Міністерство освіти і науки України

Запорізький національний університет

Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні

Кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

рівень вищої освіти (перший (бакалаврський) рівень)

на тему «Підвищення ефективності електроспоживання технологічного обладнання промислового підприємства»

Виконав: студент 3 курсу, групи 6.1411-с
Михайленко Ю.І.
(ПІБ) (підпис)

спеціальності
141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва)

освітньо-професійна програма
Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва)

Керівник Башлій С.В.
(прізвище та ініціали) (підпис)

Запоріжжя – 2024 рік

Запорізький національний університет

(повне найменування закладу вищої освіти)

Факультет Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні

Кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський) рівень

Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(шифр і назва)

Спеціалізація _____

(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____ В.Л. Коваленко

“____” _____2024 року

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ «БАКАЛАВР»

Михайленко Юрій Ігорович

(прізвище, ім’я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи бакалавра «Підвищення ефективності електроспоживання технологічного обладнання промислового підприємства»

керівник кваліфікаційної роботи бакалавра Башлій Сергій Вікторович к.т.н., доцент

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від “26” грудня 2024 року №2215-с

2. Строк подання здобувачем кваліфікаційної роботи бакалавра 18.06.2024

3. Вихідні дані кваліфікаційної роботи бакалавра

Дослідити сучасний стан енерговикористання обладнанням насосних станцій КП «Водоканал» м. Запоріжжя та запропонувати модернізацію системи енергоспоживання з метою підвищення енергоефективності виробництва

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

Вступ. 1) Технічні та технологічні передумови застосування перетворювачів частот. 2) Модернізація системи керування насосними станціями КП «Водоканал» міста Запоріжжя. 3) Економічний аналіз.

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

Додаток А – фотокопії 9-ти слайдів презентації доповіді для захисту роботи

_____

_____

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи бакалавра:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата завдання прийняв
Розділ 1	Башлій С.В., к.т.н., доцент каф. ЕІКФС	
Розділ 2	Башлій С.В., к.т.н., доцент каф. ЕІКФС	
Розділ 3	Башлій С.В., к.т.н., доцент каф. ЕІКФС	

7. Дата видачі завдання_____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи бакалавра	Строк виконання етапів каліфікаційної роботи бакалавра	Примітка
	Вступ	02.05.2024 – 09.05.2024	
1	Технічні та технологічні передумови застосування перетворювачів частот	13.05.2024 – 24.05.2024	
2	Модернізація системи керування насосними станціями КП «Водоканал» міста Запоріжжя	27.05.2024 – 07.06.2024	
3	Економічний аналіз	08.06.2024 – 13.06.2024	
	Висновки	13.06.2024 – 15.06.2024	

Здобувач вищої освіти _____Ю.І. Михайленко
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи бакалавра _____С.В. Башлій
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль здійснив_____С.В. Башлій
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Михайленко Ю.І. Підвищення ефективності електроспоживання технологічного обладнання промислового підприємства. Кваліфікаційна робота бакалавра на здобуття вищої освіти за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», науковий керівник С.В. Башлій. Запорізький національний університет, Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні ЗНУ, кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем. Запоріжжя, 2024.

Пояснювальна записка містить 63 с., 6 рисунків, 23 таблиць, 30 джерел посилань, 1 додаток.

У цій роботі досліджено ефективність роботи та електроспоживання насосної станції комунального підприємства «Водоканал» міста Запоріжжя. За результатами енергетичного обстеження і аналізу режимів роботи насосних агрегатів з нерегульованою системою керування пропонується модернізувати систему, шляхом встановлення частотних перетворювачів. В основній частині роботи представлено порівняльний аналіз ефективності споживання електроенергії при роботі електроприводів насосів без перетворювачів частоти і потенційне зниження споживання електроенергії з після встановлення ПЧ, а також обґрунтування й опис енергозберігаючих заходів.

НАСОСНИЙ АГРЕГАТ, ПЕРЕТВОРЮВАЧ ЧАСТОТИ, ВТРАТИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ, СИСТЕМА ВОДОПОСТАЧАННЯ, КОЕФІЦІЄНТ КОРИСНОЇ ДІЇ, КОЕФІЦІЄНТ ПОТУЖНОСТІ, ЧАСТОТА, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ

ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ 7

ВСТУП 8

1 ТЕХНІЧНІ ТА ТЕХНОЛОГІЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ЗАСТОСУВАННЯ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ЧАСТОТИ 11

1.1 Класифікація перетворювачів частоти 15

1.2 Перетворювачі частоти з проміжною ланкою постійного струму 20

1.3 Перетворювачі частоти з безпосереднім зв’язком 22

1.4 Рекомендації щодо вибору перетворювачів частоти 27

1.5 Висновок до розділу 1 31

2 МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ НАСОСНИМИ СТАНЦІЯМИ КП «ВОДОКАНАЛ» МІСТА ЗАПОРІЖЖЯ 33

2.1 Основні відомості про підприємство 33

2.2 Вибір об’єктів модернізації 36

2.3 Технічна оцінка 37

2.4 Оцінка енергетичних втрат 43

2.5 Визначення рішень, щодо підвищення енергоефективності 49

2.6 Висновок до розділу 2 54

3 ЕКОНОМІЧНИЙ АНАЛІЗ 55

3.1 Оцінка капітальних витрат 55

3.2 Оцінка економічного ефекту 57

3.3 Висновок до розділу 3 59

ВИСНОВКИ 60

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ 62

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

ПЧ – перетворювач частоти;

ЧП – частотний перетворювач;

НА – насосний агрегат;

ВНС – водонасосна станція;

НС – насосна станція;

ДВС – Дніпровська водопровідна станція;

ККД – коефіцієнт корисної дії;

ЦОС – центральна очисна споруда;

КП – комунальне підприємство;

ВСТУП

В економіці України енергозбереження та енергоефективні технології є пріоритетними для впровадження у виробництво. Зростання цін на паливо, воду та електроенергію вимагає перегляду підходів до проєктування та експлуатації обладнання насосних станцій.

Житлово-комунальне господарство, яке забезпечує населення водою, газом, теплом та іншими ресурсами, є важливою галуззю, що підтримує нормальні умови життя і роботи. Серед багатьох галузей, спрямованих на підвищення рівня життя людей, водопостачання займає пріоритетне місце, вирішуючи соціальні проблеми населення.

У зв'язку з надмірним споживанням енергоресурсів виникла необхідність у їх економії шляхом застосування енергоефективних технологій. В умовах зростання цін на енергоносії і підвищення витрат на енергоресурси (особливо на електроенергію), система водопостачання України опинилася у кризовому стані.

Це спричинено такими факторами:

- Відсутністю централізованого фінансування розвитку, реконструкції та модернізації.
- Зростанням неплатежів за послуги.
- Зношеністю мереж і споруд.
- Високою енергоємністю виробництва та надання послуг.
- Зростанням цін на електроенергію, реагенти та матеріали.

З енергетичної точки зору, система водопостачання та водовідведення міста є складним комплексом, що вимагає систематичного впровадження технічних, економічних та організаційних заходів для підвищення енергоефективності. Коли ціни на енергоносії були у 20-30 разів нижчі за сучасні, заходи з підвищення енергоефективності не мали економічного сенсу. Потужність більшості обладнання насосних станцій була значно завищена для

забезпечення безперебійності роботи та резервування. Нині ж заходи з підвищення енергоефективності системи водопостачання є вигідними та економічно обґрунтованими, з великим потенціалом енергозбереження.

Застосування технічних заходів щодо підвищення енергоефективності, зокрема енергозбереження в електроприводах насосних агрегатів та системах живлення електрообладнання насосної станції, є основним напрямом досліджень для зменшення електроспоживання. Особлива увага приділяється впровадженню регульованого електропривода, оптимізації потужності насосних агрегатів та вдосконаленню технологічної схеми подачі води.

Більшість електроприводів насосних агрегатів були спроєктовані ще до появи на ринку частотних перетворювачів, тому використовувалися нерегульовані електроприводи, які не дозволяли регулювати подачу води залежно від її споживання шляхом зменшення обертів насосу. Регулювання подачі відбувалося шляхом дроселювання потоку рідини за допомогою засувки, яка регулює тиск у трубопроводі при зміні споживання води, але електропривід працює з постійною швидкістю. Вибрані з урахуванням максимальної продуктивності механізми часто працюють з меншою подачею, що визначається зміною споживання води в різний час доби. Це створює високий тиск у трубопроводі, що призводить до витоків води та зносу обладнання і мереж.

Асинхронний двигун є найбільш простим, дешевим і надійним електричним двигуном, тому його використання в регульованому електроприводі насосних агрегатів задовольняє експлуатаційні та технологічні вимоги. Регулювання швидкості асинхронного двигуна зміною частоти (частотний спосіб) є одним із найперспективніших методів, забезпечуючи плавне регулювання швидкості в широкому діапазоні та мінімізуючи втрати потужності при регулюванні швидкості.

Встановлення на насосній станції частотного перетворювача дозволить вирівняти та підтримувати тиск у трубопроводах, регулюючи кількість обертів електродвигуна насосного агрегату. Якщо споживання води у мережі низьке,

електродвигун може працювати на знижених обертах. Крім оптимізації тиску, енергозбереження досягається за рахунок плавного запуску та зупинки насосного агрегату, що запобігає підвищеним пусковим струмам і навантаженню на електродвигун.

Плавний запуск захищає мережу від гідроударів, подаючи воду в магістраль поступово та рівномірно, що зберігає запірну арматуру і зворотні клапани та дозволяє уникнути розривів трубопроводів. Частотний перетворювач є сучасним універсальним пристроєм, простим в експлуатації, та забезпечує захист електродвигуна від перенапруги, обриву фаз та інших можливих несправностей.

1 ТЕХНІЧНІ ТА ТЕХНОЛОГІЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ЗАСТОСУВАННЯ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ЧАСТОТИ

Перетворювачі частоти — це пристрої, що перетворюють змінний струм (напругу) однієї частоти (постійної або регульованої) у змінний струм (напругу) іншої частоти (постійної або регульованої).

Частотний асинхронний перетворювач призначений для перетворення трифазного або однофазного змінного струму з частотою 50 (60) Гц у трифазний або однофазний струм з частотою від 1 Гц до 800 Гц. Ці пристрої використовуються для регулювання швидкості та продуктивності електродвигунів, що забезпечує гнучкість та економію енергії в різних промислових процесах.

Існує кілька типів частотних перетворювачів, кожен з яких має свої особливості та області застосування:

Частотні перетворювачі електроіндукційного типу:

Ці перетворювачі мають конструкцію, що базується на асинхронному двигуні з фазним ротором, який працює в режимі генератора-перетворювача. Вони використовуються у важкій промисловості, де потрібна висока надійність і стійкість до перевантажень. Такі перетворювачі відрізняються високою ефективністю та здатністю до тривалих навантажень без перегріву.

Електронні частотні перетворювачі:

Цей тип перетворювачів є найбільш поширеним завдяки своїй компактності, високій ефективності та широким можливостям керування. Вони складаються з інверторів, що використовують напівпровідникові елементи для перетворення частоти струму. Електронні перетворювачі широко застосовуються в автоматизованих системах керування, виробничих лініях, системах вентиляції та кондиціонування, а також у побутових приладах. Вони дозволяють плавно регулювати швидкість обертання електродвигуна, що сприяє економії енергії та збільшенню терміну служби обладнання.

Переваги використання частотних перетворювачів:

- Енергозбереження: Частотні перетворювачі дозволяють регулювати швидкість обертання електродвигунів відповідно до потреб процесу, що зменшує споживання енергії.
- Покращення керованості: Вони забезпечують точне керування швидкістю та моментом обертання, що підвищує ефективність роботи обладнання.
- Зниження механічного зносу: Плавне регулювання швидкості зменшує навантаження на механічні компоненти, продовжуючи термін їх служби.
- Гнучкість використання: Частотні перетворювачі можуть використовуватися у різних галузях, від легкої промисловості до важкої, а також у побуті.

Завдяки своїм численним перевагам, частотні перетворювачі стають невід'ємною частиною сучасних електроприводних систем, забезпечуючи високу ефективність, надійність та економічність.

Електронні частотні перетворювачі зазвичай використовуються для плавного регулювання швидкості асинхронних або синхронних електродвигунів, створюючи на виході напругу з потрібною частотою. В простих випадках регулювання частоти і напруги відбувається за заданою характеристикою V/f, у більш досконалих перетворювачах застосовується векторне керування.

Електронний частотний перетворювач складається з випрямляча (моста постійного струму), який перетворює змінний струм промислової частоти на постійний, та інвертора (перетворювача) (іноді з ШІМ), який перетворює постійний струм у змінний з необхідною частотою і амплітудою. Вихідні тиристори (GTO) або транзистори (IGBT) забезпечують потрібний струм для живлення електродвигуна.

Електронний перетворювач частоти складається зі схем, до складу яких входить тиристор або транзистор, які працюють в режимі електронних ключів. В

основі керуючої частини лежить мікропроцесор, який забезпечує керування силовими електронними ключами, а також вирішує велику кількість допоміжних завдань (контроль, діагностика, захист).

Кожен з наявних класів перетворювачів має свої позитивні та негативні сторони, які визначають область раціонального використання кожного з них.

Розрізняють два типи перетворювачів частоти:

1) перетворювачі частоти з проміжною ланкою постійного струму (напруги);

2) перетворювачі частоти з безпосереднім зв`язком (циклоконвертори).

Перший тип перетворювачів частоти будується за структурою «випрямляч – автономний інвертор (струму або напруги)».

Другий тип перетворювачів частоти ділиться на два класи:

– перетворювачі на неповністю керованих вентилях (тиристорах) з фазовим регулюванням і формуванням кривої вихідної напруги;

– перетворювачі на повністю керованих вентилях (транзисторах, двоопераційних тиристорах — GTO, тиристорах з вузлами примусової комутації).

Основу будь-якого перетворювача частоти з безпосереднім зв’язком складає реверсивний випрямляч, тому що він живиться від джерела змінної напруги і володіє здатністю працювати з будь-яким (з чотирьох можливих) сполученням полярностей вихідної напруги та струму, періодична почерговість яких притаманна змінному струму (два сполучення зі збіжними полярностями напруги і струму та два — з протилежними полярностями, обумовленими зсувом струму за фазою по відношенню до напруги).

У перетворювачах з безпосереднім зв'язком електричний модуль — це керований випрямляч. Система керування по черзі відмикає групи тиристорів і підключає обмотки двигуна до мережі живлення.

Таким чином, вихідна напруга перетворювача формується з «вирізаних» ділянок синусоїд вхідної напруги. Частота вихідної напруги у таких

перетворювачів не може дорівнювати або бути вищою частоти живильної мережі. Вона знаходиться в діапазоні від 0 до 30 Гц, і як наслідок — малий діапазон керування частотою обертання двигуна (не більше 1: 10). Це обмеження не дозволяє застосовувати такі перетворювачі в сучасних частотно-регульованих приводах з широким діапазоном регулювання технологічних параметрів.

Використання незамкнених тиристорів вимагає відносно складних систем керування, які збільшують вартість перетворювача. «Різана» синусоїда на виході перетворювача з безпосереднім зв'язком є джерелом вищих гармонік, які викликають додаткові втрати в електричному двигуні, перегрівання електричної машини, зниження моменту, дуже сильні перешкоди в мережі живлення. Застосування пристроїв компенсації призводить до підвищення вартості, маси, габаритів, зниження ККД системи в цілому.

Однак одноразове перетворення енергії, що визначає високий ККД перетворювача та можливість проходження реактивної потужності як від мережі до навантаження, так і назад є безперечними перевагами такого класу перетворювачів.

Найбільш поширеними в сучасних частотно-регульованих модулях є перетворювачі з проміжною ланкою постійного струму. У таких перетворювачах здійснюється подвійне перетворення електричної енергії: спочатку вхідна синусоїдна напруга з постійною амплітудою і частотою випрямляється, потім фільтрується і згладжується, а далі інвертор знову перетворює її в змінну напругу з регульованою частотою і амплітудою. Подвійне перетворення енергії знижує ККД та дещо погіршує масо-габаритні показники порівняно з перетворювачами з безпосереднім зв'язком.

Для формування синусоїдної змінної напруги використовують автономний інвертор, який формує електричну напругу заданої форми на обмотках електродвигуна (як правило, методом широтно-імпульсної модуляції). Функцію електронних ключів в інверторах виконують замкнені тиристори GTO і їх вдосконалені модифікації GCT, IGCT, SGCT, біполярні транзистори з

ізольованим затвором IGBT, та польові МОН-транзистори. Головною перевагою тиристорних перетворювачів частоти, як і в схемі з безпосереднім зв'язком, є здатність працювати з великими струмами і напругами, витримуючи при цьому тривале навантаження й імпульсні впливи. Вони мають більш високий ККД (до 98 %) порівняно з перетворювачами на IGBT-транзисторах.

Перетворювач частоти забезпечує плавний запуск і зупинку електродвигуна, а також дає змогу змінювати напрямок його обертання.

На цифровому дисплеї перетворювача відображаються основні параметри системи: задана швидкість, вихідна частота, струм і напруга двигуна, вихідна потужність, момент, стан дискретних входів, загальний час роботи перетворювача тощо.

Керувати перетворювачем частоти можна за допомогою вбудованої виносної цифрової панелі або за допомогою зовнішніх сигналів. У другому випадку швидкість обертання задається аналоговим сигналом 0—10 В або 4—20 мА, а команди пуску, зупинки і зміни режимів обертання подаються дискретними сигналами. Можливо також відображати параметри системи у вигляді графіків на виносній графічній панелі керування.

1.1 Класифікація перетворювачів частоти

На рисунку 1.1 наведено умовну класифікацію перетворювачів частоти, у якій виділено чотири класифікаційні ознаки.

Залежно від величини номінальної напруги перетворювачі бувають низьковольтними (220 В, 380 В, 660 В) і високовольтними (1140 В, 3 кВ, 6 кВ, 10 кВ).

Розрізняють два основні принципи керування перетворювачами частоти – скалярне і векторне. При скалярному керуванні відбувається формування фазних напруг на основі заданих значень амплітуди і частоти, які отримуються шляхом широтноімпульсної модуляції (ШІМ).

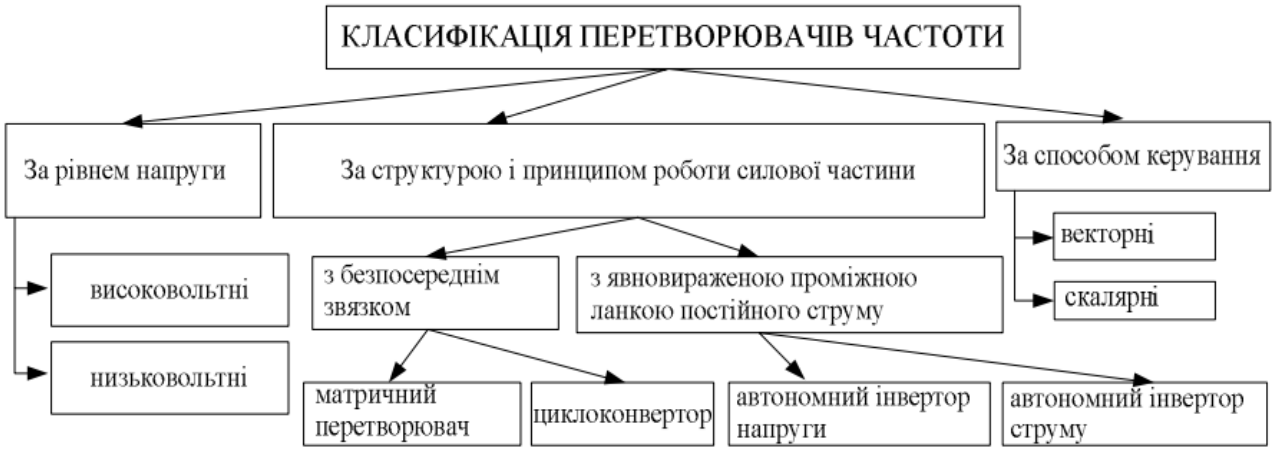


Рисунок 1.1 – Класифікація перетворювачів частоти

Скалярне керування забезпечує постійну перевантажувальну здатність електропривода незалежно від частоти напруги. Це означає, що електропривод може працювати з постійним навантаженням навіть при зміні частоти напруги, що подається на двигун. Однак при низьких частотах відбувається зниження моменту, який створюється двигуном. Це пов'язано з тим, що магнітне поле, яке генерується в двигуні, стає слабшим при зниженні частоти.

Максимальний діапазон регулювання швидкості обертання ротора при незмінному моменті опору для електроприводів зі скалярним керуванням досягає 1:10. Це означає, що швидкість обертання ротора може змінюватися в межах від 10% до 100% від номінальної швидкості при збереженні постійного моменту.

Розширення діапазону регулювання швидкості обертання ротора може здійснюватися за допомогою IR або IZ компенсації (Boost).

IR компенсація (компенсація падіння напруги на обмотках статора) дозволяє компенсувати втрати напруги на обмотках двигуна, що особливо важливо при низьких частотах. Це допомагає підтримувати необхідний момент при низьких швидкостях обертання.

IZ компенсація включає в себе компенсацію імпедансу обмоток статора, що дозволяє покращити характеристики моменту і швидкості в широкому діапазоні частот. Вона забезпечує додатковий струм для підвищення моменту на

низьких частотах, що допомагає уникнути зниження моменту при зменшенні частоти напруги.

Переваги та обмеження скалярного керування.

Переваги:

- Простота реалізації: Скалярне керування простіше в реалізації порівняно з векторним керуванням, що робить його доступним та менш затратним варіантом для багатьох застосувань.

- Ефективність на високих швидкостях: При високих частотах скалярне керування забезпечує стабільний момент та продуктивність двигуна.

Обмеження:

- Зниження моменту на низьких частотах: Одним із основних обмежень є зниження моменту на низьких частотах, що може бути критичним для деяких застосувань.

- Обмежений діапазон регулювання швидкості: Максимальний діапазон регулювання швидкості обмежений до 1:10 без додаткових заходів компенсації.

Цей принцип є найпростішим способом реалізації частотного керування і використовується для привода механізмів, які не висувають високих вимог до якості регулювання швидкості, зокрема насосів, вентиляторів, компресорів. Ці механізми мають великий потенціал для енерго- та ресурсозбереження, які успішно реалізуються при впровадженні даного типу перетворювачів.

Недоліки скалярного керування без зворотних зв’язків (при законі керування U/f = const) включають: низьку якість регулювання швидкості як керуючої, так і збурюючої дії; відсутність режиму роботи на упор (при надмірних моментах навантаження привод вимикається під дією струмового захисту); складність реалізації керування потокозчепленням у функції моменту двигуна.

Для реалізації більш складних законів керування застосовуються замкнені системи регулювання з різними зворотними зв'язками. Скалярні закони керування значно спрощуються, якщо регулювати струм статора, а не напругу.

Така система електропривода має значно кращі динамічні показники та статичні характеристики порівняно з частотним скалярним керуванням напруги статора, забезпечуючи обмеження моменту двигуна на заданому рівні незалежно від швидкості двигуна.

Основними недоліками скалярного частотно-струмового керування є:

- Втрата контролю за моментом двигуна в перехідному режимі через високу інерційність контуру регулювання.

- Забезпечення незмінності магнітного потоку для статичного режиму роботи через формування струму статора у функції абсолютного ковзання.

- Усереднення відображення системи трифазних струмів через контроль струму статора постійним випрямленим струмом.

До другого принципу систем керування належить векторне керування, яке забезпечує характеристики асинхронного двигуна, близькі до регульованого електропривода постійного струму. Ці властивості досягаються завдяки розділенню каналів регулювання потокозчеплення та швидкості обертання електродвигуна, що неможливо при використанні скалярного керування.

На сьогодні існують два основні класи систем векторного керування: бездатчикові системи (без датчика швидкості на валу двигуна) і системи зі зворотним зв'язком за швидкістю. Вибір методу векторного керування визначається галуззю використання електропривода.

Бездатчикове векторне керування застосовується в тих випадках, коли діапазон зміни швидкості не перевищує 1:100, а вимоги до точності становлять не більше ±0,5 %. Це рішення дозволяє зменшити витрати на обладнання, оскільки не потребує додаткових датчиків швидкості. Бездатчикові системи є ефективними в умовах, де відносно невеликі зміни швидкості є прийнятними і немає високих вимог до точності керування. Такі системи зазвичай використовуються в вентиляційних системах, насосах та інших механізмах, де стабільність швидкості не є критично важливою.

Векторне керування зі зворотним зв'язком за швидкістю.

Для випадків, де швидкість обертання вала двигуна змінюється в широких межах (до 1:10000 і більше) і висуваються високі вимоги до точності підтримки швидкості обертання (до ±0,02 % при частотах обертання менше 1 Гц), використовуються методи векторного керування зі зворотним зв'язком за швидкістю. Ці системи забезпечують високу точність контролю, що робить їх незамінними в таких галузях, як машинобудування, робототехніка, високоточне виробництво та інші. Векторне керування зі зворотним зв'язком також є необхідним у випадках, коли потрібно точне позиціонування вала або регулювання моменту на валу двигуна при дуже низьких частотах обертання. Додатковий датчик швидкості дозволяє точно вимірювати і контролювати швидкість, забезпечуючи високу ефективність і надійність системи.

Таким чином, вибір між бездатчиковим векторним керуванням і векторним керуванням зі зворотним зв'язком за швидкістю залежить від конкретних вимог до системи, зокрема від діапазону зміни швидкості та необхідної точності керування.

Використання векторного керування має наступні переваги:

– висока точність регулювання швидкості;

– плавне, без ривків, обертання двигуна в області малих частот;

– здатність забезпечення номінального моменту на валу при нульовій швидкості (за наявності датчика швидкості);

– швидка реакція на зміну навантаження: при різких стрибках навантаження практично не відбуваються стрибки швидкості;

– забезпечення такого режиму роботи двигуна, при якому знижуються втрати на нагрівання і намагнічування, підвищення ККД.

1.2 Перетворювачі частоти з проміжною ланкою постійного струму

На рисунку 1.2 наведена структурна схема перетворювача частоти з проміжною ланкою постійного струму. В таких перетворювачах змінна напруга живильної мережі випрямляється за допомогою керованого випрямляча В, згладжується фільтром Ф і подається на автономний інвертор АІ. Функції регулювання частоти вихідної напруги здійснює інвертор, а напруги — випрямляч. Інколи обидві функції суміщає інвертор, а випрямляч виконують некерованим.

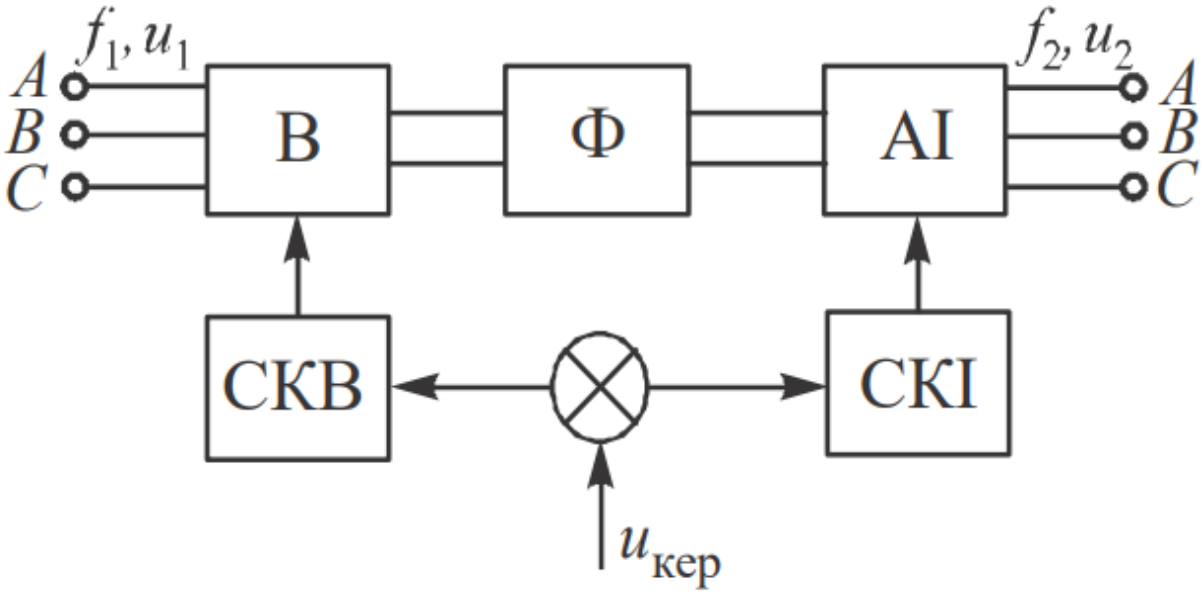


Рисунок 1.2 – Схема ПЧ з проміжною ланкою постійного струму

Перетворювачі з проміжною ланкою постійного струму дозволяють регулювати вихідну частоту за допомогою системи керування інвертора (СКІ) у широкому діапазоні як вгору, так і вниз від частоти живильної мережі. Цей тип перетворювачів частоти має просту силову схему та систему керування; вихідна частота перетворювача може бути як нижчою, так і вищою за вхідну і не залежить від неї.

Основним недоліком перетворювачів частоти з проміжною ланкою постійного струму є подвійне перетворення енергії — випрямлення та інвертування, що знижує ККД і погіршує масо-габаритні показники.

У перетворювачах частоти з проміжною ланкою постійного струму можливо здійснювати двосторонній обмін електроенергією між споживачем і живильною мережею. Для цього потрібні повністю керовані вентилі з двосторонньою провідністю (повністю керовані ключі змінного струму). Проте обмін енергією можна реалізувати і без застосування повністю керованих ключів змінного струму за допомогою схемних рішень.

У схемі однофазного перетворювача частоти на рисунку 1.3 керований випрямляч КВ живить інвертор І на повністю керованих вентилях. Мости зворотного струму МЗ і повернення реактивного струму МП забезпечують пропуск реактивного струму навантаження. Під час рекуперації енергії міст МЗ функціонує як випрямляч, а міст МП — як інвертор.

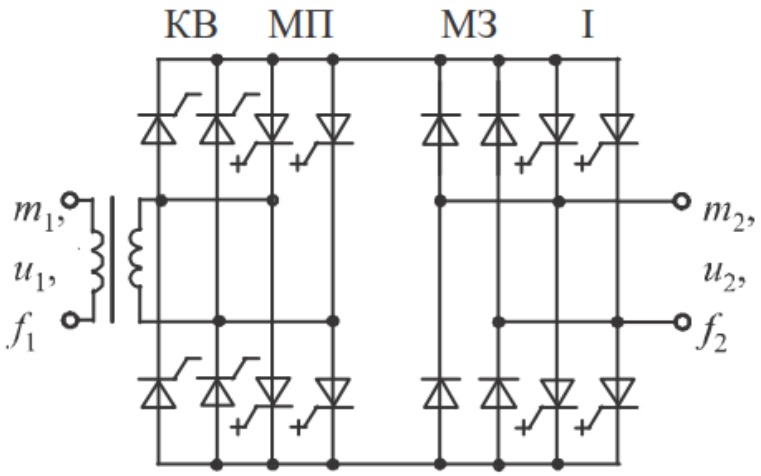


Рисунок 1.3 – Схема однофазного ПЧ

Поліпшити гармонічний склад вихідної напруги в таких перетворювачах можна способами, які були розглянуті раніше для автономних інверторів.

1.3 Перетворювачі частоти з безпосереднім зв’язком

Перетворювач частоти з безпосереднім зв’язком являє собою керований випрямляч, виконаний на базі тиристорів. Система керування почергово відкриває групи тиристорів і підключає обмотки статора двигуна до мережі живлення.

Таким чином, вихідна напруга перетворювача формується із «вирізаних» ділянок синусоїди вхідної напруги. На рисунку 1.4 показано приклад формування вихідної напруги для однієї з фаз навантаження. На вході перетворювача отримується трифазна синусоїдальна напруга u_a, u_b, u_c . Напруга на виході $u_{вих}$ має несинусоїдальну «пилоподібну» форму, яку умовно можливо апроксимувати синусоїдою (товста лінія).

«Різана» синусоїда на виході перетворювача є джерелом вищих гармонік, які викликають додаткові втрати в електричному двигуні, перегрівання електричної машини, зниження моменту, перешкоди в мережі живлення.

Використання компенсуючих пристроїв призводить до підвищення вартості, маси, габаритів, зниження ККД системи в цілому.

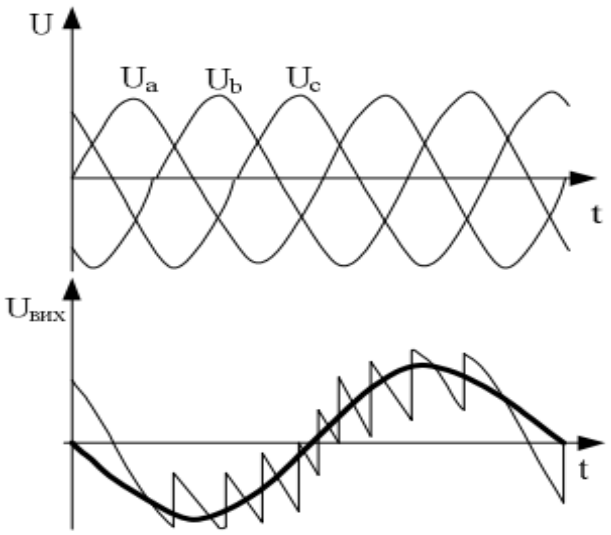


Рисунок 1.4 – Приклад формування вихідної напруги для однієї з фаз навантаження для ПЧ з безпосереднім зв’язком

Проте перетворювачі з безпосереднім зв’язком мають також і переваги:

– практично найвищий ККД відносно інших перетворювачів (до 98 %);

– здатність працювати з високими напругами і струмами, тобто використання їх у потужних високовольтних електроприводах;

– відносно невисока вартість, не дивлячись на підвищення абсолютної вартості за рахунок схем керування і додаткового обладнання.

До даного виду перетворювачів належать циклоконвертори і матричні перетворювачі.

Циклоконвертор містить реверсивні тиристорні перетворювачі, які об'єднані таким чином, що на виході утворюється трифазна система випрямлених напруг. Ці напруги мають середнє значення, яке змінюється за синусоїдальним законом. Основна гармоніка на виході може регулюватися в діапазоні від нуля до 20-25 Гц. Це обмеження зумовлене необхідністю мінімізувати вплив низькочастотних гармонік, які можуть негативно впливати на роботу електричної машини.

Циклоконвертор складається з реверсивних тиристорних перетворювачів, що забезпечують зміну напрямку струму в обмотках електричної машини. Тиристори працюють у режимі безпосереднього перетворення з циклічним керуванням та широтно-імпульсною модуляцією (ШІМ). Це дозволяє досягти плавного регулювання вихідної частоти та напруги.

Основні компоненти циклоконвертора:

Тиристорні ключі К1-К3 (рисунок 1.5). Ці ключі працюють у режимі безпосереднього перетворення, тобто здійснюють пряме перетворення змінного струму в обмотках машини без проміжних ланок постійного струму. Ключі керуються за допомогою ШІМ, що дозволяє точно регулювати вихідну напругу і частоту.

Накопичувальний дросель (L). Дросель служить для накопичення енергії струму і забезпечує стабільну роботу системи. Він допомагає зменшити пульсації струму і забезпечує плавне перетворення енергії.

Накопичувальний конденсатор. Енергія, накопичена в дроселі, передається через ключ К4 до накопичувального конденсатора. Це дозволяє підвищити вихідну напругу порівняно з вхідною, забезпечуючи необхідні параметри для роботи електричної машини.

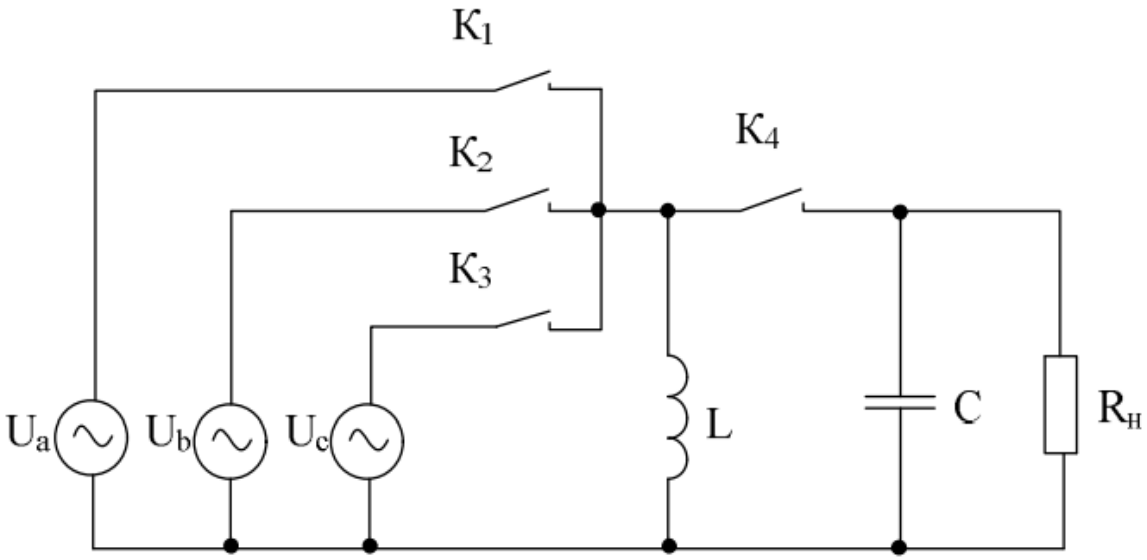


Рисунок 1.5 – Структурна схема циклоконвертора

Переваги та недоліки циклоконверторів

Переваги:

- Можливість роботи при низьких частотах: Циклоконвертори можуть ефективно працювати при частотах від нуля до 20-25 Гц, що робить їх придатними для застосувань, де потрібні низькі частоти.
- Гнучкість у регулюванні напруги і частоти: Завдяки використанню ШІМ і циклічного керування, циклоконвертори дозволяють точно регулювати вихідні параметри.
- Енергоефективність: Циклоконвертори забезпечують високу ефективність перетворення енергії, що зменшує втрати і покращує загальну продуктивність системи.

Недоліки:

- Вплив низькочастотних гармонік: Незважаючи на можливість роботи при низьких частотах, циклоконвертори можуть створювати низькочастотні гармоніки, які впливають на роботу електричної машини і можуть викликати вібрації та інші небажані ефекти.
- Складність конструкції: Циклоконвертори мають складну конструкцію, що включає велику кількість тиристорів і додаткових компонентів, що може ускладнити їх обслуговування і підвищити вартість.

Циклоконвертори широко застосовуються в промислових установках, де потрібне точне регулювання частоти і напруги. Вони використовуються в системах приводу великих електричних машин, зокрема, в прокатних станах, кранах, ліфтах і вітрових турбінах. Завдяки своїм властивостям, циклоконвертори дозволяють забезпечити надійну і стабільну роботу електричних машин в різних умовах експлуатації.

Циклоконвертор дозволяє отримувати дуже низькі частоти для електроприводів потужних механізмів, які потребують низьких швидкостей. Проте високий рівень і різноманітність гармонік вихідної напруги та вхідних струмів, особливо низькочастотних гармонік, ускладнюють їх фільтрацію, що призводить до негативних наслідків.

Матричний перетворювач є універсальним пристроєм для перетворення електричної енергії, що дозволяє здійснювати будь-які перетворення між двома системами. На рисунку 1.6, (а) показана схема матричного перетворювача, де ключі є повністю керованими симетричними двонапрямленими ключами (рисунок 1.6, (б). У цій схемі можливо приєднати будь-яку фазу на виході до будь-якої фази на вході, а також замкнути всі фази на виході (нульова напруга). Для формування вихідної напруги необхідної величини потрібно підключитися

до фази з найближчим рівнем напруги. Завжди існують два рівні необхідного знака та один нульового рівня.

Головним недоліком матричних перетворювачів є необхідність перериву струму в індуктивних колах.

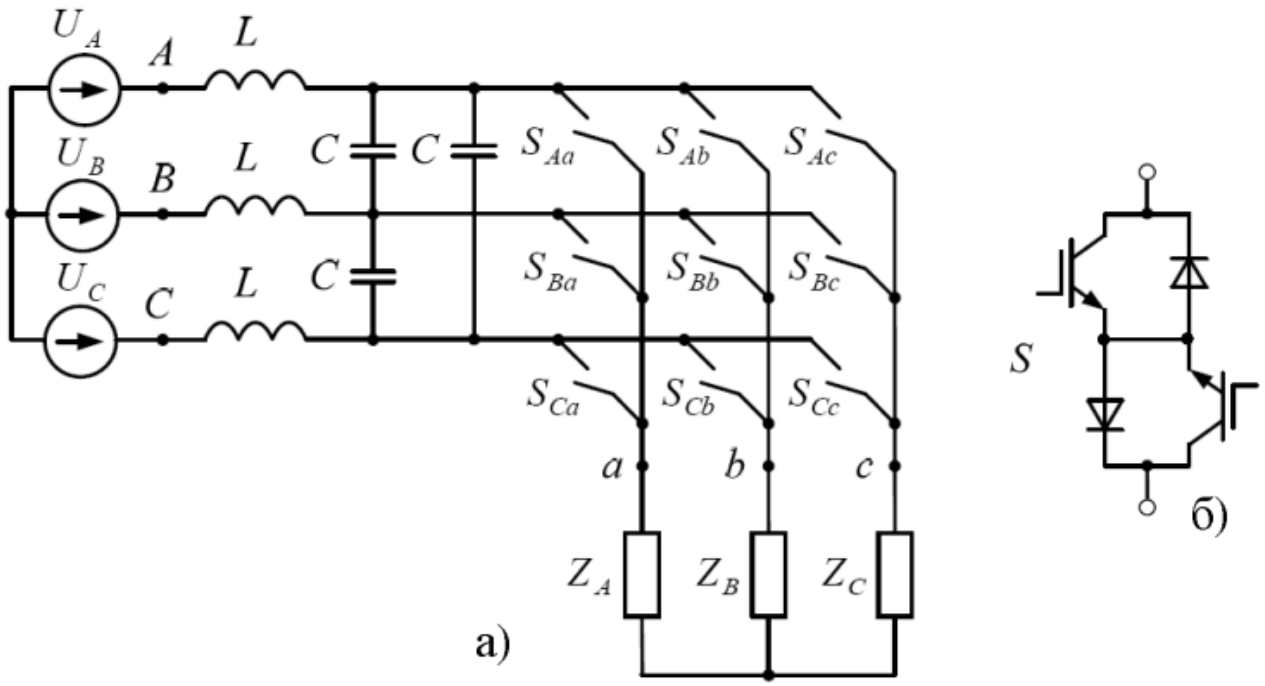


Рисунок 1.6 – Структурна схема матричного перетворювача частоти (а) і схема симетричного двонаправленого ключа (б)

Основними перевагами матричного перетворювача є:

– однократне перетворення електроенергії;

– відсутність ланки постійного струму;

– двосторонній обмін енергією між мережею живлення і двигуном;

– чотириквадрантний режим роботи електродвигуна;

– вхідний струм близький до синусоїди;

– керований коефіцієнт потужності близький до одиниці.

Ці частотні перетворювачі застосовуються для машин з подвійним живленням у вітрогенераторах, в електронних системах стабілізації частоти при змінній швидкості обертання вала, а також у високодинамічних електроприводах, які повертають енергію гальмування назад у мережу.

1.4 Рекомендації щодо вибору перетворювачів частоти

Вибір правильного перетворювача є надзвичайно важливим, оскільки від нього залежить ефективність і тривалість роботи як самого перетворювача частоти, так і всього електропривода. Якщо потужність перетворювача буде завищеною, він не зможе належним чином захистити двигун. У той же час, недостатня потужність перетворювача не дозволить забезпечити високодинамічний режим роботи, що може призвести до його перевантаження і виходу з ладу.

Правильна експлуатація також суттєво впливає на термін служби перетворювача. Під час вибору перетворювача частоти слід враховувати не лише потужність двигуна, але і діапазон робочих швидкостей, діапазон робочих моментів обертання, характер навантаження та циклограму роботи.

1. **При роботі одного ПЧ з одним двигуном** вибір ПЧ може виконуватися декількома способами:

1.1 Паспортна потужність перетворювача частоти ($P_{пч}$) повинна бути не меншою, ніж паспортна потужність двигуна ($P_{дв}$). Виробники ПЧ зазначають, що цей критерій застосовується до двигунів з двома парами полюсів (2p = 4), з синхронною швидкістю обертання 1500 об/хв, які працюють з постійним моментом навантаження (наприклад, транспортери, конвеєри). Це стосується перетворювачів з перевантажувальною здатністю 150 %, а також двигунів, що працюють зі змінним навантаженням (наприклад, насоси, вентилятори), для перетворювачів з перевантажувальною здатністю 120 %.

ПЧ з перевантажувальною здатністю 150 % іноді можна вибирати з меншою потужністю, ніж паспортна потужність двигуна, особливо для роботи з відцентровим насосом. Багато виробників вказують номінальні струми і потужності ПЧ при роботі на змінний і постійний струм.

1.2 Номінальний тривалий струм ПЧ $I_{пч}$ ном повинен бути більшим (або рівним) фактичного тривалого струму $I_{спож}$, який споживається двигуном

1.3 Більш точні критерії вибору ПЧ для різних умов використання привода:

а) робота двигуна при сталій швидкості.

Якщо ПЧ працює з одним двигуном, необхідна повна пускова потужність ПЧ розраховується наступним чином:

$$\left[\frac{k \cdot n}{9550 \cdot \eta \cdot cos\,\varphi} \times \left(M_C + \frac{J \cdot n}{9{,}55 \cdot t}\right)\right] \le 1{,}5 \times P_{пч} \qquad (1.1)$$

Струм, який споживається двигуном при роботі від перетворювача частоти при напрузі мережі U = 220/ 380 В, розраховується за виразом:

$$I_{спож} = \frac{k \cdot n \cdot M}{9{,}55 \cdot \eta \cdot cos\,\varphi \cdot U_{л} \cdot \sqrt{3}} \qquad (1.2)$$

де: k = 0,95 ÷1,05 – коефіцієнт спотворення струму, зв’язаний з алгоритмом формування синусоїди струму за допомогою ШІМ (широтно-імпульсної модуляції на двигуні);

n – частота обертання вала двигуна, об/хв;

M – момент навантаження на валу двигуна, Нм;

9,55 – коефіцієнт приведення несистемних одиниць;

η – коефіцієнт корисної дії двигуна;

t – час розгону двигуна до номінального значення швидкості обертання;

$U_л$ – діюче значення лінійної напруги, В;

cos φ – коефіцієнт потужності зі специфікації на двигуна.

Можливо вибрати номінальний струм двигуна з його специфікації.

Струм, який споживається двигуном, повинен бути меншим за номінальний струм ПЧ, наведеного в специфікації.

б) здатність розгону двигуна перетворювачем від меншої швидкості до більшої за заданий час t.

За цим критерієм перевіряється здатність перетворювача запускати та розганяти двигун до заданої швидкості обертання вала в потрібний час, не перевищуючи при цьому перевантажувальної здатності перетворювача.

За формулою (1.3) розраховуємо струм, споживаний двигуном при лінійному розгоні (у даному випадку похідну кутової швидкості можна замінити на відношення приросту частоти обертання з приведенням несистемних одиниць за допомогою коефіцієнта 9,55) від перетворювача частоти:

$$I_{сп} = \frac{k \cdot n}{9{,}55 \cdot \eta \cdot cos\,\varphi \cdot U_{л} \cdot \sqrt{3}} \cdot (M_C + M_Д) \qquad (1.3)$$

де *Мс* – статичний момент навантаження на валу двигуна, Нм;

Мд – динамічний момент навантаження, який виникає при розгоні інерційного навантаження, Нм;

J – приведений до вала двигуна момент інерції навантаження, 2 кг ·м (якщо вал двигуна не зв’язаний з інерційними механізмами чи двигун працює у режимі неробочого ходу, то приведений момент інерції дорівнює моменту інерції ротора двигуна);

n – частота обертання, до якої необхідно розігнати двигун за проміжок часу.

Струм, який споживається двигуном при розгоні, не повинен перевищувати пусковий струм, наведений в специфікації на ПЧ. Час розгону двигуна при пусковому струмі 150 % (120 % для ПЧ, що живлять ЕД насосів) від номінального перетворювача, звичайно, не повинно перевищувати 60 с.

Для розрахунку повної споживаної двигуном потужності в номінальному стійкому режимі використовується наступна залежність:

$$S_{спож} = \frac{k \cdot P_{дв}}{\eta \cdot cos\,\varphi} \quad (1.4)$$

де $P_{дв}$ – номінальна потужність двигуна, кВт.

2. При роботі одного ПЧ з декількома двигунами вибір ПЧ може проводитися на основі дотримання наступних нерівностей:

- повна пускова потужність, необхідна двигуну;
- пусковий струм, необхідний двигуну.

Загальні зауваження щодо вибору та експлуатації перетворювача

А. Якщо використовується спеціальний двигун чи більше одного двигуна увімкнених паралельно до одного ПЧ, необхідно вибирати ПЧ з номінальним струмом Іпч ном ≥ 1,25 Іном номінального струму спеціального двигуна чи суми номінальних струмів усіх увімкнених в паралель двигунів.

Б. Характеристики пуску та розгону/гальмування двигуна обмежуються номінальним струмом і перевантажувальною здатністю ПЧ. Якщо потрібен високий пусковий струм (наприклад, для центрифуг, підйомників тощо), ПЧ вибирають із запасом по потужності або використовують перетворювачі більшої потужності.

В. Якщо ПЧ вимикається через спрацювання одного із захистів, напруга на виході інвертора буде відключена, і двигун буде гальмуватися в режимі вибігу. Для швидкої зупинки двигуна при аварійному відключенні використовують зовнішнє механічне гальмо.

Г. Кількість повторних пусків ПЧ командами ПУСК/СТОП необмежена, якщо інвертор не перевантажується. В іншому випадку кожен наступний запуск

двигуна від ПЧ має відбуватися не раніше ніж через 5-10 хвилин (час, необхідний для охолодження IGBT модуля) за наступних умов:

- вихідний струм при пуску двигуна вих I ≥ 150 % Іном протягом 60 с, далі робота ПЧ при номінальному струмі;

- температура повітря для охолодження ПЧ + 40°С.

Зауваження при установці параметрів:

А. ПЧ може видавати вихідну частоту до 400 Гц (крім деяких моделей) при заданні її із цифрової панелі. Помилкове завдання високої частоти може привести до руйнування механізму. Для недопущення таких ситуацій рекомендується встановлювати в параметрах жорстке обмеження вихідної частоти.

Б. Тривала робота двигуна на низькій швидкості або високий рівень гальмівної напруги постійним струмом можуть призвести до перегріву двигуна. У таких випадках рекомендується використовувати додаткову вентиляцію двигуна.

В. Фактичний час розгону двигуна визначається номінальним моментом двигуна, моментом обертання і моментом інерції навантаження.

Г. Якщо активовано функцію обмеження перенапруги в ланці постійного струму, час гальмування може автоматично збільшуватися. Для швидкого гальмування високоінерційних навантажень слід використовувати гальмівний резистор або вибрати ПЧ більшої потужності.

1.5 Висновок до розділу 1

В першому розділі було розглянуто передумови використання частотних перетворювачів, їх типи та технічні особливості кожного з них.

Перетворювачі частоти є важливими пристроями, які широко використовуються для керування частотою обертання електродвигунів у різних

галузях. Вони перетворюють змінний струм однієї частоти на струм іншої частоти, забезпечуючи таким чином гнучке і енергоефективне керування електроприводами. Існує кілька типів частотних перетворювачів, кожен з яких має свої переваги і недоліки.

Вибір між різними типами перетворювачів частоти залежить від конкретних вимог до системи та умов експлуатації. Частотні перетворювачі з проміжною ланкою постійного струму, наприклад, забезпечують високу ефективність та надійність, але їх конструкція складніша і може бути дорожчою.

Використання частотних перетворювачів стає невід'ємною частиною сучасних електроприводних систем, сприяючи підвищенню ефективності, надійності та економічності промислових процесів.

2 МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ НАСОСНИМИ СТАНЦІЯМИ КП «ВОДОКАНАЛ» МІСТА ЗАПОРІЖЖЯ

2.1 Основні відомості про підприємство

Водопостачання та водовідведення у м. Запоріжжя здійснюється комунальним підприємством «Водоканал».

Джерелом водопостачання є річка Дніпро вище греблі. Виробнича потужність міського водопроводу становить 649 тис. м³ на добу. Водозабірні споруди ДВС-1 розташовані на лівому березі, а ДВС-2 – на правому.

Проектна продуктивність Дніпровської водопровідної станції лівого берега (ДВС-1) становить 519 тис. м³ на добу. Споруди ДВС-1 складаються з блоків № 1 і № 2, кожен з яких включає: насосну станцію першого підйому (забір води з річки), споруди для очищення води, насосну станцію другого підйому (подача води в місто). Після очищення вода насосами другого підйому подається на ділянки споруд третього підйому «Павло-Кічкас», «Леваневського», «Шевченко».

Проектна продуктивність ДВС-2 становить 130 тис. м³ на добу. Споруди ДВС-2 включають: насосну станцію першого підйому, блок очисних споруд, насосну станцію другого підйому. Основний обсяг води споживається в північній частині правобережжя, що межує з головними спорудами; у південну частину вода подається транзитним водоводом на ділянку споруд третього підйому Хортицького житлового масиву. Системи лівого та правого берегів мають гідравлічний зв'язок, прокладений через греблю.

Стічні води міста через систему каналізаційних колекторів і насосних станцій надходять на очисні споруди. Вони проходять механічне та біологічне очищення на Центральних очисних спорудах лівого берега (ЦОС-1) з проектною потужністю 280 тис. м³ на добу та на Центральних очисних спорудах правого берега (ЦОС-2) з проектною потужністю 110 тис. м³ на добу.

Загальна установлена пропускна спроможність промпобутової каналізації складає 390 тис.м³ на добу.

Всього на балансі підприємства експлуатуються:

- 2 крупні насосні станції (ДВС) 1-го та 2-го підйомів,
- 25 насосних станцій (ВНС) загального призначення у т.ч. 4 крупних основних ВНС 3-го підйому,
- 44 каналізаційні станції (КНС),
- 2 комплекси очисних споруд (ЦОС).

Старі проектні рішення для насосних агрегатів передбачали запас продуктивності та напору в межах 25-30%. Наразі фактичне навантаження значно знизилося, і багато насосних станцій працюють на 40-50% нижче проектних показників періоду 1980-1990-х років. На більшості об’єктів КП «Водоканал» модернізація насосних агрегатів вже виконана, зокрема встановлені перетворювачі частоти (ПЧ). Частка об’єктів залишилася не охопленими процесом модернізації і пропонується виконати їх модернізацію

Пропонується встановити перетворювачі частоти (ПЧ) на насосні агрегати водопровідних насосних станцій. Це дозволить звести споживання електроенергії на насосних станціях до технологічного мінімуму та підтримувати цей мінімум незалежно від навантаження і сезонних факторів.

Економічна ефективність заходів із встановлення ПЧ забезпечується за рахунок зниження платежів за електроенергію. Додатковий позитивний результат при впровадженні заходів буде спостерігатися у наступному:

- покращується Cos φ установки (Cos φ>0,95)
- знижується зношування запірної арматури, тому, що більшу частку часу засувки повністю відкриті,
- зменшуються витрати води із-за протічок в мережах за рахунок роботи насосів на понижених тисках,

- зменшується зношення комутаційного обладнання, тому, що переключення виконуються при відсутності великих токів,
- зменшується зношення механічного обладнання (підшипників, сальників, тощо) за рахунок плавної зміни кількості обертів і відсутності великих пускових токів,
- зменшується небезпека аварій за рахунок виключення гідравлічних ударів,
- забезпечується одночасний захист двигуна від міжфазних к.з. та к.з. на землю,
- неповнофазного режиму роботи, захист від перенапруг та низької напруги, тепловий захист двигуна та перетворювача від перевантажень,
- зменшується рівень шуму,
- спрощується подальша комплексна автоматизація об’єктів водозабезпечення.

Узагальнені дані про склад електродвигунів та наявність встановлених приладів ПЧ наведені в таблиці 2.1. Всього на даний час на об’єктах підприємства встановлено: ППЧ – 39 одиниць, ППП – 27 одиниць.

Таблиця 2.1 — Дані про склад електродвигунів та наявність встановлених приладів ПЧ

Найменування	Од. вим.	Основне обладнання без ЧРП	Основне обладнання з встановленим ЧРП	Всього
Загальна кількість електродвигунів, у т.ч.:	шт.	222	47	269
з живленням від високої напруги	шт.	62	4	66
із живленням від низької напруги	шт.	160	43	203

Дані про обсяги споживання електроенергії і реалізацію питної води за 3 роки наведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 — Обсяги споживання електроенергії і реалізацію питної води

Найменування	Од. вим.	2010	2011	2012
Обсяги споживання електричної енергії	млн.кВт·год	60,8	57,0	54,2
Обсяги реалізація питної води	тис.м³	61 036	56 269	54 382
Питомі витрати електричної енергії	Вт.г/м³	997	1 013	997

2.2 Вибір об’єктів модернізації

Для оцінки можливостей економії енергоресурсів, пропонується розглянути наступні об’єкти, що наведені у таблиці 2.3.

За результатами розрахунків, через відсутність потенціалу економії, об'єкт «ДВС-1,1 підйом, **блок 2**» із загального складу проекту **виключено.**

Таблиця 2.3 — Перелік об’єктів

№	Найменування об'єкту, найменування обладнання	Призначення	Напрямок модернізації
	Дніпровська водопровідна станція №1 (ДВС-1)	Забір води с джерел та її обробка	
1	ДВС-1,1 підйом, блок 1	Подача води в технологічну мережу	Встановити ПЧ
2	ДВС-1,1 підйом, блок 2	Подача води на мікрофільтри	Встановити ПЧ
3	*ВНС «Хортицька»* Група НА подачі води в мережі	Забезпечення питною водою Хортицького р-на, о.Хортиця, ЦОС-2, с. Бабурка, с. Нижня Хортиця, с. НовоСлободка, Подача води в мережі споживачів	Встановити ПЧ

2.3 Технічна оцінка

Технічний стан ДВС-1, 1 підйом, блок 1. Перелік та характеристики електродвигунів наведені в таблиці 2.4. Дані розрахунків споживання електроенергії, обсягів подачі води, питомих витрат електроенергії наведені в таблиці 2.5. Дані технологічних режимів роботи наведені в таблиці 2.6.

Таблиця 2.4 — Перелік та характеристики електродвигунів ДВС-1,1 підйом, блок 1

Двигун						Насос					
Найменування обладнання	Тип	Потужність, кВт	Напруга, В	Оберти, об/хв	Рік випуску	Рік випуску	Номінальна продуктивність, м³/год	Напір, м	ККД	Фактична продуктивність, м³/год	Часи роботи на протязі року, год/рік
Насосний агрегат №1 типу 20 НДС В	ДАВ 500-750	370	6000	700	1950	1937	2700	40	88	3200	223
Насосний агрегат №2 типу 20 НДС В	ДАВ 500-750	370	6000	700	1979	1937	2700	40	88	2750	1582
Насосний агрегат №3 типу 20 НДС В	АБВ 360-750	360	6000	740	1937	1937	2700	40	88	3200	1349
Насосний агрегат №4 типу 12 НДС	А 11-41-4	320	6000	1480	1980	1962	1100	39	88	1300	2618
Насосний агрегат №5 типу 20 НДС	А-12-42-8А	250	6000	750	1962	1962	2700	39	88	2500	782
Насосний агрегат №6 типу 20 НДС	А-13-42-8	400	6000	735	1972	1972	2700	39	88	2750	1394
Насосний агрегат №1А типу 20 НДС	А-13-52-84	500	6000	750	1963	1963	2700	39	88	2900	3023

Таблиця 2.5 – Дані розрахунків усереднених показників ДВС-1, 1 підйом, блок 1

	Насосний агрегат	Потужність	Часи роботи за рік	Споживання електроенергії	Фактична продуктивність	Обсяг води	Питомі витрати ел.енергії
		кВт	год	т.кВт·год	м³/год	т.м³	кВт/м³
1	НА-1	370	233	82,5	3200	713,6	0,116
2	НА-2	370	1582	585,3	2750	4350,5	0,135
3	НА-3	360	1349	485,6	3200	4316,8	0,113
4	НА-4	320	2618	837,8	1300	3403,4	0,246
5	НА-5	250	782	195,5	2500	1955,0	0,100
6	НА-6	400	1394	557,6	750	3833,5	0,145
7	НА-7	500	3023	1511,5	2900	8766,7	0,172
	Всього		**10971**	**4255,9**	**2657**	**27339,5**	**0,156**
	Усереднення по 4-м основним НА						
	Всього по НА 2,3,6,7	**407,5**		**3140,1**	**2900**	**21268**	**0,148**

Таблиця 2.6 – Дані технологічних режимів роботи

Найменування	од.вим.	Блок 1
Вид навантаження		в технологічну мережу
Продуктивність	м³/год	
Проектна максимальна продуктивність	м³/год	14000
Мінімальна фактична продуктивність	м³/год	1600
Максимальна фактична продуктивність	МПа	5000
Тиск води на виході станції		0,25
Обсяги прокачування води		
Обсяги прокачування води за рік	тис.м³	31628
Обсяги прокачування води за місяць (зима)	тис.м³	2570
Обсяги прокачування води за місяць (літо)	тис.м³	3184

Продовження таблиці 2.6

Споживання електроенергі		
Обсяги споживання електроенергії за рік	тис.кВт.год	8099
Обсяги споживання електроенергії за місяць (зима)	тис.кВт.год	556
Обсяги споживання електроенергії за місяць (літо)	тис.кВт.год	
Насосні агрегати		7
Загальна кількість	шт.	1
Кількість в роботі (в стаціонарному режимі)	шт.	

Технічний стан ДВС-1, 1 підйом, блок 2.

Перелік та характеристики електродвигунів наведені в таблиці 2.7. Дані розрахунків споживання електроенергії, обсягів подачі води, питомих витрат електроенергії наведені в таблиці 2.8. Дані технологічних режимів роботи наведені в таблиці 2.9.

Таблиця 2.7 – Перелік та характеристики електродвигунів ДВС-1, 1 підйом, блок 2

Двигун							Насос				
Назва	Тип	Потужність, МВт	Напруга, кВ	Оберти, об/хв	Рік випуску	Cos φ	Рік випуску	Номінальна продуктивність, м³/год	Напір, м	Фактична продуктивність, м³/год	Часи роботи на протязі року, год/рік
Насосний агрегат №1 типу 28В-12	СДВ-16-3110У4	1	6	600	1979	1	1962	4500	55	5200	4852
Насосний агрегат №1 типу 28В-12	СДВ-16-3110У4	1	6	600	1979	1	1962	4500	55	5300	325
Насосний агрегат №3 типу 28В-12	СДВ-16-3110У4	1	6	600	1979	1	1962	4500	55	5200	1995
Насосний агрегат №4 типу 28В-12	СДВ-16-3110У4	1	6	600	1979	1	1962	4500	55	5100	1946

Таблиця 2.8 – Дані розрахунків усереднених показників ДВС-1, 1 підйом, блок 2

	НА	Потужність	Години роботи на протязі року	Споживання ел.енергії	Обсяг води	Питомі витрати ел.енергії
		кВт	год	т.кВт·год	т.м³	кВт/м³
1	НА-1	1000	4852	4852,0	25230,4	0,192
2	НА-2	1000	352	352,0	1865,6	0,189
3	НА-3	1000	1995	1995,0	10374,0	0,192
4	НА-4	1000	1546	1546,0	7884,6	0,196
	Всього	**1000**	**8745**	**8745,0**	**45354,6**	**0,193**

Таблиця 2.9 – Дані технологічних режимів роботи

Найменування	од.вим.	Блок 2
Вид навантаження		в технологічну мережу
Продуктивність		
Проектна максимальна продуктивність	м³/год	18 000
Мінімальна фактична продуктивність	м³/год	5 290
Максимальна фактична продуктивність	м³/год	5 630
Тиск води на виході станції	МПа	0,42
Обсяги прокачування води		
Обсяги прокачування води за рік	тис.м³	44 781
Обсяги прокачування води за місяць (зима)	тис.м³	3 220
Обсяги прокачування води за місяць (літо)	тис.м³	4 141
Споживання електроенергії		
Обсяги споживання електроенергії за рік	тис.кВт.год	16 538
Обсяги споживання електроенергії за рік (зима)	тис.кВт.год	1 363
Обсяги споживання електроенергії за місяць (літо)	тис.кВт.год	1 405
Насосні агрегати		
Загальна кількість	шт.	4
Кількість в роботі (в стаціонарному режимі)	шт.	1

Технічний стан ВНС «Хортицька».

Перелік та характеристики електродвигунів наведені в таблиці 2.10. Дані розрахунків споживання електроенергії, обсягів подачі води, питомих витрат електроенергії наведені в таблиці 2.11. Дані технологічних режимів роботи наведені в таблиці 2.12.

Таблиця 2.10 – Перелік та характеристики електродвигунів ВНС «Хортицька»

Двигун						Насос					
Назва	Тип	Потужність, кВт	Напруга, В	Оберти, об/хв	Рік випуску	Рік випуску	Номінальна продуктивність, м³/год	Напір, м	ККД	Фактична продуктивність, м³/год	Часи роботи на протязі року, год/рік
НА №1 типу Д 4000-95а	А12-52-10	250	6000	590	1995		2430	32	80	1400	77
НА №2 типу Д 4000-95	А4-450у8у3	630	6000	750	1995	2007	3200	55	88	3200	0
НА №3 типу Д 1600-90а	А03355М8 У3	200	380	985	1985		1325	55		1080	8085
НА №4 типу Д 2500-62	А114-8М	250	380	735	1987	2007	1800	34	88	1400	610
НА №5 типу Д 4000-95а	А4-450у8у3	315	6000	750	1995		2490	34	80	2000	6

Таблиця 2.11 – Дані розрахунків усереднених показників ВНС Хортицька

Насосний агрегат	Потужність	Години роботи на протязі року	Споживання електроенергії	Фактична продуктивність	Обсяг води	Питомі витрати ел.енергії
	кВт	год	т.кВт/год	м³/год	т.м³	кВт/м³
НА-1	250	77	19,3	1400	107,8	0,176
НА-2	630	0	0,0	3200	0,0	
НА-3	200	8085	1617,0	1080	8731,8	0,185
НА-4	250	610	152,5	1400	854,0	0,179
НА-5	315	6	1,9	2000	12,0	0,158
Всього	**225**	**8772**	**1788,8**	**1240**	**9693,6**	**0,185**

Таблиця 2.12 – Дані технологічних режимів роботи

Найменування	од.вим.	ВНС «Хортицька»
Вид навантаження		мережі споживачів
Продуктивність		
Проектна максимальна продуктивність	м³/год	3 156,2
Мінімальна фактична продуктивність	м³/год	20,8
Максимальна фактична продуктивність	м³/год	2 400
Тиск води на виході станції	МПа	0,32
Обсяги прокачування води		
Обсяги прокачування води за рік	тис.м³	8 794,8
Обсяги прокачування води за місяць (зима)	тис.м³	690
Обсяги прокачування води за місяць (літо)	тис.м³	810
Споживання електроенергії		
Обсяги споживання електроенергії за рік	тис.кВт·год	936,5
Обсяги споживання електроенергії за місяць (зима)	тис.кВт·год	116,6
Обсяги споживання електроенергії за місяць (літо)	тис.кВт·год	120,2
Насосні агрегати		
Загальна кількість	шт.	5
Кількість в роботі (в стаціонарному режимі)	шт.	1

2.4 Оцінка енергетичних втрат

Оцінка потенціалу економії для ДВС-1, 1 підйом, блок 1.

Дані розрахунків технічних показників роботи обладнання зведені в загальній таблиці 2.13.

У підрозділі «Термін роботи НА» надано дані оцінки завантаження насосних агрегатів (НА) на річному інтервалі, а також визначено умовну середню кількість НА, які працюють протягом року. Встановлено, що в окремі періоди часу можуть працювати по два НА, при цьому один з них може працювати з неповною продуктивністю.

В підрозділі «Обсяги прокачування води» приведені дані розрахунків середньорічної фактичної продуктивності НС.

В підрозділі «Потужність НА» наведено дані розрахунків усередненої електричної потужності агрегатів.

В п.7 наведені значення потужності, що розрахована із значення загального споживання електроенергії, отриманого за вихідними даними, таблиці 2.5, як сума споживання кожного із НА згідно терміну його роботи і паспортної потужності.

Таблиця 2.13 – Дані розрахунків показників обладнання ДВС-1, 1 підйом, блок 1

№	Найменування	Од.вим.	Блок 1
	Термін роботи НА		
1	Кількість годин	год	8760
2	Сума годин роботи всіх НА	год	10 971
3	Кількість НА в роботі		1,25
	Обсяги прокачування води		
	за вихідними даними		
4	Обсяги прокачування води за рік	тис.м³	31 628
5	Продуктивність фактична	м³/год	3 610,5
	Потужність НА		
	розрахунки по терміну роботи НА		

Продовження таблиці 2.13

№	Найменування	Од.вим.	Блок 1
6	За рік (по терміну роботи насосів)	тис.кВт·год	4 256
7	Потужність в середньому	кВт	486
	розрахунки по витраті води		
8	Потужність на валу (в середньому)	кВт	394
9	ККД (двигун)		0,91
10	ККД (насос)		0,88
11	Потужність споживання (в середньому)	кВт	491
12	Розрахункове споживання за рік	тис.кВт·год	4 305
	Потужність на валу		
13	Продуктивність фактична	м³/год	3 611
14	Продуктивність насосу	м³/с	1,003
15	Напір	м	40
16	Потужність на валу	кВт	393,54
	Баланс продуктивності		
17	Продуктивність фактична	м³/год	3 611
18	Продуктивність усереднена на існуючих НА	м³/год	2 900
19	Небаланс продуктивності (недостаюча)	м³/год	711
20	Продуктивність усереднена на НА4	м³/год	1 300
21	Продуктивність фактична допоміжних НА	м³/год	711
22	Кз, завантаження НА по продуктивності (Qф/Qн)		0,547
23	Прокачування за рік, основна частка	тис.м³	25 404
24	Прокачування за рік, додаткова частка	тис.м³	6 224
	Споживання електроенергії		
25	Питомі витрати електроенергії 1	кВт·год/м³	0,148
26	Питомі витрати електроенергії 2	кВт·год/м³	0.246
27	Споживання основним НА	тис.кВт·год	3 751
28	Споживання допоміжним НА	тис.кВт·год	1 532
29	Споживання всього	тис.кВт·год	5 283

В п.11 наведені значення потужності, що розрахована на основі усередненої фактичної продуктивності НС за формулою:

$$P = P_в / ККД = (Q * H * 9.81) / ККД \quad (2.1)$$

де $P_в$ – потужність на валу, кВт;

Q - продуктивність, м3/с;

H – висота напору, (м. водяного стовпа);

ККД – коефіцієнт корисної дії (насос, електродвигун).

Значення потужності на валу наведено в п.16. Значення ККД приведені в п.п. 9,10. Значення розрахункового річного споживання електроенергії наведено в п.12, отримане значення корелюється із розрахунковим значенням п.7.

В підрозділі «Баланс продуктивності» наведено дані розрахунків обсягу прокачування води і виділення частки обсягів, які прокачуються у режимах зменшеного навантаження.

У пункті 19 наведено значення «небалансу» продуктивності, яке визначається як різниця між фактичною продуктивністю (п.17) і середньою продуктивністю існуючих насосних агрегатів (п.18). За середню продуктивність береться значення середньої продуктивності основних НА, що зазначено у таблиці 2.5. Для подальших розрахунків приймається припущення, що основну частину води перекачує один з існуючих НА у номінальному режимі зі середньою продуктивністю, а додаткову частину води, пропорційну «небалансу», перекачує допоміжний НА у режимі зі зменшеною продуктивністю.

У пункті 23 наведено обсяг води, який прокачується основним насосним агрегатом (НА), а в пункті 24 - обсяг води, який прокачується допоміжним НА.

У пункті 22 наведено коефіцієнт завантаження по продуктивності ($К_з$) допоміжного НА, який розраховується як співвідношення фактичної та паспортної продуктивності НА. Фактична продуктивність НА вказана в пункті 20. Цей показник визначається на основі припущення, що в ролі допоміжного НА більшу частину часу буде працювати НА-4. Фактична продуктивність допоміжного НА зазначена в пункті 21.

У підрозділі «Споживання електроенергії» наведено дані розрахунків обсягу споживання електроенергії з розподілом на частки, які споживаються основним та допоміжним НА.

У пункті 27 наведено значення споживання електроенергії основним НА. Розрахунки виконані на основі середніх питомих витрат основних НА, зазначених у таблиці 2.5 (п.25).

У пункті 28 наведено значення споживання електроенергії допоміжним НА. Розрахунки виконані на основі питомих витрат НА-4, прийнятого в якості допоміжного, зазначених у таблиці 2.5 (п.26).

На основі отриманого результату можна зробити наступні висновки:

– на насосній станції існує режим, при котрому в роботі постійно знаходиться один «основний» НА і інколи до нього підключається «допоміжний» НА із 7 існуючих;

– коефіцієнт завантаження «допоміжного» НА, що працює не в номінальному режимі, має значення 0,547;

– при таких режимах роботи електродвигунів «допоміжного» НА має місце потенціал зменшення споживання електроенергії за рахунок впровадження ПЧ.

Оцінка потенціалу економії для ВНС «Хортицька».

Дані розрахунків показників обладнання зведені в загальній таблиці 2.14.

В підрозділі «Термін роботи НА» приведені дані оцінки завантаження НА на річному інтервалі, виведена умовна усереднена кількість НА, що знаходяться в роботі на протязі року. Виявлено, що в роботі знаходиться, як правило, один НА.

В підрозділі «Обсяги прокачування води» приведені дані розрахунків усередненої (середньорічної) фактичної продуктивності НС.

В підрозділі «Потужність НА» приведені дані розрахунків усередненої (середньорічної) електричної потужності агрегатів.

В п.7 наведені значення потужності, що розрахована із значення загального споживання електроенергії, отриманого за вихідними даними, таблиця 2.11, як сума споживання кожного із НА згідно терміну його роботи і паспортної потужності.

Таблиця 2.14 – Дані розрахунків показників обладнання ВНС «Хортицька»

№	Найменування	Од.вим.	«Хортицька»
	Термін роботи НА		
1	Кількість годин	год	8 760
2	Сума часів роботи всіх НА	год	8 772
3	Кількість НА в роботі		1
	Обсяги прокачування води		
	за вихідними даними		
4	Обсяги прокачування води за рік	тис.м³	8 795
5	Продуктивність фактична	м³/год	1 004
	Потужність НА		
	розрахунки по терміну роботи НА		
6	Споживання електроенергії за рік (по терміну роботи насосів)	тис.кВт·год	1 789
7	Потужність в середньому	кВт	204
	розрахунки по витраті води		
8	Потужність на валу (в середньому)	кВт	150
9	ККД (двигун)		0,90
10	ККД (насос)		0,88
11	Потужність споживання (в середньому)	кВт	190
12	Розрахункове споживання за рік	тис.кВт·год	1 664
	Потужність на валу		
13	Продуктивність фактична	м³/год	1 004
14	Продуктивність насосу	м³/с	0,279
15	Напір	м	55
16	Потужність на валу	кВт	150,47
	Баланс продуктивності		
17	Продуктивність фактична	м³/год	1 004
18	Продуктивність усереднена на існуючих НА	м³/год	1 240
19	$К_з$, завантаження НА по продуктивності		

Продовження таблиці 2.14

	Порівняння		
20	Споживання електроенергії за рік (по терміну роботи насосів)	тис.кВт·год	1 789
21	Споживання електроенергії за рік (по фактичній продуктивності)	тис.кВт·год	1 664
22	Споживання електроенергії за рік (вихідні дані)	тис.кВт·год	937
23	Прокачування за рік (по терміну роботи НА)	тис.м³	9 694
24	Прокачування за рік (вихідні дані)	тис.м³	8 795

В п.11 наведені значення потужності, що розрахована на основі усередненої фактичної продуктивності НС за формулою:

$$P = P_в / ККД = (Q * H * 9.81) / ККД \quad (2.2)$$

де $P_в$ – потужність на валу, кВт;

Q - продуктивність, м³/с;

H – висота напору, (м. водяного стовпа);

ККД – коефіцієнт корисної дії (насос, електродвигун).

Значення потужності на валу наведено в п.16. Значення ККД наведені в п.п. 9,10. Значення розрахункового річного споживання електроенергії наведено п.12, отримане значення корелюється із розрахунковим значенням п.7.

В підрозділі «Баланс продуктивності» приведені дані розрахунків обсягу прокачування води і виділення частки обсягів, що прокачуються у режимах зменшеного навантаження.

У пункті 19 наведено значення коефіцієнта завантаження насосного агрегату (НА) за продуктивністю ($К_з$), який розраховується як співвідношення фактичної та паспортної продуктивності НА. Фактична продуктивність НА вказана в пункті 17, а паспортна продуктивність – у пункті 18, де наведено усереднене значення для існуючих НА. Коефіцієнт $К_з$ характеризує режим навантаження НА в поточному режимі і є основою для розрахунків обсягів

зменшення споживання електроенергії при використанні перетворювачів частоти (ПЧ) для управління роботою електродвигуна.

У підрозділі «Порівняння» надано дані розрахунків споживання електроенергії за різними методами. Обсяги споживання електроенергії, розраховані за терміном роботи НА (п.20), збігаються зі значеннями, отриманими за розрахунками потужності на основі фактичної продуктивності НА (п.21). Споживання електроенергії за вихідними даними (п.22) значно менше, ніж розрахункове. Обсяги прокачування води за рік, розраховані за терміном роботи НА (п.23), збігаються з обсягами, зазначеними у вихідних даних.

На основі отриманого результату можна зробити наступні висновки:

– На насосній станції фактична продуктивність споживання води з боку споживачів не перевищує номінальних показників існуючих НА, в роботі знаходиться в основному один НА.

– Насосні агрегати працюють не в номінальному режимі, $К_з$ по продуктивності складає 0,81. Фактичне споживання електроенергії вдвічі менше розрахункового при номінальному режимі.

– При таких режимах роботи електродвигунів НА має місце потенціал зменшення споживання електроенергії за рахунок впровадження ПЧ.

2.5 Визначення рішень, щодо підвищення енергоефективності

Опис заходу на ДВС-1, 1 підйом, блок 1.

Відповідно до даних розрахунків потенціалу економії для ДВС-1 встановлено, що навантаження насосної станції не збігається з номінальною продуктивністю насосних агрегатів. На станції існує технологічний режим роботи, при якому використовуються два насосні агрегати: один працює як «основний» у номінальному режимі, а другий як «допоміжний» - не в номінальному режимі. Робота «допоміжного» НА в такому режимі призводить до підвищених втрат електроенергії через значне зниження ККД електродвигуна.

Всього на НС встановлено 7 насосних агрегатів, і для рівномірного використання «мотогодин» один з них включається в роботу згідно з технологічним графіком.

Для підвищення ККД електродвигуна і зменшення непродуктивних втрат електроенергії пропонується встановити перетворювач частоти (ПЧ) для управління роботою «допоміжного» електродвигуна НА. Встановлення ПЧ дозволить регулювати оберти НА і підтримувати необхідну продуктивність насосної станції при високих показниках ККД електродвигуна.

Конструктивне рішення передбачає встановлення комплексної системи управління насосною станцією, яка складається з ПЧ і комплекту комутаційного обладнання. На НС використовуються високовольтні електродвигуни з живленням від мережі 6,3 кВ. ПЧ для управління високовольтними двигунами є досить дорогим обладнанням. Як варіант рішення у проекті передбачається встановити лише один ПЧ і забезпечити його підключення до одного з обраних електродвигунів за допомогою комутаційного обладнання. Комплексна система управління НС забезпечує вибір і підключення ПЧ до одного з обраних НА, підтримуючи його в номінальному режимі роботи.

З практичного досвіду впровадження ПЧ відомо, що економія споживання електроенергії може досягати 20-50%. Остаточні значення економії електроенергії можуть бути визначені з урахуванням існуючих технологічних режимів роботи обладнання. Обсяг зменшення споживання електроенергії, що буде досягнуто завдяки використанню перетворювача частоти, розраховується на основі формули визначення потужності, яка споживається при частотному регулюванні:

$$P_{пч} = P_м(Q_ф/Q_м)^3 \quad (2.3)$$

де: $P_{пч}$ – потужність НА пр.и роботі від ПЧ, кВт;

$Q_ф$ - фактична продуктивність, м³/с;

$Q_м$ – максимальна продуктивність, м³/с;

$P_м$ – максимальна потужність НА, кВт.

У таблиці 2.15 наведені дані розрахунку обсягів економії електроенергії, що очікується від впровадження заходу. Значення потужності, що споживається при частотному регулюванні, наведено в п.3. Коефіцієнт завантаження (п.2) розраховано в таблиці 2.13 п.22, як співвідношення фактичної та паспортної продуктивності НА. Споживання електроенергії за рік «допоміжного» НА при роботі від ПЧ наведено в п.5. Економія електроенергії (п.6) визначається як різниця споживання електроенергії при існуючому стані (п.4) і після реалізації проекту (п.5).

Таблиця 2.15 – Розрахунок обсягів економії енергоресурсів, що очікуються від впровадження заходу (ДВС-1)

№	Найменування	Од.вим	Значення
1	Потужність двигуна максимальна (паспортна)	кВт	320
2	Коефіцієнт завантаження		0,547
3	Потужність при роботі від ПЧ	кВт	52,24
4	Споживання електроенергії при існуючому стані	т.кВт·год	1532
5	Споживання електроенергії при використанні ПЧ	т.кВт·год	458
6	Зменшення споживання електроенергії	т.кВт·год	1074
	Споживання електроенергії (загальне по НС)		
7	Споживання електроенергії при існуючому стані	т.кВт·год	8099
8	Споживання електроенергії після реалізації заходу	т.кВт·год	7025
9	Економія електроенергії	т.кВт·год	1074

Опис заходу на ВНС «Хортицька».

Навантаженням ВНС є мережі споживачів, які мають змінні значення показників технічного стану. Продуктивність споживання і значення приведеного напору мережі залежать від режиму споживання води мешканцями і постійно змінюються в часі. Відповідно до розрахунків потенціалу економії для ВНС «Хортицька», виявлено, що фактична середня продуктивність ВНС становить до 80% від номінальної продуктивності існуючих НА.

На ВНС встановився технологічний режим роботи, при якому використовується один НА, продуктивності якого, як правило, достатньо для забезпечення потреб мережі. НА працює не в номінальному режимі, із зменшеним навантаженням, що призводить до підвищених втрат електроенергії через значне зниження ККД електродвигуна. У постійній експлуатації знаходяться лише два низьковольтні насосні агрегати. Три високовольтні НА наразі практично не експлуатуються. Встановлені НА працюють по черзі, і для рівномірного використання «мотогодин» один з них включається в роботу згідно з технологічним графіком роботи.

Для підвищення ККД електродвигуна та зменшення непродуктивних втрат електроенергії пропонується встановити перетворювач частоти (ПЧ) для управління роботою робочого електродвигуна насосного агрегату (НА). Встановлення ПЧ дозволяє регулювати оберти НА і підтримувати необхідну продуктивність насосної станції при високих показниках ККД електродвигуна.

Конструктивне рішення передбачає встановлення комплексної системи управління насосною станцією, що складається з ПЧ і комплекту комутаційного обладнання. Як варіант, проект передбачає встановлення лише одного ПЧ з можливістю підключення до одного з обраних електродвигунів за допомогою комутаційного обладнання. Комплексна система управління НС забезпечує вибір та підключення ПЧ до одного з обраних НА і підтримує його в номінальному режимі роботи.

З практичного досвіду відомо, що впровадження ПЧ може призвести до економії електроенергії на рівні 20-50%. Остаточні значення економії електроенергії можуть бути визначені з урахуванням існуючих технологічних режимів роботи обладнання. Обсяг зменшення споживання електроенергії, досягнутий завдяки використанню ПЧ, визначається на основі формули для розрахунку потужності, що споживається при частотному регулюванні:

$$P_{пч} = P_м(Q_ф/Q_м)^3 \quad (2.4)$$

де: $P_{пч}$ – потужність НА пр.и роботі від ПЧ, кВт

$Q_ф$ - фактична продуктивність, м³/с;

$Q_м$ – максимальна продуктивність, м³/с

У таблиці 2.16 наведені дані розрахунку обсягів економії електроенергії, що очікується від впровадження заходу. Значення енергії, що споживається при частотному регулюванні, наведено в п.3. Коефіцієнт завантаження (п.2) розраховано в таблиці 2.14 п.19, як співвідношення фактичної та паспортної продуктивності НА. Коефіцієнт корегування по потужності використовується у розрахунку споживання електроенергії для врахування фактичного зменшення потужності споживання при роботі електродвигуна на закриту засувку. Споживання електроенергії НА за рік при роботі від ПЧ наведено в п.4. Економія електроенергії (п.5) визначається як різниця споживання електроенергії при існуючому стані (п.1) і після реалізації проекту (п.4).

Таблиця 2.16 – Розрахунок обсягів економії енергоресурсів, що очікуються від впровадження заходу (ВНС)

№	Найменування	Од. вим.	Значення
1	Споживання електроенергії на ВНС	т.кВт·год	936,5
2	Коефіцієнт завантаження по продуктивності		0,810
3	Коефіцієнт корегування по потужності	т.кВт·год	1,6
4	Споживання при роботі від ПЧ	т.кВт·год	795,30
5	Зменшення споживання електроенергії	т.кВт·год	141,2

Впровадження заходів із встановлення ПЧ принесе такі додаткові позитивні результати:

- Покращується Cos φ установки (Cos φ>0,95).
- Знижується зношування запірної арматури, оскільки засувки більшу частину часу повністю відкриті.

- Зменшуються втрати води через протікання в мережах завдяки роботі насосів на понижених тисках.
- Зменшується зношення комутаційного обладнання, оскільки перемикання здійснюються без струмів.
- Знижується зношення механічного обладнання (підшипників, сальників тощо) завдяки плавній зміні кількості обертів і відсутності великих пускових струмів.
- Зменшується ризик аварій через виключення гідравлічних ударів.
- Забезпечується одночасний захист двигуна від коротких замикань між фазами та на землю, неповнофазного режиму роботи, захист від перенапруг і низької напруги, а також тепловий захист двигуна та перетворювача від перевантажень.
- Знижується рівень шуму.
- Спрощується подальша комплексна автоматизація об'єктів водозабезпечення.

2.6 Висновок до розділу 2

В другому розділі було розглянуто доступні відомості про комунальне підприємство «Водоканал» міста Запоріжжя. Також було вибрано об’єкти модернізації, проведено оцінку технічного стану цих об’єктів. Проведено оцінку енергетичних втрат та оцінку потенціалу економії, зокрема, було встановлено невідповідність навантаження насосної станції з номінальною продуктивністю насосних агрегатів. Визначили рішення, щодо підвищення енергоефективності обраних об’єктів.

3 ЕКОНОМІЧНИЙ АНАЛІЗ

3.1 Оцінка капітальних витрат

Інвестиції для цього проекту умовно поділяються на дві основні категорії: прямі інвестиції та інвестування в підготовку проекту.

Прямі інвестиції спрямовані на придбання матеріалів, комплектуючих частин, нового обладнання, включаючи витрати на їх доставку, встановлення та налаштування. Інвестування в підготовку проекту включає забезпечення та супровід проекту, а також розробку проектної документації.

Загальна сума інвестицій визначається як сукупність витрат за кожним із запропонованих заходів щодо модернізації об'єктів.

Капітальні витрати на ДВС-1, 1 підйом, блок 1.

В таблиці 3.1 зведені дані про вартість капітальних вкладень для заходу на ДВС-1. Розрахунки базуються на припущення, що в якості основного обладнання приймаються ЧП виробництва компанії Siemens. Конструктивно за проектом передбачається встановлювати 1 пристрій (ПЧ) на групу насосів, а управління підключенням до роботи одного із НА забезпечувати з допомогою комутаційного обладнання. В таблиці 3.2 наведена структура вартості робіт етапам виконання проекту.

Таблиця 3.1 – Вартість капітальних вкладень для заходу на ДВС-1

№	Найменування	Од.вим.	Значення
1	ПЧ ROBICON Perfect Harmony 400 кВт, 6 кВ	тис.грн	3 358,0
2	Системи комутацій високовольтних мереж	тис.грн	1 293,4
3	Роботи	тис.грн	1 007,4
	Всього	тис.грн	5 658,8

Таблиця 3.2 – Вартість робіт заходу на ДВС-1

№	Найменування	Од.вим.	Значення
1	Проектні роботи	тис.грн	268,6
2	Монтажні роботи	тис.грн	503,7
3	Пуско-налагоджувальні роботи	тис.грн	235,1
	Всього	тис.грн	1 007,4

Капітальні витрати на ВНС «Хортицька».

В таблиці 3.3 зведені дані про вартість капітальних вкладень для заходу на ВНС «Хортицька». Розрахунки базуються на припущення, що в якості основного обладнання приймаються ЧП виробництва компанії АВВ. Конструктивно за проектом передбачається встановлювати 1 пристрій (ЧП) на групу насосів, а управління підключенням до роботи одного із НА забезпечувати з допомогою комутаційного обладнання. В таблиці 3.4 наведена структура вартості робіт етапам виконання проекту

Таблиця 3.3 – Вартість капітальних вкладень для заходу на ВНС «Хортицька»

№	Найменування	Од.вим.	Значення
1	ПЧ ABB ACS550-02-486A-4	тис.грн	280,3
2	Системи комутацій низьковольтних мереж	тис.грн	209,8
3	Роботи	тис.грн	209,8
	Всього	тис.грн	574,2

Таблиця 3.4 – Вартість робіт для заходу на ВНС «Хортицька»

№	Найменування	Од.вим.	Значення
1	Проектні роботи	тис.грн	22,4
2	Монтажні роботи	тис.грн	42,0
3	Пуско-налагоджувальні роботи	тис.грн	19,6
	Всього	тис.грн	84,1

3.2 Оцінка економічного ефекту

Оцінка економічного ефекту на ДВС-1, 1 підйом, блок 1.

Економічний ефект заходу визначається за рахунок зниження споживання електроенергії, що досягається завдяки використанню перетворювачів частоти. Дані щодо економії електроенергії наведені в таблиці 2.15.

Для попередньої оцінки ефективності проекту розраховується період простої окупності енергоефективного проекту. Це найпростіший метод оцінки проекту, при якому обчислюється період часу, за який вигоди від проекту зрівняються з витратами на його реалізацію. Період повернення коштів ($Т_о$) визначається наступним чином:

$$Т_о = \text{капітальні витрати/економія}$$

Дані розрахунків економічної ефективності проекту та визначення періоду простої окупності наведені у таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Розрахунок економічного ефекту, що очікується від впровадження проекту

№	Найменування	Од.виміру	Всього
	Прибуткова частина		
1	Економія електроенергії	тис.кВт·год	1 074
2	Тариф на електроенергію	грн/кВт·год	1,03
3	Прибуток від економії	тис.грн	1 107
	Видаткова частина		
4	Капітальні витрати	тис.грн	5 659
	Ефективність		
5	Економічний ефект (річний)	тис.грн	1 107
	Попередній (спрощений) розрахунок		
6	Термін простої окупності	рік	5,1

Оцінка економічного ефекту на ВНС «Хортицька».

Економічний ефект заходу досягається за рахунок зниження споживання електроенергії завдяки дії перетворювачів частоти. Дані щодо економії електроенергії наведені в таблиці 2.16.

Для попередньої оцінки ефективності проекту визначається період простої окупності енергоефективного проекту. Це найпростіший метод оцінки, при якому обчислюється час, за який вигоди від проекту зрівняються з витратами на його реалізацію. Період повернення коштів (T_o) визначається наступним чином:

$$T_o = \text{капітальні витрати/економія}$$

Дані розрахунків економічної ефективності проекту та визначення періоду простої окупності наведені у таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Розрахунок економічного ефекту, що очікується від впровадження проекту

№	Найменування	Од. виміру	Всього
	Прибуткова частина		
1	Економія електроенергії	т.кВт·год	141
2	Тариф на електроенергію	грн/кВт·год	1,03
3	Прибуток від економії	тис.грн	145
	Видаткова частина		
4	Капітальні витрати	тис.грн	574
	Ефективність		
5	Економічний ефект (річний)	тис.грн	145
	Попередній (спрощений) розрахунок		
6	Термін простої окупності	рік	3,9

Оцінка економічного ефекту в цілому.

Дані розрахунків економічної ефективності проекту в цілому, що отримані на основі даних по кожному із заходів, зведені в загальну таблицю 3.7.

Таблиця 3.7 – Розрахунок економічного ефекту, що очікується від впровадження проекту

№	Найменування	од.вим.	ДВС-1	ВНС Хортицька	Всього
	Прибуткова частина				
1	Економія електроенергії	тис.кВт·год	1 074,4	141,2	1 215,6
2	Тариф на електроенергію	грн/кВт·год	1,03	1,03	2,1
3	Прибуток від економії	тис.грн	1 106,7	145,4	1 252,1
	Видаткова частина				
4	Капітальні витрати	тис.грн	5 658,8	574,2	6 232,9
	Ефективність				
5	Економічний ефект (річний)	тис.грн	1 106,7	145,4	1 252,1
	Попередній (спрощений) розрахунок				
6	Термін простої окупності	рік	5,1	3,9	4,9

3.3 Висновок до розділу 3

Економічна ефективність заходів із встановлення перетворювачів частоти забезпечується за рахунок зниження платежів за електроенергію. За результатами розрахунків від заходів з енергозбереження отримано економію електроенергії близько 1215 тис. кВт·год, а річний економічний ефект становить близько 1,2 мільйона гривень. Капітальні витрати на впровадження проекту становлять 6 мільйонів 232 тисячі гривень. Таким чином термін окупності становить 4,9 роки.

ВИСНОВКИ

Таким чином було проаналізовано передумови використання частотних перетворювачів, їхні типи та технічні характеристики кожного з них. Частотні перетворювачі є важливими пристроями для керування частотою обертання електродвигунів у різних галузях промисловості. Вони перетворюють змінний струм однієї частоти на струм іншої частоти, забезпечуючи гнучке та енергоефективне керування електроприводами. Існує декілька типів частотних перетворювачів, кожен з яких має свої особливості, переваги та недоліки.

Сучасні електроприводні системи часто неможливі без використання перетворювачів частоти, оскільки вони сприяють підвищенню ефективності, надійності та економічності промислових процесів.

У другому розділі було розглянуто наявну інформацію про комунальне підприємство «Водоканал» міста Запоріжжя. Вибрано об’єкти для модернізації та оцінено їхній технічний стан. Проведено оцінку енергетичних втрат та потенціалу економії, зокрема, виявлено невідповідність навантаження насосної станції номінальній продуктивності насосних агрегатів. Визначено заходи для підвищення енергоефективності обраних об’єктів.

При проведенні модернізації передбачається встановити певні моделі перетворювачів частоти: для об’єкту «ДВС-1, 1 підйом, блок 1» – ПЧ «ROBICON Perfect Harmony 400 кВт, 6 кВ», та ПЧ «ABB ACS550-02-486A-4» для об’єкту ВНС «Хортицька».

Економічна ефективність впровадження частотних перетворювачів обґрунтовується зниженням витрат на електроенергію. Завдяки розрахункам виявлено, що заходи з енергозбереження дозволять зекономити близько 1215 тис. кВт·год електроенергії, це дає річний економічний ефект близько 1,2 мільйона гривень. Капітальні витрати на реалізацію проекту становлять 6,232 мільйона гривень, що забезпечує термін окупності близько 4,9 років.

Крім того, впровадження таких заходів призведе до наступних позитивних результатів:

- Покращення коефіцієнта потужності (cos φ) до значення більше 0,95.
- Зниження зношування запірної арматури завдяки частішому повному відкриттю засувок.
- Зменшення витрат води через усунення протічок у мережах завдяки роботі насосів при понижених тисках.
- Зменшення зношування комутаційного обладнання завдяки переключенню без великих струмів.
- Зменшення зношування механічного обладнання (підшипників, сальників) за рахунок поступової зміни кількості обертів і відсутності великих пускових струмів.
- Зниження ризику аварій через відсутність гідравлічних ударів.
- Одночасний захист двигуна від різних видів коротких замикань, перенапруг та перегріву.
- Зменшення рівня шуму.
- Спрощення подальшої комплексної автоматизації об’єктів водозабезпечення.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Бакалін, Ю.І. Енергозбереження та енергетичний менеджмент: Навчальний посібник. Харків: ХІУ, 2002. 200с.

2. Бучинський М. Я., Горик О. В., Чернявський А. М., Яхін С. В. Основи творення машин. За редакцією О. В. Горика, доктора технічних наук, професора, заслуженого працівника народної освіти України. Харків: Вид-во «НТМТ», 2017. 448 с.

3. Василега П.О., Муріков Д.В. Електропривод робочих машин : навч. посібник. Суми: Університетська книга, 2006. 228 с

4. Регульований електропривод. Теорія. Моделювання. І.М. Голодний, Ю.М. Лавріненко, В.В. Козирський, Л.С. Червінський, Д.А. Абдураманов, А.В. Торопов, О.В. Санченко; За ред. І.М. Голодного. Київ: Аграр Медіа Груп, 2015. 509 с.

5. Перетворювальна техніка. Підручник: Ч.2. Ю.П. Гончаров, О.В. Будьонний, В.Г. Морозов та ін., За ред. В.С. Руденка. Харків: Фоліо, 2000. 360 с.

6. Сучасні перетворювачі частоти в системах електропривода: навч. посібник. М.В. Загірняк та ін.; 2-ге вид., переробл. і доповн. Харків: Видавництво «Точка», 2017. 206 с.

7. О.М. Закладний, В.В. Прокопенко, О.О. Закладний. Електропривод: Навч. посіб. Київ: НТУУ «КПІ», 2008. 316 с.

8. Закладний О.М., Праховник А.В., Соловей О.І. Енергозбереження засобами промислового електропривода: Навчальний посібник. Київ: Кондор, 2005. 408 с

9. Казачковський М.М. Комплектні електроприводи: Навч. посібник Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2003. 226 с.

10. Квітка С.О. Силові електронні пристрої в системах керування: навчальний посібник. Мелітополь: Люкс, 2021. 180 с.

11. Методи управління та апаратна реалізація сучасних перетворювачів частоти. Квітка С.О., Безменнікова Л. М., Вовк О. Ю., Квітка О. С. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь, 2013. Вип. 3, 171 с.

12. С.О. Квітка, М.В. Постнікова, О.М. Речина. Основи електропривода: лабораторний практикум, Ч.1. – Мелітополь: Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2020. 165 с.

13. Колб А.А. Теорія електроприводу: Навчальний посібник. Нацональний гірничий університет, 2006. 511 с.

14. Ковалко М.П. Денисюк С.П. Енергозбереження пріоритетний напрямок державної політики України. Відпов. ред. Шидловський А.К. Київ: УЕЗ, 1998. 506 с.

15. Ковалко М.П. Енергозбереження досвід, проблеми, перспективи. Відпов. ред. Шидловський А.К; Держкоменергозбереження України. Київ: Ін-т електродинаміки НАНУ, 1997. 152 с.

16. Електропривод: підручник. Ю.М. Лавріненко, О.С. Марченко, П.І. Савченко та ін.; за ред. Ю.М. Лавріненка. Київ: «Ліра-К», 2009. 504 с

17. Мазепа С.С., Марущак Я.Ю., Куцик А.С. Електрообладнання промислових підприємств. Навчальн. посібник. 2-ге вид., стереот. Львів “Магнолія 2006”. 2008. 260 с.

18. Михальський В.М., Соболєв В.М., Чехет Е.М. Векторна широтноімпульсна модуляція в матричних перетворювачах. Навчальний посібник. Київ: Ін-т електродинаміки НАН України, 2003. 74 с.

19. Технічні характеристики та якісні показники електричних двигунів. Довідниковий посібник / Г.Н. Назар’ян, Ю.М. Федюшко, О.В. Сотник, О.В. Ковальов. Харків: ТОВ «Планета–прінт», 2016. 201 с.

20. Побєдаш К.К., Святненко В.А. Силові напівпровідникові прилади і перетворювачі електричної енергії. навч. посіб. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. 244 с.

21. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи: Навч. посібник. М.Г. Попович, О.Ю. Лозинський, В.Б. Клепіков та ін. За ред. М.Г. Поповича, О.Ю. Лозинського. Київ.: Либідь, 2005. 680 с.

22. Теорія електропривода: підручник для студ. вищ. навч. закл. М.Г. Попович, М.Г. Борисюк, В.А. Гаврилюк, О.М. Желдак, О.В. Ковальчук, Є.П. Красовський, С.М. Пересада, М.В. Печеник, В.І. Теряєв, В.М. Пижов: за ред. М.Г. Поповича. – Київ: Вища шк., 1993. 494 с.

23. Прокопенко В.В., Закладний О.М., Кульбачний П.В.. Енергетичний аудит з прикладами та ілюстраціями: Навчальний посібник. Київ: Освіта України, 2009. 437 с.

24. Перетворювальна техніка. Частина 1: Підручник. В.С. Руденко, В.Я. Ромашко, В.Г. Морозов. Київ: ІСДО, 1996. 262 с.

25. Основи ефективного використання електричної енергії в системах електроспоживання промислових підприємств: навч. посіб. О. І. Соловей., В. П. Розен, П.Г. Плєшков. та ін.; М-во освіти і науки України, Кіров. НТУ Черкаси: вид. Чабаненко Ю., 2015. 316 с

26. Сенько В.І., Трубіцин К.В., Чибеліс В.І. Інвертори і перетворювачі частоти: монографія. Київ: Видавництво Ліра-К, 2020. 300 с

27. Електроніка і мікросхемотехніка: Підручник для вищ. навч. закл. освіти: У 4-х т. В.І. Сенько, М.В. Панасенко, Є.В. Сенько та ін.; Під ред. В.І. Сенька. Київ: ТВО "Видавництво Обереги", 2000. Т.1. Елементна база електронних пристроїв. 309 с.

28. Моделювання електромеханічних систем: підручник. О. П. Чорний та ін. Кременчук, 2001. 376 с

29. Шавьолкін О.О. Силові напівпровідникові перетворювачі енергії: навч. посібник. Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2015. 403 с.

30. Правила улаштування електроустановок: вид. 5-е, перероб. і доп. Офіц. вид. Київ: Мінпаливенерго України, 2017. 793 с.

ДОДАТОК А

Демонстраційні матеріали до захисту кваліфікаційної роботи бакалавра

«Підвищення ефективності електроспоживання технологічного обладнання промислового підприємства»

Продовження додатку А

Міністерство освіти і науки України

Запорізький національний університет

Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні

Кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем

Кваліфікаційна робота бакалавра

«Підвищення ефективності електроспоживання технологічного обладнання промислового підприємства»

Виконав: студент 3-го курсу, групи 6.1411-с
Михайленко Ю.І
Науковий керівник Башлій С.В

м.Запоріжжя – 2024 рік

«Проблеми водопостачальних організацій»

Застосування технічних заходів щодо підвищення енергоефективності, зокрема енергозбереження в електроприводах насосних агрегатів та системах живлення електрообладнання насосної станції, є основним напрямом досліджень для зменшення електроспоживання. Особлива увага приділяється впровадженню регульованого електропривода, оптимізації потужності насосних агрегатів та вдосконаленню технологічної схеми подачі води.

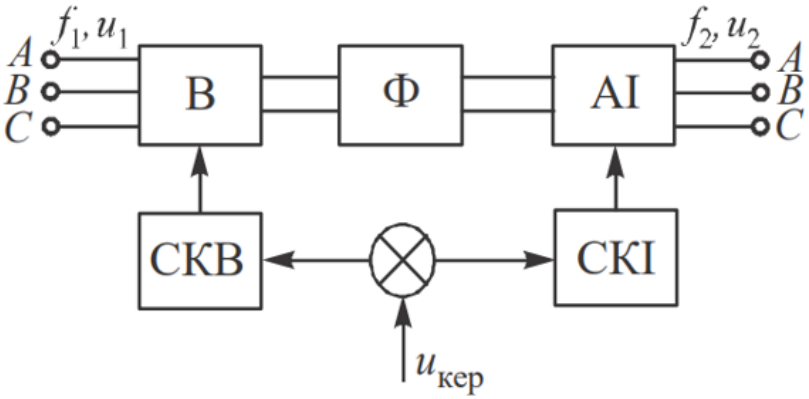
Продовження додатку А

«Типи перетворювачів»

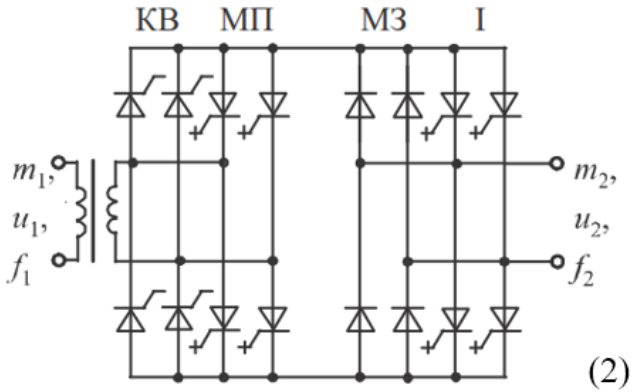


Продовження додатку А

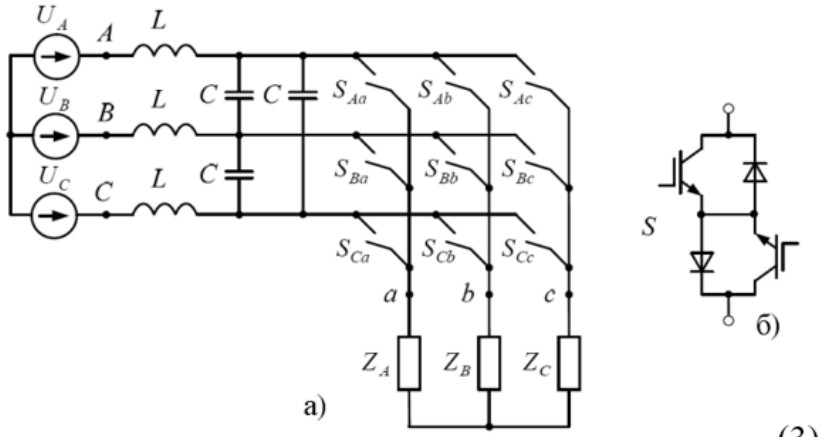
Структурні схеми частотних перетворювачів



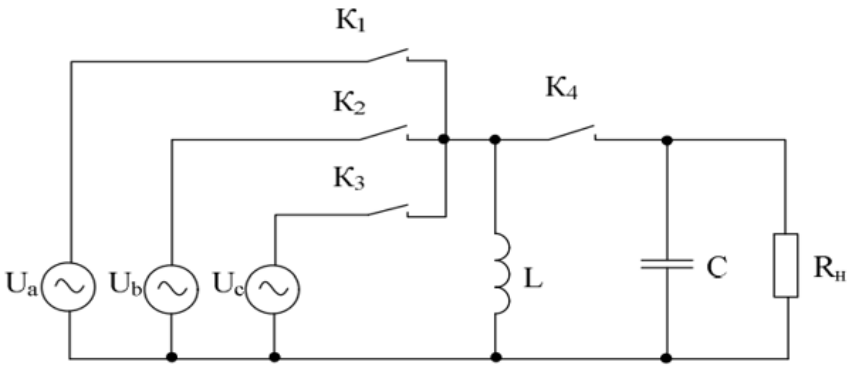
(1)



(2)



(3)



(4)

Критерії вибору ПЧ

Повна пускова потужність ПЧ:

$$\left[\frac{k \cdot n}{9550 \cdot \eta \cdot cos\,\varphi} \times \left(M_C + \frac{J \cdot n}{9{,}55 \cdot t}\right)\right] \le 1{,}5 \times P_{пч}$$

Струм, який споживається двигуном при роботі від перетворювача:

$$I_{спож} = \frac{k \cdot n \cdot M}{9{,}55 \cdot \eta \cdot cos\,\varphi \cdot U_л \cdot \sqrt{3}}$$

Струм, споживаний двигуном при лінійному розгоні:

$$I_{сп} = \frac{k \cdot n}{9{,}55 \cdot \eta \cdot cos\,\varphi \cdot U_л \cdot \sqrt{3}} \cdot (M_C + M_Д)$$

Повна споживана двигуном потужність в номінальному режимі:

$$S_{спож} = \frac{k \cdot P_{дв}}{\eta \cdot cos\,\varphi}$$

Продовження додатку А

Дані про склад обладнання, обсяги споживання та перелік обєктів модернізації

(1)

Найменування	Од. вим.	Основне обладнання без ЧРП	Основне обладнання з встановленим ЧРП	Всього
Загальна кількість електродвигунів, у т.ч.:	шт.	222	47	269
з живленням від високої напруги	шт.	62	4	66
із живленням від низької напруги	шт.	160	43	203

(2)

Найменування	Од. вим.	2010	2011	2012
Обсяги споживання електричної енергії	млн.кВт·год	60,8	57,0	54,2
Обсяги реалізація питної води	тис.м³	61 036	56 269	54 382
Питомі витрати електричної енергії	Вт.г/м³	997	1 013	997

(3)

№	Найменування об'єкту, найменування обладнання	Призначення	Напрямок модернізації
	Дніпровська водопровідна станція №1 (ДВС-1)	Забір води с джерел та її обробка	
1	ДВС-1,1 підйом, блок 1	Подача води в технологічну мережу	Встановити ПЧ
2	ДВС-1,1 підйом, блок 2	Подача води на мікрофільтри	Встановити ПЧ
	ВНС «Хортицька»	Забезпечення питною водою Хортицького р-на, о.Хортиця, ЦОС-2, с. Бабурка, с. Нижня Хортиця, с. НовоСлободка,	
3	Група НА подачі води в мережі	Подача води в мережі споживачів	Встановити ПЧ

Продовження додатку А

Розрахунок обсягів економії енергоресурсів, що очікуються від впровадження заходу

Розрахунок обсягів економії енергоресурсів, що очікуються від впровадження заходу на об’єктах

№	Найменування	Од.вим	Значення
	ДВС-1		
1	Потужність двигуна максимальна (паспортна)	кВт	320
2	Коефіцієнт завантаження		0,547
3	Потужність при роботі від ПЧ	кВт	52,24
4	Споживання електроенергії при існуючому стані	т.кВт·год	1532
5	Споживання електроенергії при використанні ПЧ	т.кВт·год	458
6	Зменшення споживання електроенергії	т.кВт·год	1074
	Споживання електроенергії (загальне по НС)		
7	Споживання електроенергії при існуючому стані	т.кВт·год	8099
8	Споживання електроенергії після реалізації заходу	т.кВт·год	7025
9	Економія електроенергії	т.кВт·год	1074
	ВНС «Хортицька»		
10	Споживання електроенергії на ВНС	т.кВт·год	936,5
11	Коефіцієнт завантаження по продуктивності		0,810
12	Коефіцієнт корегування по потужності	т.кВт·год	1,6
13	Споживання при роботі від ПЧ	т.кВт·год	795,30
14	Зменшення споживання електроенергії	т.кВт·год	141,2

Продовження додатку А

Економічний ефект від запроваджених заходів

№	Найменування	од.вим.	ДВС-1	ВНС Хортицька	Всього
	Прибуткова частина				
1	Економія електроенергії	тис.кВт·год	1 074,4	141,2	1 215,6
2	Тариф на електроенергію	грн/кВт·год	1,03	1,03	2,1
3	Прибуток від економії	тис.грн	1 106,7	145,4	1 252,1
	Видаткова частина				
4	Капітальні витрати	тис.грн	5 658,8	574,2	6 232,9
	Ефективність				
5	Економічний ефект (річний)	тис.грн	1 106,7	145,4	1 252,1
	Попередній (спрощений) розрахунок				
6	Термін простої окупності	рік	5,1	3,9	4,9

ВИСНОВКИ

В даній роботі було проаналізовано передумови використання частотних перетворювачів, їхні типи та технічні характеристики кожного з них. Частотні перетворювачі є важливими пристроями для керування частотою обертання електродвигунів у різних галузях промисловості.

Проведено оцінку енергетичних втрат та потенціалу економії, зокрема, виявлено невідповідність навантаження насосної станції номінальній продуктивності насосних агрегатів. Визначено заходи для підвищення енергоефективності обраних об’єктів.

При проведенні модернізації передбачається встановити певні моделі перетворювачів частоти: для об’єкту «ДВС-1, 1 підйом, блок 1» – ПЧ «ROBICON Perfect Harmony 400 кВт, 6 кВ»,
та ПЧ «ABB ACS550-02-486A-4» для об’єкту ВНС «Хортицька».