdot K)} = \frac{3110}{65 \cdot 0,8} = 59,6 \text{ (люд-год)}.$$

д) Розрахунок величини витрат праці опрацювання програми на комп'ютері.

Величина витрат праці на опрацювання програми на комп'ютері при комплексному налагодженні:

$$t_{от} = 1,5 \cdot t_{от}^A, \quad (6.6)$$

де $t_{от}^A$ – величина витрат праці на опрацювання програми на комп'ютері при автономному налагодженні одного з завдань.

$$t_{от}^A = Q / (40 \dots 50 \cdot K) = 3100 / (45 \cdot 0,8) = 86,1 \text{ (люд-год)}.$$

Звідси:

$$t_{от} = 1,5 \cdot 86,1 = 129,15 \text{ (люд-год)}.$$

е) Розрахунок витрат праці на оформлення документації.

Величина витрат праці на оформлення документації по завданню визначається:

$$t_{\partial} = t_{\partial p} + t_{\partial o}, \quad (6.7)$$

де $t_{др}$ – величина витрат праці на оформлення матеріалів в рукописі; $t_{до}$ – витрати на редагування, друк і складання документації.

$$t_{др} = Q / (150 \dots 200 \cdot K) = 3100 / (150 \cdot 0,8) = 25,83 \text{ (люд-год);}$$

$$t_{до} = 0,75 \cdot t_{др} = 0,75 \cdot 25,83 = 19,37 \text{ (люд-год).}$$

Звідси:

$$t_{\partial} = 25,83 + 19,87 = 45,7 \text{ (люд-год).}$$

Таким чином, загальну трудомісткість програмного забезпечення можна розрахувати:

$$t = 102 + 59,6 + 59,6 + 59,6 + 45,7 + 129,15 = 455,65 \text{ (люд-год) [16].}$$

Середня зарплата працівників ІТ - технологій в сучасних умовах варіюється в широких межах. Для розрахунку приймаємо середню годинну оплату праці, при 8-ми годинному робочому дні по в середньому 22-23 робочих дня на місяць, яка складає $T_{\text{час}} = 110$ грн/год., на виході отримуємо 10000 грн/міс.

Дана заробітна плата дійсно має місце на багатьох підприємствах нашого міста.

Заробітна плата складаються з відрахувань на соціальні потреби (єдине соц. страхування – 34,7%). Тому витрати на оплату праці програміста складатимуть: 10347 грн. Витрати на придбання спеціального устаткування складають:

$$З_{\text{опн}} = 455,56 \cdot 110 \cdot 1,385 = 63095,06 \text{ грн.}$$

3) Витрати на купівлю спеціального обладнання склали $С_k = 3500$ грн.

4) Оскільки розробник користувався студентською версією пакету Matlab, яка безкоштовно поширена як реклама пакету. Вартість ПЗ

тоді $С_{\text{но}} = 0$ грн.

5) Вартість комп'ютера.

Комп'ютерний пристрій, на якому велася робота, коштує $С_k = 13100$ грн.

6) Розрахунок витрат на створення програмного продукту.

Разом, витрати на створення системи керування споживанням електричної енергії складуть:

$$З_{свк}=63095,06+13100+3500+0=79695,06 \text{ грн}$$

6. 1. Характеристика складових економічного ефекту.

Конвеєри застосовуються для транспортування руди від проходки підземних вироблень до стовбура. Після дроблення руда конвеєрами по підземних виробленнях і наземних галереях подається на збагачувальну фабрику.

Переваги використання конвеєрного транспорту:

До переваг використання конвеєрного транспорту можна віднести високу продуктивність завдяки безперервності процесу транспортування, високу надійність, технологічну сумісність з автоматизованим управлінням, низький показник травматизму обслуговуючого персоналу.

Недоліки використання конвеєрного транспорту:

Великі питомі капітальні витрати і експлуатаційні витрати.

Вантажопотік буває достатньо повільним по причині неможливості функціонування всіх комплексів одночасно. Тому повна потужність роботи конвеєра використовується тільки час від часу, коли всі гірничодобувні комплекси працюють з повним навантаженням.

Отже, конвеєри працюють не на повну потужність. У такій ситуації виникає ситуація необхідності зниження швидкості стрічки конвеєра до швидкості, яка забезпечує потрібну працездатність конвеєра при номінальному одиничному завантаженню породи. Це створюється використанням приводу високої продуктивності і високим показником потужності. Зниження швидкості стрічки конвеєра таким чином дає змогу значно зменшити кількість оборотів стрічки, знизити опор руху конвеєра, знизити знос механічних частин конвеєра і стрічки, а також економію

електроенергії. Сигнал, який одержаний з датчика заповнення конвеєра регулює частоту напруги перетворювачів, які подають живлення на приводи двигунів конвеєра. Регулювання здійснюється таким чином, щоб при незначній подачі руди на конвеєр було одержане одиничне номінальне завантаження на 1 метр рухомої стрічки конвеєра. Якщо подача руди збільшується, то на частотному перетворювачі збільшується частота напруги, яка живить приводи конвеєра, після чого на конвеєрі збільшується швидкість стрічки для утримання постійного одиничного завантаження руди на стрічку. Цей регулюючий процес відбувається автоматично, залежно від кількості вантажу, що транспортується по стрічці.

Регулювання швидкості частотним перетворювачем сприяє рівномірному завантаженні конвеєра, тому опори руху практично лишаються постійними. Таким чином, приводи конвеєрів мають забезпечувати регулювання швидкості пересування вантажоносного механізму при постійному моменті на його валу, а саме при постійному натягненні незалежно від меж регулювання швидкості. Одночасно із зниженням швидкості руху тягового органу, викликаним зниженням продуктивності машини здобичі, збільшується термін її служби, оскільки скорочується частота огинання стрічкою барабана. Термін служби стрічки при цьому зростає майже пропорційно зниженню її швидкості. Цей факт є особливо важливим, тому що ціна стрічки конвеєра складає від 40 до 70% вартості всієї конвеєрної установки, в залежності, яка довжина транспортування. У такому ж ступені знижується знос і механічної частини устаткування. Регульований привід дозволяє усунути пробуксування стрічки на приводному барабані, що впливає на її знос. Так само підвищується безпека використання конвеєра за рахунок виключення можливості спалаху стрічки при пробуксовуванні.

Головний критерій роботи конвеєрного транспорту – мінімальний час простоїв комплексів через відмови конвеєрній лінії. Однією з важливих

задач є граничне зменшення експлуатаційних затрат на одиницю ваги транспортуємого вантажу. В умовах автоматизації це завдання вирішується по критерію – мінімальні затрати електричної енергії на одиницю вантажу і мінімальний знос частин конвеєра.

Одним з можливих рішень є регулювання швидкості стрічки (швидкості електроприводу), яке забезпечує постійність погонного навантаження на оптимальному рівні згідно критеріїв енергозбереження і синхронізації моментів пуску (зупинки) конвеєра з часом надходження вантажу на стрічку, а також «м'який пуск», який зменшує динамічні навантаження на ділянках конвеєра. Для регулювання в даному випадку потрібна інформація про фактичне завантаження кожного з конвеєрів і регулювання його електричним приводом через перетворювачі частоти.

Момент опору сил тертя робочого конвеєра та параметри погонного завантаження стрічки і її швидкість пов'язаний нелінійною залежністю. Ця нелінійна залежність викликає високі втрати холостого ходу в механічній системі конвеєра. Тому, складова потужності електродвигуна, яка призначена для подолання сил тертя зменшується по мірі зменшення швидкості стрічки, навіть не враховуючі, що тягове зусилля стрічки збільшується в залежності, яка зворотно-пропорційна зниженню швидкості.

Добуток часу транспортування стрічки конвеєра і корисної потужності (корисних енерговитрат) являється постійною величиною, і необхідний рівень завантаження конвеєра має залежність в основному від сил тертя. Не дивлячись на нелінійну залежність моменту опору сил тертя від показників погонного завантаження, всі загальні втрати тертя зменшуються по мірі зменшення швидкості транспортування.

Таким чином, використання перетворювачів частоти дає значний ефект електрозбереження. Крім цього, використання перетворювачів частоти забезпечує:

1. Зростання механічної міцності і довговічності двигуна, а значить і конвеєра в цілому за рахунок усунення значних коливальних механічних моментів, якщо проводиться прямий пуск двигунів від мережі.

2. Зменшення теплових ударних навантажень, які впливають на обмотки двигуна при здійсненні прямого пуску.
3. Виключення великих електродинамічних зусиль в обмотках двигуна, що приводять до руйнування ізоляції.
6. Усунення великих пускових струмів в мережах.
5. Значне зростання довговічності частин конвеєра і механізмів конвеєрної стрічки за рахунок усунення ударних навантажень при здійсненні пуску, а саме зниження стирання для стрічки і числа перегинів при зниженні швидкості.

6. 2. Розрахунок економічного ефекту від впровадження частотного перетворювача на електроприводі конвеєра.

Розрахунок вартісної оцінки результату:

I. при повному завантаженні:

Сумарна сума чистого прибутку всього 145739,3 грн., в тому числі:

- амортизація- 38 756,1 грн.
- приріст чистого прибутку – 106983,2 грн.

II. при неповному завантаженні: загальна сума чистого доходу, всього 214156,9 грн., в тому числі:

- амортизація- 38 756,1 грн .
- приріст чистого прибутку – 175400,8 грн.

Розрахунок економічної ефективності електроенергії і економічної ефективності від підвищення довговічності роликів опор і конвеєрної стрічки.

1) Економія споживання електроенергії складе:

$$C = C_1 - C_2 = W \cdot C_0,$$

де C_1 і C_2 – вартість електроенергії до і після впровадження системи регулювання;

W – середньорічні зміни витрат електричної енергії, якщо всі інші чинники рівні, крім питомого енергоспоживання.

$$W = P_c \cdot T,$$

де P_c – зміна споживаної електроенергії,

T – річний ресурс роботи ($T = 6000$ ч).

C_0 – вартість електроенергії згідно діючим цінам і тарифам електроенергії.

($C_0 = 4,7$ грн. за кВт/ч).

$W_{\text{пол}} = 1416$ тис. кВт/год – економія електроенергії, якщо є повне завантаження;

$W_{\text{н}} = 98,4$ тис. кВт/год – економія електроенергії, якщо неповне завантаження.

Економії електроенергії:

при повному завантаженні – $C = W \cdot C_0 = 1416 \cdot 4,7 = 6655,2$ тис. грн.

при неповній – $C = W \cdot C_0 = 984 \cdot 4,7 = 4624,8$ тис. грн .

2) Знос стрічки залежить прямо пропорційно зусиллям, які діють на стрічку, їх характеризує коефіцієнт опору руху $W_{\text{и}}$. З економією електричної енергії при зниженні швидкості зростає терміни служби стрічки.

Довжина конвеєра 2ЛУ-80 900 метрів, тому довжина стрічки – 1800 метрів. Ціна 1 погонного метра стрічки дорівнює 1000 грн. Термін дії конвеєрної стрічки – 5 років.

Термін дії стрічки при повному завантаженні зросте на 18%, а при неповному – на 46%.

Приріст доходу від збільшення терміну служби конвеєрних стрічок складатиме:

$$\Pi = L \cdot \Pi : T_1 - L \cdot \Pi : T_2;$$

де: L – довжина стрічки; Π – вартість 1 метра; T_1 - термін служби до впровадження; T_2 - термін служби після впровадження.

Річний економічний ефект при повному завантаженні складе

$$\Pi_{\text{п}} = 1800 \cdot 1000 : 5 - 1800 \cdot 1000 : 5,9 = 54915 \text{ грн.}$$

при неповному завантаженні:

$$Пн = 1800 \cdot 1000 : 5 - 1800 \cdot 1000 : 7,3 = 113424,7 \text{ грн}$$

в) Збільшення терміну служби ролікоопор при номінальному завантаженні складе 3,1 рази, а при зменшеному – до 6,8 разів. Термін служби ролікоопор верхніх – 4,5 роки, а нижніх – 2,3 роки.

Відстань між верхніми ролікоопорами – 1 м, нижніми – 2 метри. Отже, верхніх ролікоопор – 900, нижніх – 450 штук.

Приріст прибутку від збільшення терміну служби ролікоопор:

при повному завантаженні:

$$\text{Верхніх} - 900 \cdot 170 : 4,5 - 900 \cdot 170 : 14 = 23071 \text{ грн.}$$

$$\text{Нижніх} - 450 \cdot 170 : 2,3 - 450 \cdot 170 : 7 = 22342 \text{ грн.}$$

Ефект складе всього 45413 грн.

при неповному завантаженні:

$$\text{Верхніх} - 900 \cdot 170 : 4,5 - 900 \cdot 170 : 30,6 = 29000 \text{ грн.}$$

$$\text{Нижніх} - 450 \cdot 170 : 2,3 - 450 \cdot 170 : 15,6 = 28351 \text{ грн.}$$

Всього – 57351 грн.

Приріст прибутку від впровадження системи регулювання знаходиться як сума ефектів від економії електричної енергії, зростання терміну служби ролікоопор і конвейєрної стрічки.

Розрахункові показники зведені в таблицю 6.1.

Таблиця 6.1. Економія електроенергії і економія матеріалів від підвищення довговічності роликів опор і конвеєрної стрічки

Найменування показника	Значення показника	
	повне завантаження	неповне завантаження
1. Встановлена потужність електродвигунів, кВт	75	
2. Довжина конвеєрів, м	900	
3. Кількість ролюпопор, шт.	1350	
6. Довжина конвеєрної стрічки, м	1800	
5. Річна економія електроенергії, тис.кВт/год.	1416	984
6. Відносне збільшення терміну служби, %		
-роликів опор	310	680
-конвеєрної стрічки	18	46
7. Витрати всього, грн. в т.ч.:	373921	
- на технічні засоби (перетворювачі, КІП і А)	294226	
-на розробку системи і монтажно-налагоджувальні роботи	79695	
8. Річний економічний ефект, всього, грн. В т.ч.:	106983,2	175400,8
-від економії електроенергії	6655,2	4624,8
-від збільшення терміну служби ролюпопор	45413	57351
-від збільшення терміну служби конвеєрної стрічки.	54915	113425

Розраховані показники свідчать, що термін окупності системи, що використовується залежить від роботи комплексів і складає відповідно 2,5 і 3,15 роки. Базисна складова економічного ефекту – це економія електричної енергії, яка з підвищенням вартості електроенергії буде зростати

Одержані результати підтверджують можливість впровадження систем оптимального управління на конвеєрному транспорті, який працює з високою продуктивністю та показують її економічну доцільність

ВИСНОВКИ

В магістерській роботі розглянуті сучасні процеси електроспоживання та визначено енергозберігаючі заходи на гірничорудних підприємствах.

У роботі проведено аналіз поточного стану ринкових взаємин споживачів і постачальників електричної енергії у гірничорудній промисловості. Розглянуто питання автоматизації систем керування електроспоживання на сучасних промислових підприємствах. У результаті проведена розробка системи автоматизації керування електроспоживанням підрозділами гірничорудного підприємства, яка показала можливість впровадження даної системи на підприємстві.

Проведено аналіз основних систем автоматизації керування електроспоживанням промислових підприємств, а також запропоновані основні методи побудови систем автоматизованого керування електроспоживанням гірничорудного підприємства. Розроблені структурні й функціональні схеми роботи системи, які дозволяють більш детально ознайомитися з її математичним апаратом та визначити економічну ефективність.

У роботі досліджувалися процеси електроспоживання підприємств гірничорудної промисловості, проведений формалізований опис систем електропостачання, визначена оцінка збитку від перебоїв в електропостачанні.

В одному з розділів розглянуто дослідження ефективності застосування регульованого електроприводу конвеєрних ліній та поточно-транспортних систем та доцільність його застосування для оптимізації енергозберігаючих режимів.

Запропонована методика може лягти в основу створення типових проектних рішень з побудови та модернізації систем автоматизованого керування електроспоживанням промислових підприємств, а також знайти

застосування при розробці систем автоматизованого керування іншими складними організаційно-технічними об'єктами.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Методичні вказівки до виконання магістерських робіт на здобуття освітньо-кваліфікаційного рівня – магістр електротехніки за фахом 8.090603 «Електротехнічні системи електроспоживання». /Укл.: П.Г.Плешков, Н.Ю.Гарасьова – Кіровоград: КДТУ, 2002-44 с.
2. Рапопорт ЭЛ. Альтернативный метод в прикладных задачах оптимизации. М.: Наука, 2000. 336 с.
3. Резчиков А.Ф. Управление энергетикой промышленных предприятий. Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 2006. - 348 с.
4. Кустов А.А. Автоматизация управления рациональным электропотреблением. М.: Наука, 1990. - 282 с.
5. Барков А.В., Баркова Н.А., Азовцев Ю.А. Мониторинг и диагностика роторных машин по вибрации: Учеб. пособ. СПб.: Питер, 2000. - 158 с.
6. Рутковская Д., Пилинский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы. М.: Горячая линия, 2005. - 452 с.
7. Логический подход к искусственному интеллекту: от классической логики к логическому программированию / А. Тейз, П. Грибомон, Ж. Луи и др. М: Мир, 1990. - 432 с.
8. Искусственный интеллект: Применение в интегрированных производственных системах / Под ред. Э.Кьюсиака. М.: Машиностроение, 1991. - 544с.
9. Папков Б.В., Куликов А.Л. Вопросы рыночной электроэнергетики. Н.Новгород: Изд-во Волго-Вятской акад. гос. службы, 2005. - 282с.
10. Калянов Г.Н. CASE-технологии. Консалтинг при автоматизации бизнес-процессов. 2-е изд. перераб. и доп. М.: Горячая линия-Телеком, 2000. - 320 с.
14. Закладний О.М., Праховник А.В., Соловей О.І. Енергозбереження засобами промислового електропривода: Навчальний посібник. - К: Кондор,

2005.-408 с.

15. Жежеленко И.В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий. - 4-е изд., перераб. и доп. - М. - Энергоатомиздат, 2000.- 331с.
16. И.Я.Браславский, З.Ш.Ишматов, В.Н.Поляков. Энергосберегающий асинхронный электропривод.-М.:Издательский центр „Академия", 2004
17. Копылов И.П. Математическое моделирование электрических машин: Учебник /И.П. Копылов.-3-е изд., перераб. И доп.- М.:Высшая школа, 2001.- 327 с.
18. Абрамов, Б. И. Энергосбережение средствами электропривода в коммунальном хозяйстве города / Б. И. Абрамов, Г. М. Иванов, Б. С. Лезнов //Электротехника. - 2001. - № 1. - С. 59-63;
19. Луковников, В. И. Опыт применения комплексной тиристорной станции ТСУ-2 для управления пуском асинхронных электроприводов турбомеханизмов / В. И. Луковников, С. И. Захаренко, А. И. Рожков / / Электротехника. - 2000. - № 6. - С. 56-59.;
20. Копырин В.С., Бородацкий Е.Г. Автоматизация насосной станции с применением частотно-регулируемого электропривода. Силовая электроника. № 2, 2006. С. 23-27.
21. П.Г.Плешков, Ю.І.Казанцев, А.Ю.Орлович. Основи енергозбереження та енергозберігаючі режими в системах електропостачання промислових підприємств. – Кіровоград: РВЛ КНТУ 2007.
22. П.Г.Плешков, А.Ю.Орлович, Котиш А.І. Електропостачання промислових підприємств. Навчальний посібник. – Кіровоград: РВЛ КНТУ, 2007.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А. Охорона праці.

Заходи з електробезпеки при обслуговуванні внутрішньошахтних електроустановок.

Виконання вимог з охорони праці і техніки безпеки є обов'язковим для електромонтера-релейщика. Електромонтер-релейщик виконує роботи по ремонту й обслуговуванню приладів і пристроїв, розташованих на панелях релейного захисту та автоматики (РЗА), а також масляних вимикачів (МВ), роз'єднувачів, короткозамикачів, їхніх приводів, газового захисту трансформаторів струму (ТС) і напруги (ТН), їхніх кіл і кіл вторинної комутації.

Метою виконаних робіт є перевірка відповідності перерахованих вище приладів і пристроїв необхідним параметрам і забезпечення їхньої безаварійної роботи.

Дані вимоги складено на підставі "Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів" і "Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів" (2006р.), надалі "ПБЕЕС" і "ПТЕЕС".

Перелік інструкцій з обслуговування, устаткування і директивних матеріалів

При проведенні робіт електромонтер-релейщик повинен керуватися наступними нормативними документами й інструкціями:

- 1) ПТЕЕС - правила технічної експлуатації електроустановок споживачів (2006р.);
- 2) ПБЕЕС – правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів;
- 3) Правила устаткування електроустановок "ПУЕ";

- 4)Збірка директивних матеріалів. Електрична частина;
- 5)Методичні вказівки до "Правил технічного обслуговування пристроїв релейного захисту, електроавтоматики, дистанційного керування і сигналізації електростанцій і ліній електропередачі 35-330 кВ;
- 6)Інструкція з перевірки пристроїв релейного захисту й автоматики;
- 7)Програма і методика випробувань (ПМВ).

Перелік схем і пристроїв електроустаткування.

Відповідно до вимог ПТЕЕС роботи в колах пристроїв релейного захисту проводяться за виконавчими схемами. Виконавчі схеми, необхідні для проведення робіт, відбираються з наявного комплексу схем, доданих до пристроїв релейного захисту й автоматики (РЗА). При використанні у роботі приладів і необхідного електроустаткування використовуються схеми, додані до інструкцій приладів, або схеми, виконані безпосередньо на них(на кришках приладів).

Права, обов'язки і відповідальність персоналу

Виконання робіт у пристроях релейного захисту й автоматики (РЗА) мають право здійснювати: спеціально підготовані особи, старші 18 років, що пройшли медогляд і признані придатними до виконання вищевказаних робіт. Електромонтер-релейщик, після теоретичної і практичної підготовки проходить обов'язкову перевірку знань, після чого йому привласнюється відповідна група з електробезпеки. Електромонтери-релейщики з 4 і 5 групою з електробезпеки користуються правами оперативно-ремонтного персоналу в електроустановках 6, 10, 35 кВ без постійного обслуговуючого персоналу. У процесі роботи електромонтер-

релейщик періодично повинен проходити інструктаж (не рідше одного разу на місяць), а також перевірку знань "ПБЕЕС" і "ПТЕЕС" (один раз на рік) і медичний огляд (один раз у 2 роки).

Під час проведення робіт необхідно виконувати наступні вимоги:

1.Огляд робочого місця, який включає в себе:

- а) перевірку наявності освітлення, достатнього для забезпечення робіт;
- б) відсутність вологи на робочому місці;
- в) при виявленні на поверхні підлоги (чи підставки) масляних плям, необхідно їх ліквідувати, щоб уникнути падіння персоналу;
- г) діелектричні підставки, призначені для використання при проведенні робіт, повинні відповідати правилам застосування і випробувань електротехнічних засобів.

2.Підготовка робочого місця виконується відповідно до вимог безпеки. Електромонтер-релейщик, який є керівником робіт, особисто перевіряє виконання всіх заходів щодо безпеки робіт (перевірка накладення заземлень, необхідні відключення, контроль вивішених плакатів), передбачених нарядом-допуском для робіт в електроустановках чи розпорядженням.

3.При проведенні робіт з обслуговування пристроїв РЗА необхідно дотримуватись наступних вимог:

- 1) усі роботи повинні виконуватись з урахуванням правил і методик, викладених у вищевказаному переліку інструкцій з обслуговування устаткування і директивних матеріалів;
- 2)роботи в колах РЗА проводяться лише за схемами, робота по пам'яті, без схем, забороняється;
- 3) при проведенні робіт використовується тільки справне, заздалегідь перевірене в лабораторних умовах і яке пройшло держпівірку устаткування,

яке супроводжується необхідними схемами й інструкціями. Кінці, які застосовуються для з'єднання устаткування, повинні мати надійну ізоляцію і справні клемні з'єднання ;

4) електромонтер-релейщик повинен використовувати під час проведення інструмент з ізольованими рукоятками, а також вчасно випробувати електрозахисні засоби;

5) перед початком роботи необхідно ще раз остаточно переконатися, що роботи виконуються на необхідній релейній панелі, а не на будь-якій іншій, що може призвести до аварії чи помилкових відключень;

6) при необхідності виконання яких-небудь робіт у колах або на апаратах РЗА, якщо ввімкнене основне устаткування, проводяться додаткові заходи проти запобігання випадкового відключення;

7) забороняється біля місця розташування релейної апаратури виконувати роботи, які можуть викликати вагомий струс релейної апаратури, що призводить до помилкового спрацювання реле;

8) при проведенні перевірочних робіт, у приміщенні з електроустановками напругою вище 1000 В дозволяється знаходитися одному члену бригади. При виконанні регулювання вимикачів, перевірки ізоляції співробітник повинен мати третю та вищу групу з електробезпеки. Керівник надає співробітнику необхідні вказівки з техніки електробезпеки;

9) у колах між трансформатором струму і затискачами, де встановлюється закоротка, забороняється виконувати роботи, що можуть призвести до розмикання кола;

10) при виконанні робіт на трансформаторах струму в їхніх вторинних колах необхідно дотримуватись наступних вимог безпеки:

а) шини первинних кіл не використовувати у якості допоміжних проводів при монтажі струмоведучих кіл чи при виконанні зварювальних робіт;

б) коло вимірювання і захисту кріпити до затискачів призначених трансформаторів струму після повного закінчення монтажу вторинних схем;

в) протягом перевірки полярності прибори, перед подачею імпульсу струму до первинної обмотки, надійно приєднувати до затискачів вторинної обмотки;

12) при перевірці газового захисту трансформаторів, електромонтер-релейщик, який проводить огляд газового реле безпосередньо на трансформаторі, повинен мати страховий пояс, надійно закріплений за зазначене при інструктажі місце. При порушенні правил і інструкцій з охорони праці, в залежності від характеру порушень, електромонтеру може бути здійснений позачерговий інструктаж або позачергова перевірка знань, а при серйозних порушеннях і заходи дисциплінарного чи адміністративного впливу.

Електромонтер-релейщик має право:

1) отримувати для вивчення технічну документацію по електроустаткуванню;

2) отримувати від оперативного персоналу інформацію про роботу устаткування,

виконанні перемикання і стан електрообладнання;

3) вносити зміни до технічної документації, якщо схема має незначні відмінності від дійсної схеми РЗА;

4) вимагати від суміжних організацій і оперативного персоналу усунення дефектів і виконання рекомендацій з експлуатації устаткування;

5) підписувати протоколи виконання профілактичних робіт в засобах РЗА, настроювання реле й іншого устаткування;

6) мати чітке уявлення про ціль, характер і процес виконуваних робіт.

Електромонтер-релейщик несе відповідальність:

- 1) за неналежне виконання покладених обов'язків;
- 2) за неправильність і неповноту використання наданих прав;
- 3) за недотримання правил охорони праці, ПБЕЕС, ПТЕЕ, Правил пожежної безпеки України та промислової санітарії;
- 4) за неякісне виконання робіт, яке призвело до зриву планово-попереджувального ремонту, налагоджувальних робіт, ушкодження устаткування, неправильної роботи пристроїв РЗА;
- 5) за надані в його розпорядження прилади, устаткування, інструмент і спецодяг;
- 6) за чітке виконання вимог, які висуваються відповідно до групи з електробезпеки і розряду, присвоєних електромонтеру;
- 7) за дотримання розпорядку робочого часу.

1. Взаємодія з іншими структурними підрозділами

Для забезпечення безаварійної роботи електромонтер повинен чітко знати організаційну структуру, яка забезпечує надійну і безпечну роботу. Необхідно дотримуватись чіткої координації дій з електротехнічним персоналом, пов'язаним із проведеними роботами:

1) підготовка робочого місця здійснюється оперативним персоналом на ГПП "Гірнична" і оперативно-ремонтним персоналом на інших підстанціях і РП (розподільчих пристроях) підприємства при узгодженні зі старшим оперативним персоналом, і відповідно до вказівок наряду-допуску чи розпорядження;

2) зібрана дослідна схема випробовувань перевіряється керівником робіт;

3)зняття заземлень, регулювання режиму роботи, а також оперативні переключення, необхідні для проведення робіт, виконуються тільки оперативним персоналом - оперативно-ремонтним персоналом, на інших ПС (підстанціях) і РП підприємства при узгодженні (у разі потреби) з адміністративно-технічним персоналом - старшим оперативним персоналом;

4)після закінчення робіт розбирання схеми і ввімкнення устаткування в роботу виконується оперативним чи оперативно-ремонтним персоналом.

При виявленні несправності устаткування, пристроїв та інструменту, які загрожують безпеці персоналу, а також нормальній роботі устаткування, необхідно повідомити про це керівника і без його дозволу до роботи не приступати.

Електромонтер-релейщик енерголабораторії підпорядковується начальнику енерголабораторії, при його відсутності - начальнику ДЕВПЗ та КВПіЗА.

При проведенні робіт члени бригади підпорядковуються керівнику.

2. Вимоги правил безпеки в аварійних ситуаціях

При виникненні аварійної ситуації чи ситуації, що загрожує життю людей електромонтер-релейщик зобов'язаний негайно відключити електроустановку, устаткування, які знаходяться в аварійному стані, повідомити адміністративно - технічний персонал та диспетчера, вжити заходи щодо ліквідації аварії та надання допомоги потерпілим. При загоранні електроустаткування необхідно відключити його від електромережі. Гасити полум'я сухим піском, азбестовою тканиною. Гасити електроустаткування під напругою водою і пінними вогнегасниками забороняється. Допускається гасіння електроустаткування під напругою до 1000 В вогнегасниками ОПУ й ОУ (вогнегасник порошковий уніфікований, вогнегасник вуглекислий). При гасінні необхідно знаходитися з боку надходження свіжого повітря.

Надання першої медичної допомоги.

Кожен електромонтер-релейщик повинен вміти надавати першу медичну допомогу собі і своєму товаришу при нещасних випадках:

а) при наданні допомоги у випадку поранення потрібно зупинити кровотечу : артеріальну – накладанням джгута, венозну - тугою пов'язкою. Не можна промивати рану водою, торкатись до рани руками, перев'язувати рану випадковими ганчірками, витягати самому з рани сторонні частки, що потрапили до неї;

б)при отруєнні газами , враженні електричним струмом необхідно: звільнити потерпілого від впливу електричного струму, винести на свіже повітря, ; вжити заходи по приведенню потерпілого до свідомості; при відсутності дихання і серцебиття застосувати штучне дихання і непрямий масаж серця;

в)при переломах кінцівок потерпілому накладається шина з дошки чи іншого підручного матеріалу.

Після надання першої медичної допомоги потрібно доставити потерпілого в медпункт.

ДОДАТОК Б. Звіт подібності кваліфікаційної роботи