

Вінницький національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет електроенергетики та електромеханіки

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

«Ефективна система управління електроприводом мережевого насосу котельні»

Виконав: студент 2-го курсу, гр. ЕПА-21м
спеціальності 141 – Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Ілля РОМАНЮК

(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доцент кафедри КЕМСК

Микола МОШНОРІЗ

(прізвище та ініціали)

« 15 » листопада 2022 р.

Опонент: к.т.н., доц. каф. ЕСЕСН

Бабелко О.В.
(прізвище та ініціали)

« 19 » грудня 2022 р.

Допущено до захисту

кафедрою КЕМСК

В.о. зав. кафедри Микола Мошноріз

« 30 » листопада 2022 р.

Вінницький національний технічний університет
Факультет Електроенергетики та електромеханіки
Кафедра комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів
Рівень вищої освіти II-й (магістерський)
Галузь знань 14 – Електрична інженерія
Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Освітньо-професійна програма «Електромеханічні системи автоматизації та електропривод»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

к.т.н., доц.

Микола МОШНОРИЗ.

“06” вересня 2022 року

ЗАВДАННЯ

НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Романюк Ілля Романович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Ефективна система управління електроприводом мережевого насосу котельні

керівник роботи Мошноріз Микола Миколайович, к.т.н., доц. каф. КЕМСК
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “14” вересня 2022 року № 203

2. Строк подання студентом роботи “30” листопада 2022 року.

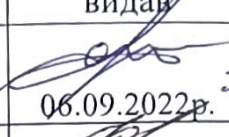

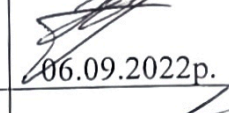
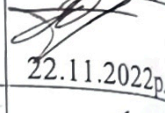
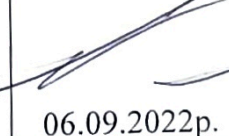

3. Вихідні дані до роботи: данні асинхронного двигуна: потужність – 4000 кВт, напруга – 6000 В, частота мережі – 50 Гц, частота обертання – 2980 об/хв, момент інерції – 42 кг·м², число пар полюсів – 1, ККД – 97,3 %, коефіцієнт потужності – 0,89.

4. Зміст текстової частини: Вступ; 1 Аналіз проблеми енергоефективності мережевих насосів ТЕЦ; 2 Розробка автоматизованої системи керування мережевим насосом; 3 Дослідження енергоефективних режимів роботи регульованого електроприводу мережевого насосу; 4. Економічна частина; 7 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях; Висновки; Список використаних джерел.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):
1. Об'єкт, предмет, мета та задачі дослідження; 2. Актуальність; 3. Характеристика Черкаської ТЕЦ; 4. Порівняння методів регулювання режимів роботи мережевого насосу; 5. Вимоги до регульованого електроприводу та системи керування мережевого насосу; 6. Структурна схема регульованого електроприводу мережевого насосу; 7. Модель системи управління мережевим насосом на основі адаптивного алгоритму управління ПЧ; 8. Результати комп'ютерного моделювання по заданій комп'ютерній моделі до зміни напруги; 9. Результати комп'ютерного моделювання по заданій комп'ютерній моделі після зміни напруги; 10. Моделювання динамічних

процесів електроприводу з використанням адаптивного регулятора тиску;
 11. Перехідні процеси електроприводу з використанням адаптивного регулятора тиску; 12. Висновки

5. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	к. т. н., доц. каф. КЕМСК Мошноріз М.М.	 06.09.2022р.	 15.11.2022р.
Економічна частина	Шулле Ю.А. к.т.н., доц. каф. ЕСЕЕМ	 06.09.2022р.	 22.11.2022р.
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Зав. каф. БЖДПБ, д.пед.н., проф. Кобилянський О. В.	 06.09.2022р.	 29.11.2022р.

6. Дата видачі завдання 06.09.2022р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітки
1	Формування та затвердження теми магістерської кваліфікаційної роботи (МКР)	06.09.2022р.	вик
2	Виконання спеціальної частини МКР. Перший рубіжний контроль виконання МКР	15.11.2022р.	вик
3	Виконання спеціальної частини МКР. Другий рубіжний контроль виконання МКР	15.11.2022р.	вик
4	Виконання розділу «Економічна частина»	22.11.2022р.	вик
5	Виконання розділу «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях»	29.11.2022р.	вик
6	Попередній захист МКР	30.11.2022р.	вик
7	Нормоконтроль МКР	30.11.2022р.	вик
8	Рецензування МКР	19.12.2022р.	вик
9	Захист МКР	20.12.2022р.	вик

Студент


(підпис)

Ілля РОМАНЮК
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Микола МОШНОРІЗ
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

УДК: 62-83:622.673.1

Романюк І.Р. Ефективна система управління електроприводом мережевого насосу котельні. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Вінниця: ВНТУ, 2022. 98 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 41 назв.; рис.: 36; табл.: 19.

У роботі наведено основні причини використання регульованого електроприводу для керування насосними установками. Враховано переваги використання в насосних установках автоматизованих частотно-регульованих електроприводів, а також регулювання режимів роботи насосних установок, основні завдання автоматизованої системи керування та її структуру. Наведено алгоритм адаптивного керування частотним перетворювачем та адаптивним регулятором тиску як способи підтримки стабільного тиску у системі водопостачання.

Графічна частина складається з 12 плакатів із результатами роботи.

В розділі охорони праці визначено основні положення щодо безпечної експлуатації досліджуваного електротехнічного комплексу в умовах дії шкідливих чинників оточуючого середовища.

Ключові слова: перетворювач частоти, насосний агрегат, автоматичне управління, енергоефективність, адаптивний алгоритм, моделювання

ABSTRACT

Romaniuk I.R. An effective control system for the electric drive of the network pump of the boiler room. Master's qualification thesis on specialty 141 - Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics. Vinnytsia: VNTU, 2022.: 98 p.

In Ukrainian language. Bibliographer: 41 titles; fig: 36; tabl: 19.

The main reasons for using an adjustable electric drive for controlling pumping installations are given in the thesis. The advantages of using automated frequency-regulated electric drives in pumping installations, as well as regulating the operation modes of pumping installations, the main tasks of the automated control system and its structure are taken into account. An algorithm for adaptive control of a frequency converter and an adaptive pressure regulator as methods of maintaining stable pressure in the water supply system is given.

The graphic part consists of 12 posters with the results of the work.

In the section of labor protection the basic provisions concerning safe operation of the investigated electrotechnical complex in the conditions of action of harmful factors of environment are defined.

Keywords: frequency converter, pump unit, automatic control, energy efficiency, adaptive algorithm, modeling

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ МЕРЕЖЕВИХ НАСОСІВ ТЕЦ	6
1.1 Принцип роботи і будова ТЕЦ	6
1.2 Особливості живильної системи і структура її насосного обладнання.....	8
1.3 Загальні відомості про насосні установки ТЕЦ	11
1.4 Умови роботи мережевих насосів	14
1.5 Аналіз методів підвищення енергоефективності мережевих насосів.....	15
1.6 Вимоги до регульованого електроприводу та системи керування мережевого насосу.....	23
1.7 Висновки до розділу 1	24
РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ МЕРЕЖЕВИМ НАСОСОМ	25
2.1 Характеристика роботи мережевого насосу Черкаської ТЕЦ.....	25
2.2 Основні завдання АСК ТП мережевим насосом	26
2.3 Структура автоматизованої системи керування мережевим насосом.....	27
2.4 Енергоефективний алгоритм керування для перетворювача частоти.....	35
2.5 Висновки до розділу 2	45
РОЗДІЛ 3 ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ РЕГУЛЬОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ МЕРЕЖЕВОГО НАСОСУ.....	47
3.1 Математична модель системи управління мережевим насосом на основі адаптивного алгоритму управління ПЧ	47
3.2 Математична модель системи управління мережевим насосом з використанням адаптивного регулятора тиску	58

3.3 Висновки до розділу 3	68
РОЗДІЛ 4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	70
4.1 Визначення величини витрат запропонованого варіанту	70
4.2 Розрахунок експлуатаційних витрат	72
4.3 Розрахунок амортизаційних відрахувань	72
4.4 Розрахунок заробітної плати обслуговуючого персоналу	72
4.5 Розрахунок витрат на силову електроенергію	74
4.6 Розрахунок витрат на поточний ремонт обладнання	74
4.7 Інші витрати	77
РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	78
ВИСНОВКИ	96
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	98
ДОДАТОК А (обов'язковий) Технічне завдання	102
ДОДАТОК Б (обов'язковий) Ілюстративна частина	108

ВСТУП

Актуальність

В останні роки зростає інтерес до ефективного та екологічного управління, оскільки технологічні системи характеризуються великим споживанням невідновлюваної енергії. Значну частину загального споживання електроенергії займає насосне обладнання. Останнім часом енергоефективність цих систем стала важливішою, ніж політичний та екологічний тиск щодо зменшення споживання енергії. На насосні системи припадає майже 20% світової енергії, споживаної електродвигунами, і до 60% загального споживання електроенергії в деяких пристроях. Енергія перекачування часто є одним із вищих елементів витрат і може домінувати у вартості життєвого циклу насоса, особливо якщо насоси працюють більше 2000 годин на рік. Існує великий потенціал для зменшення споживання електроенергії за рахунок правильного проектування та вибору насосних систем і засобів керування. Кількість і технічні характеристики цих насосів встановлюються відповідно до обраного типу системи опалення, теплової потужності та режиму роботи.

Основною метою роботи системи опалення є забезпечення потреби споживачів у теплі відповідно до параметрів зовнішнього клімату. Таким чином, система опалення має систему управління, яка може бути якісною, кількісною або змішаною. Кількісне регулювання вимагає зміни витрати в процесі роботи, при цьому необхідно підтримувати постійну температуру гарячого водопостачання.

Тому науково-практична задача розробки енергоефективних систем керування насосними агрегатами є **актуальною**.

Мета роботи і задачі дослідження

Метою роботи є зменшення споживання електроенергії приводами живильних насосів тепломережі за рахунок використання адаптивних законів керування.

Для досягнення мети поставлені такі завдання:

1. Дослідити способи регулювання режимів роботи насосних установок.

2. Провести аналіз необхідних складових для проектування та розробки автоматизованої системи керування.

3. Розробити енергоефективний адаптивний алгоритм керування для перетворювача частоти.

4. Виконати моделювання системи управління на основі адаптивного алгоритму.

Об'єкт дослідження – процес керування електроприводом насосної установки.

Предмет дослідження – адаптивні закони керування електроприводом насосної установки живильних насосів.

Наукова новизна отриманих результатів. Отримав подальший розвиток метод підвищення ефективності роботи електроприводів живильних насосів тепломережі за рахунок вибору оптимального закону керування напругою та частотою перетворювача частоти що дозволить зменшити кількість спожитої електроенергії при забезпеченні технологічних вимог виробничого процесу.

Практичне значення одержаних результатів. Отримав подальший розвиток спосіб регулювання продуктивності живильних насосних агрегатів тепломережі за рахунок врахування опору гідромережі кожного насосу окремо що дозволить підвищити ефективність роботи системи.

Апробація результатів дисертаційної роботи. Основні положення і результати доповідались та обговорювались на науково-технічній конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи» (МН-2022).

Структура і обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, додатків, списку літературних джерел. Основний текст викладено на 98 сторінках друкованого тексту, містить 36 рисунків, 19 таблиць, 41 найменування.

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ МЕРЕЖЕВИХ НАСОСІВ ТЕЦ

1.1 Принцип роботи і будова ТЕЦ

Для початку варто визначитися з термінами «ТЕЦ» і «ТЕС». «Чиста» теплоелектростанція – ТЕС – розрахована виключно на виробництво електроенергії. Теплоелектроцентрально – ТЕЦ – різновид ТЕС. Вона, крім генерації електроенергії, здійснює подачу гарячої води в центральну систему опалення і для побутових потреб.

Принцип роботи ТЕС заснований на унікальній властивості водяної пари – бути теплоносієм. У нагрітому стані під тиском перетворюється на потужне джерело енергії, що приводить в рух турбіни ТЕС. Схема роботи когенерації відносно проста (рис. 1.1).

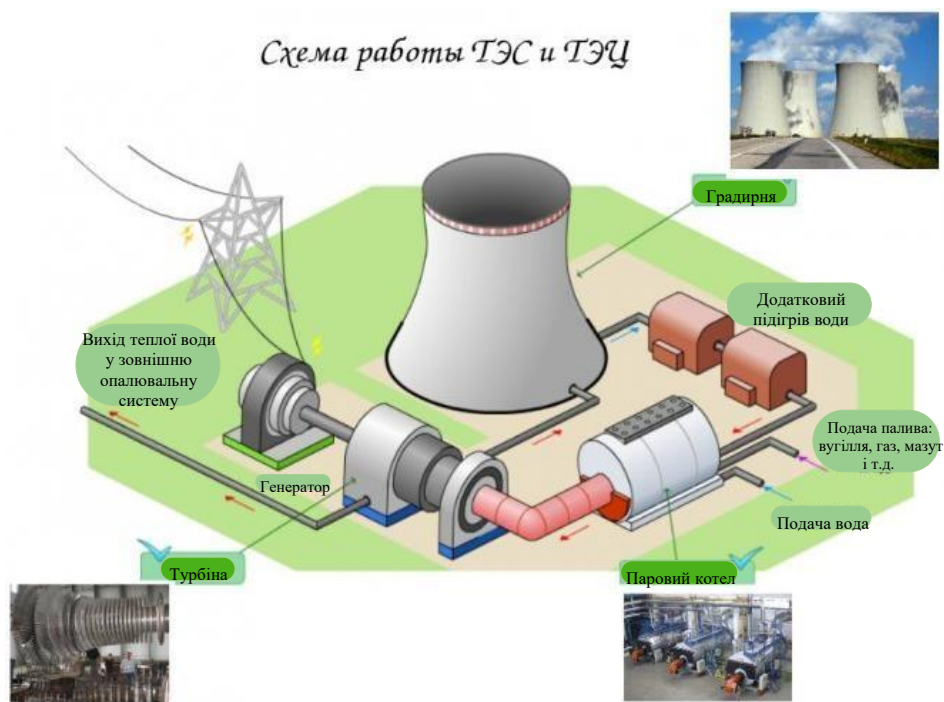


Рисунок 1.1 – Схема роботи ТЕС і ТЕЦ

У топку одночасно надходить паливо і нагріте повітря - окислювач. Найпоширенішим паливом на теплових електростанціях є подрібнене вугілля. Тепло від спалювання вугільного пилу перетворює воду, що надходить у котел, на пару, яка потім під тиском подається в парову турбіну. Сильний струм пари

змушує його обертатися, приводячи в рух ротор генератора, який перетворює механічну енергію в електричну.

Далі пара, яка вже значно втратила свої початкові параметри – температуру і тиск, потрапляє в конденсатор, де після холодного «водяного душа» в градирні знову стає водою. Потім насос конденсату перекачує його в регенераційні підігрівачі, а потім в деаератор. Там вода, яка додатково нагрівається, позбавляється від газів – кисню та CO₂, які можуть викликати корозію. Потім вода повертається в котел.

1.1.1 Характеристика Черкаської ТЕЦ

В межах роботи розглядається мережевий насос, встановлений на Черкаській ТЕЦ.

Черкаська ТЕЦ – теплоелектростанція, яка є найбільшим виробником електроенергії в Черкаській області. Встановлена електрична потужність 230 МВт. ТЕЦ постачає тепло та електроенергію промисловим споживачам, а також більшості жителів міста Черкаси. Сфера діяльності – комбіноване виробництво теплової та електричної енергії, транспортування та постачання теплової енергії

Установлена потужність обладнання для виробництва електроенергії (максимальна) – 300 МВт. Встановлена теплова потужність котелень становить 1348 Гкал/год, а турбоустановок 1075 Гкал/год. Станція транспортує теплову енергію у вигляді гарячої води по розгалуженій мережі труб діаметром від 1020 мм до 219 мм.

1.2 Особливості живильної системи і структура її насосного обладнання

Енергетичні насоси — особлива група насосів у номенклатурі енергетичних машин. Включення енергетичних насосів до такої категорії пов'язане з ієрархічним підпорядкуванням надійним умовам експлуатації та адаптацією до різних режимів роботи. До цих вимог також відносяться підвищена ефективність, технічна готовність, надійність, довговічність і ремонтпридатність ресурсів, захист навколишнього середовища і висока

економічна ефективність. До показників якості енергетичних насосів можна віднести наступні:

- енергоефективність, тобто ККД;
- широкий робочий діапазон напорів і подач;
- антиковітаційні властивості;
- ресурс до капітального ремонту;
- довговічність або термін служби;
- питома металоємність;
- віброакустичні показники.

Це свідчить про очевидну актуальність впровадження нових проектно-конструкційних рішень при модернізації існуючої насосної техніки. Значна частина конструктивних рішень силових насосів, особливо тих, що стосуються їх проточних частин, має досить універсальний характер і входить до складу конструкцій сучасних нагнітальних гідромашин загальнопромислового призначення. [1, 2, 3, 4,].

Виходячи з досвіду експлуатації насосного обладнання теплових електростанцій та аналізу розробки конструктивних схем енергетичних насосів в цілому, викладених у матеріалах, основними напрямками модернізації цих машин є: періодична заміна матеріалів проточних частин. внаслідок механічного зношування поверхонь тертя і виникнення ерозійно-корозійних явищ; розробка конструкцій підвищеної одиничної потужності для зменшення габаритів агрегату та зручного розміщення в машинному залі ТЕЦ; компенсація осьових зусиль; досягнення максимально можливих антикавітаційних якостей; контроль температурних деформацій; простота обслуговування, зниження шуму, підвищена екологічність.

Найбільший інтерес для предмета даної роботи представляють насоси головного циклу системи електропостачання як потужні гідравлічні машини, що працюють у високоінтенсивних теплових і силових полях взаємодій. У цьому контексті існує підвищена ймовірність певних причин відмови. Вищезазначене є основою пропонованої резервної системи для окремих насосів, особливо живильних.

На рис. 1.2 показана спрощена схема функціонування насосів основного циклу живильної підсистеми.

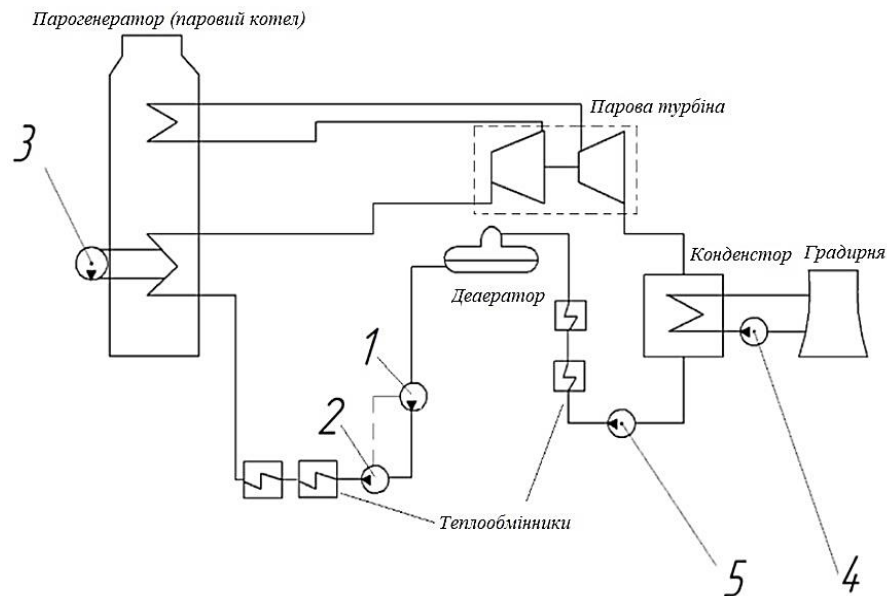


Рисунок 1.2 – Спрощена блок-схема енергоблоку: 1 – бустерний насос; 2 – живильний насос; 3 – рециркуляційний насос парогенератора; 4 – циркуляційний насос; 5 – конденсаційний насос

Як видно зі схеми, насоси цього циклу утворюють систему, елементи якої з'єднані між собою. Різноманітні принципові варіанти сучасної реалізації підсистеми живлення досить консервативні і в цілому не містять принципових відмінностей від прикладних систем, наведених у загальних роботах [2, 5, 6]. Подальший розвиток схемних і конструктивно-технологічних рішень активних об'єктів підсистеми електропостачання відбувався в основному щодо електронасоса, як найбільш енергоємного і складного об'єкта цієї підсистеми, а також щодо конденсатного насоса, відповідно як гідравлічна машина, що працює в складних умовах, пов'язаних з явищами кавітації, гідравлічна частина якої найчастіше виходить з ладу.

Сформулюємо основні напрямки вдосконалення насосів в загальному плані і для гідромашин живильних систем енергоблоку (ЕБ):

- надійність і довговічність функціонування при збереженні високого рівня енергетичної ефективності;

- підвищення гідравлічного ККД. Підвищення гідравлічного ККД є першочерговою, але не єдиною, тенденцією розвитку, в особливій мірі по відношенню до ЖЕН ТЕЦ;
- підвищення антикавітаційних якостей, зокрема, експлуатація живильного насоса без бустерного нагнітача.

1.3 Загальні відомості про насосні установки ТЕЦ

Насосні станції (НС) призначені для подачі гарячої води в системи опалення та гарячого водопостачання. Джерелом гарячої води є центральні котельні та КВЕТ, на яких встановлені мережеві насоси, за допомогою яких вода подається через водонагрівачі (бойлери), де нагрівається паром, що надходить з теплоприймачів турбін і далі, через трубопровідну мережу до теплових пунктів споживачів. Після передачі тепла через теплообмінники охолоджена вода повертається назад у всмоктувальну лінію магістральних насосів на зворотній лінії.

Насосні установки ТЕЦ виконують різноманітні функції в технологічному процесі вироблення електричної і теплової енергії:

- *мережеві (живильні)* подають воду в котельні агрегати;
- *конденсатні* перекачують конденсат (що перетворився в воду відпрацьованої в турбіні пари);
- *циркуляційні* забезпечують постійну циркуляцію води через конденсатор і охолоджуючі пристрої (градирні, бризкальні басейни).

НС комплектуються одним або кількома насосними агрегатами, кількість яких коливається в широких межах: від 1 до 20.

Якщо насосна установка містить кілька агрегатів, напірні і всмоктувальні лінії насосів з'єднуються між собою напірною і всмоктувальною лініями. До напірних колекторів приєднуються напірні водопроводи, до всмоктувальних – всмоктувальні. За наявності збірних резервуарів всмоктувальні труби можуть бути недоступні, а всмоктувальні труби насосів підключаються безпосередньо до резервуару [7].

На сучасних насосних станціях ТЕЦ найбільшого поширення набули лопатеві насоси (відцентрові та осьові).

Основною особливістю роботи мережевих насосів є коливання температури води, що подається, в широких межах, що в свою чергу викликає зміну тиску всередині насоса. Мережні насоси повинні надійно працювати в широкому діапазоні подачі, що, звичайно, вимагає стабільної форми напірної характеристики.

Відцентрові насоси (рис. 1.3). Усередині нерухомого корпусу 1, який має форму спіралі, на валу 3 закріплено робоче колесо 2. Колесо 2 складається з двох дисків, між якими розміщені лопаті 4. Корпус насоса з'єднаний із всмоктуючим і нагнітальним патрубками. патрубки форсунок 5 і 6.

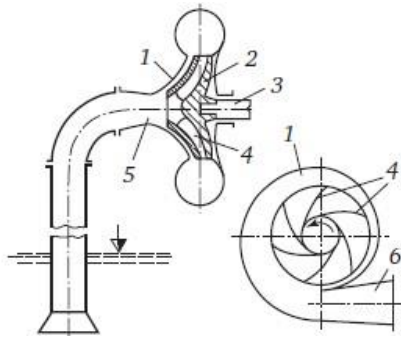


Рисунок 1.3 – Схема одноступінчатого відцентрового насоса

Якщо корпус насоса та його всмоктувальна лінія заповнені рідиною, а потім обертається робоче колесо, то рідина обертається під дією лопаток робочого колеса. Відцентрові сили переміщують рідину на периферію, де створюється підвищений тиск, а в центрі колеса - розрідження. В результаті цієї різниці тисків рідина потрапляє в напірну трубу. Таким чином здійснюється безперервна подача рідини. Відцентрові насоси можуть бути одноступінчастими (з одним робочим колесом) і багатоступінчастими (з кількома робочими колесами). Конструктивно в залежності від розташування шахти їх поділяють на горизонтальні і вертикальні насоси.

Осьові насоси. Робоче колесо обертається в сферичній камері. Оскільки лопаті робочого колеса впливають на рідину через зміну потоку, тиск над лопаткою збільшується, а під нею зменшується. В результаті різниці тисків

рідина рухається вздовж осі насоса. Насоси цього типу призначені для перекачування води у великих обсягах з невеликою висотою подачі (до 20 м).

Осьові насоси (тип О) виготовляються з нерухомими лопатками робочого колеса і з поворотними лопатками (тип ОР). Насоси обох типів можуть випускатися в двох варіантах: Г - з горизонтальним розташуванням вала, В - з вертикальним. Можливість зміни кута установки лопаток насоса ОР дозволяє встановлювати подачу і тиск насоса в широких межах при збереженні високих значень ККД. Тому цей тип насоса зазвичай оснащений нерегульованим електроприводом.

Характеристики насосів – це залежності основних параметрів насоса від подачі Q при певній частоті обертання n .

На рис. 1.4, показані робочі характеристики мережевого насосу ПЕ 500-180-3.

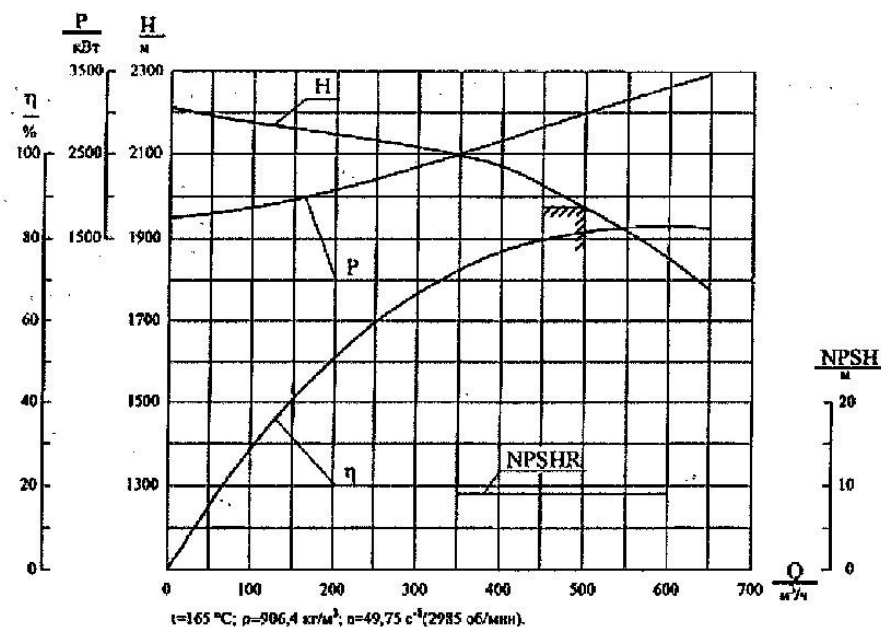


Рисунок 1.4 – Робочі характеристики насосу ПЕ 500-180-3: H – тиск, напір насоса; Q – подача, вхід; η – ККД; P – потужність

Однією з важливих характеристик насоса є залежність його тиску від входу $H = f(Q)$.

Параметри роботи відцентрових насосів можуть змінюватися в досить широких межах. Збільшення об'єму призведе до зменшення тиску, а зменшення

– до збільшення тиску. В межах рекомендованих переміщень і тисків характеристика $H = f(Q)$ описується рівнянням перерізу квадратичної параболи.

$$H_n = H_\phi - S_\phi Q^2 \quad (1,1)$$

де H_ϕ – фіктивний тиск при нульовій подачі, м;

S_ϕ – гідравлічний фіктивний опір насоса, c^2/m^5 .

Значення параметрів H_ϕ і S_ϕ для побутових насосів наведені в [8, 9].

Фіктивні значення тиску залежать від конструктивних параметрів насоса.

Труби. Внутрішні трубопроводи насосних станцій (напірні та всмоктувальні трубопроводи насосів, усмоктувальні та напірні колектори та ін.) В якості трубної арматури в насосному обладнанні використовують вентилі, заглушки, зворотні клапани.

Клапани є запірними пристроями і не повинні використовуватися для контролю роботи насосів. Дискові поворотні крани випускаються в різних варіантах: як блокувальні пристрої, а також для регулювання режиму роботи насосів.

Зворотні клапани призначені для запобігання скидання напірного трубопроводу і зворотного обертання насоса після його зупинки.

Під час роботи насоса під дією потоку води диск клапана обертається навколо своєї осі і вода проходить через нього. Після зупинки насоса диск клапана під дією власної ваги і тиску води з напірного водопроводу опуститься і засувка закриється.

1.4 Умови роботи мережевих насосів

Живильний (мережевий) насос (ЖЕН) є особливо важливою частиною когенераційної установки. Робота котлів ТЕЦ залежить від надійності їх роботи, а питання енергоефективності цього механізму є дуже актуальним, оскільки одинична потужність цих пристроїв є відносно високою, а робота живильних електричних насосів суттєво впливає на ефективність роботи котлів. рослина в цілому.

ЖЕН - механізм високого тиску, тому не можна використовувати дроселювання в зонах низької продуктивності, так як це може призвести до закипання води в робочій зоні насоса. Для виходу з цієї ситуації використовується байпас, коли рідина на виході з насоса відводиться через байпас для забезпечення нормальної роботи установки [10].

Постійне зростання одиничних потужностей енергетичних установок і початкових параметрів пароенергетичного циклу призвело до значного збільшення встановленої потужності живильних насосів і частки питомих енерговитрат на їх привод. У цьому напрямку, крім питання надійної роботи МКП, важливого значення набуває питання економічності цих блоків [11].

1.5 Аналіз методів підвищення енергоефективності мережевих насосів

Для забезпечення встановленого режиму роботи аварійної електростанції при зміні умов експлуатації необхідно коригувати режими роботи насосних агрегатів. Цю задачу можна розділити на два напрямки: регулювання гідравлічних режимів роботи насосів і регулювання енергоефективності аварійного обладнання. [12].

1.5.1 Регулювання гідравлічних режимів роботи насосів

У системах зі змінним навантаженням відцентрові насоси розраховані на максимальну продуктивність. Установка в цілому повинна мати максимальну ефективність в номінальному режимі. Робоча точка насоса знаходиться на перетині характеристики насоса $H=f(Q)$ і характеристики системи (трубопроводу). (рис. 1.5).

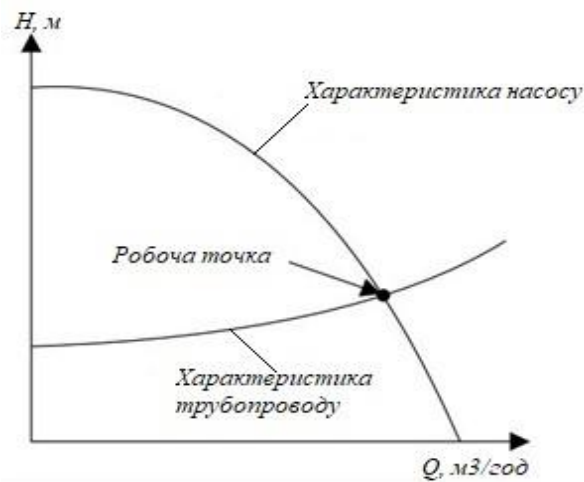


Рисунок 1.5 – Робоча точка насоса і системи трубопроводу

У всьому робочому діапазоні ефективність електроприводу сильно залежить від використовуваного способу регулювання.

Повна відсутність регулювання під час зниженої подачі води (наприклад, вночі) призводить до підвищення тиску в системі в момент зниженої витрати води, що викликає:

- втрати енергії на створення надлишкового тиску (рівень тиску, що підтримується електронасосами, можна значно знизити);
- втрати рідини через негерметичність на негерметичних з'єднаннях (коли споживання води кінцевими споживачами зменшується, тиск у системі підвищується, що призводить до збільшення втрат води). Так, наприклад, за статистичними спостереженнями, підвищення тиску в трубі на 1 атм викликає відповідне збільшення втрат води на 2-7%; - зношеність обладнання та збільшення експлуатаційних витрат.

З цієї причини в останні десятиліття при проектуванні систем з електроприводом розглядається можливість регулювання подачі доступними на той час способами, які є непрямими по відношенню до електроприводу, оскільки регулювання потоку не здійснюється за допомогою був закладений сам електродвигун, але за допомогою спеціальних пристроїв. Серед цих методів можна назвати наступні:

Регулювання потоку за допомогою вихрових клапанів

Вихрові клапани змінюють параметри потоку рідини на стороні всмоктування насосів. В результаті результуючої зміни характеристик пристрою встановлюються нові робочі точки на характеристиках системи (менші значення транспортної висоти H і витрати Q).

При цьому, однак, знижується ефективність установки [13].

Регулювання потоку за допомогою дросельних клапанів

При дроселюванні регулювання здійснюється шляхом зміни ефективного перерізу трубопроводу за допомогою запірної арматури (вентилів, кранів, вентилів), внаслідок чого змінюються характеристики системи. Виниклі втрати в клапані перетворюються в теплову енергію, і електропривод використовує енергію для подолання опору клапана. У той же час підвищений тиск викликає витік рідини і знос обладнання.

Таким чином, регулювання потоку за допомогою дросельної заслінки є регулюванням за рахунок втрат, тому з енергетичної точки зору воно навіть менш ефективно, ніж регулювання за допомогою вихрових клапанів.

Крім того, як доповнення до цього методу регулювання можна сказати, що на практиці це дуже ненадійний і грубий метод регулювання. Клапани знаходяться в постійному контакті з рідиною, піддаються корозії та швидко виходять з ладу механічно під час циклів закриття та відкриття. Задати певну подачу дроселюванням практично неможливо через шорсткість механічної системи та неадекватність її реакції на керуючий вплив, а також нелінійну залежність подачі від звуження трубопроводу [8].

Для дроселювання можна використовувати автоматичну або ручну регулюючу арматуру або встановити дроселювальну накладку.

При дроселюванні подачі насоса робоча точка переміщується вгору вздовж характеристики насоса, збільшуючи тиск і зменшуючи подачу та ККД (рис. 1.6).[14].

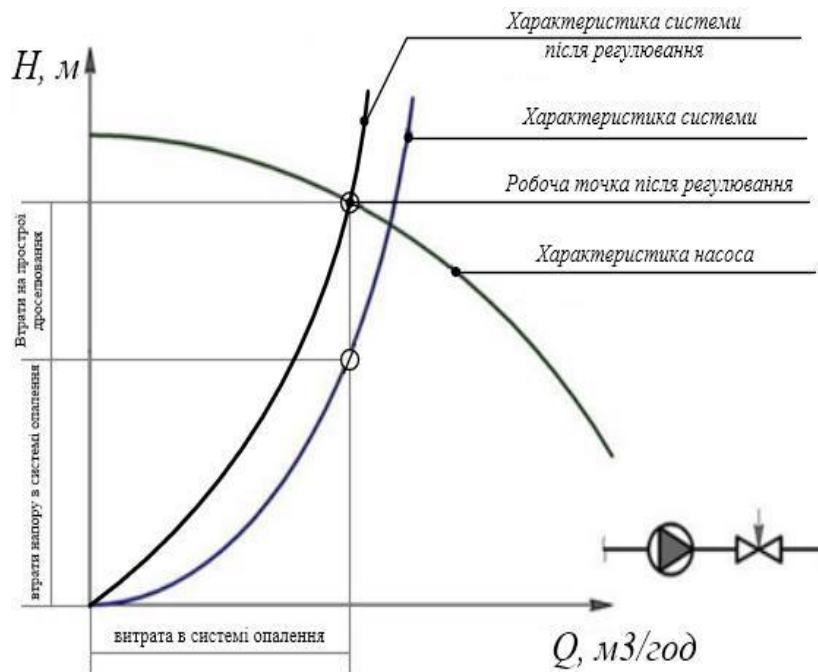


Рисунок 1.6 – Регулювання режиму роботи насосу дроселюванням

Регулювання байпасуванням

За допомогою байпаса частина потоку відгалужується і повертається назад на всмоктуючу сторону насоса. Такий спосіб налаштування підходить тільки для осьових насосів зі збільшенням кількості рідини, що транспортується. У радіальних насосів з підвищеною споживаною потужністю, зі збільшеною кількістю рідини, що транспортується, ефективність гірша, ніж у всіх інших описаних способів керування [15].

Для регулювання насоса на перемичці між його вхідним і вихідним патрубком встановлений регулятор, який підтримує постійний перепад тиску на насосі. При зниженні подачі насоса тиск зростає - регулятор реагує на відхилення перепаду від заданої позначки і відкривається, при цьому вода з напірної труби переходить у всмоктувальну. При цьому живлення насоса залишається незмінним, а витрата води в мережі може значно коливатися.

Перевагою такого способу регулювання є те, що насос завжди працює з постійною подачею і тиском в зоні оптимальної ефективності, а недоліком є те, що при зниженні навантаження в мережі споживання електроенергії залишається незмінним.

Регулювання подачі байпасного насоса використовується в системах опалення з автоматичними регулюючими клапанами для включення насосів, які не допускають сильних коливань подачі в системах динамічного гідравлічного режиму. (рис. 1.7) [15].

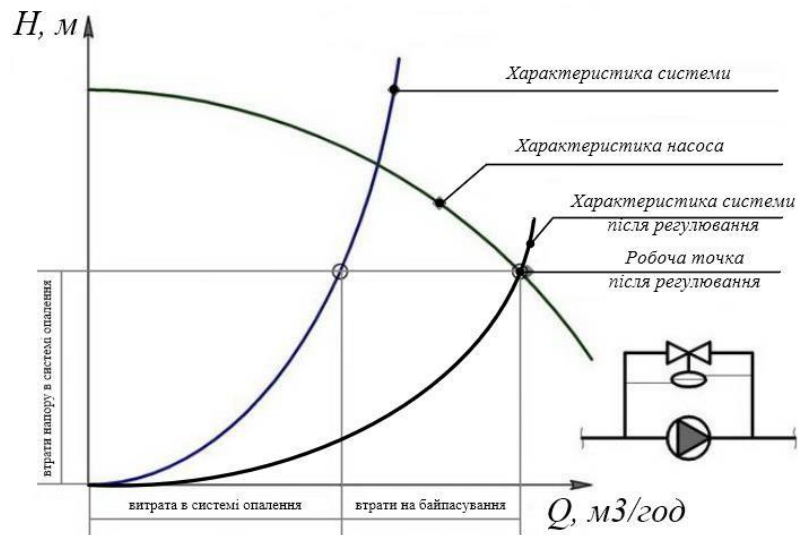


Рисунок 1.7 – Регулювання режиму роботи насоса байпасуванням

Регулювання шляхом вмикання/вимикання (переривчасте регулювання)

При такому регулюванні зміна подачі забезпечується підключенням до гідросистеми різної кількості насосів. Наприклад, якщо один насос не дає необхідної потужності, то паралельно з ним включається другий, третій і т.д.

Цей метод в даний час використовується досить часто. Недоліком такого регулювання є саме його переривчастість. Якість такого регулювання можна назвати задовільною за його надто грубий розсуд, що є втратою енергії та рідини. Крім того, включення і відключення насосів призводить до постійних гідравлічних ударів в системі, що шкідливо впливає на джерела обладнання, а пускові струми двигунів насосів викликають стрибки струму в електричних ланцюгах в 5-7 разів вище ніж номінального значення, що також шкідливо впливає на електроприлад джерела.

Для компенсації дискретності процесу використовується накопичувальний пристрій, наприклад напірний бак або збірний бак. Ще одним істотним

недоліком є велика кількість контактних і силових пристроїв, що погіршує роботу системи.

Відомо також, що в такому режимі обмотки двигуна будуть руйнуватися набагато швидше, ніж при постійній роботі через механічну напругу, яка створюється в обмотках двигуна під час запуску.

1.5.2 Регулювання методом зміни частоти обертання робочого колеса мережевого насосу

Зміна частоти обертання робочого колеса насоса веде до зміни всіх його робочих параметрів. При цьому змінюється положення характеристик насоса. Перерахунок характеристик на іншу частоту здійснюється за допомогою, так званих формул приведення [16]:

$$\left. \begin{aligned} \frac{Q_{ном}}{Q^*} &= \frac{n_{ном}}{n^*}; \\ \frac{H_{ном}}{H^*} &= \left(\frac{n_{ном}}{n^*} \right)^2; \\ \frac{N_{ном}}{N^*} &= \left(\frac{n_{ном}}{n^*} \right)^3; \\ \frac{M_{ном}}{M^*} &= \left(\frac{n_{ном}}{n^*} \right)^2, \end{aligned} \right\} \quad (1,2)$$

де $n_{ном}$, n^* – номінальна і змінна частоти обертання, $хв^{-1}$;

$Q_{ном}$ і Q^* , $H_{ном}$ і H^* , $N_{ном}$ і N^* , $M_{ном}$ і M^* – подачі, напори насоса; потужності, споживані насосом, і моменти опору насосу при $n_{ном}$ і n^* відповідно.

Регулювання методом зміни частоти обертання електроприводу забезпечує необхідну величину тиску в системі без зниження ККД. Регулювання числа обертів - це єдиний спосіб, який забезпечує мінімально необхідне споживання при оптимальній ефективності приводу.

При використанні цього методу в гідросистемі підтримується відносно постійний напір (тиск) незалежно від витрати води. (рис. 1.8).

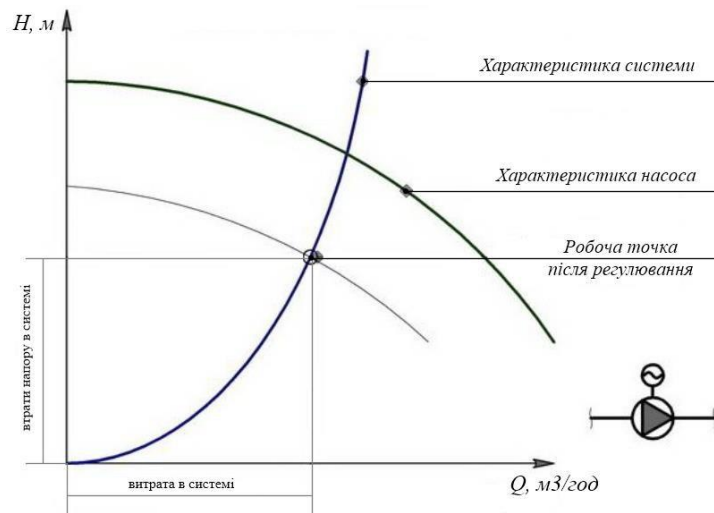


Рисунок 1.8 – Регулювання режиму роботи насоса зміною частоти обертання

Таким чином, при мінімальному споживанні (наприклад, вночі) насос обертається на низькій швидкості, необхідній лише для підтримки номінального тиску, і не споживає надлишку електроенергії. І навпаки, при збільшенні витрати води відбувається пропорційне збільшення числа обертів електродвигуна, що компенсує збільшення витрати води і підтримує тиск на заданому рівні.

Для регулювання швидкості електроприводу використовується регульований електропривод з частотним перетворювачем (ПЧ) [13].

Електроприводи з частотним регулюванням можуть підтримувати постійний тиск подачі або насоса, а можуть змінювати їх залежно від потреб системи в різний час доби або дні тижня.

Програмована зміна частоти обертання крильчатки не тільки забезпечить роботу насоса з максимальною ефективністю, але й забезпечить зниження шуму, що створюється при роботі, плавний пуск, зниження пускових струмів і усунення гідравлічних ударів.

Регулювання подачі відцентрового насоса шляхом зміни частоти обертання рекомендується в системах з частими і сильними коливаннями витрати води, а також при великих витратах електроенергії. У таких системах вартість інвертора може окупитися за кілька місяців [15].

1.5.3 Порівняння методів регулювання режимів роботи мережевого насосу

Відсутність регулювання або застосування методів регулювання гідравлічних режимів роботи призводить до значних втрат електроенергії та зниження ресурсу обладнання [17]. При цьому жоден з них не може забезпечити оптимальну роботу мережевого насоса в поєднанні з підтриманням необхідного тиску в трубопроводі та ефективним споживанням електроенергії.

Єдиним існуючим способом одночасного досягнення всіх цих цілей є регулювання зміною частоти обертання валу електроприводу.

Нижче наведено приблизні $H-Q$ – характеристики того самого електродвигуна, що працює в системі, що регулюється зазначеними вище методами (рис. 1.9) [18].

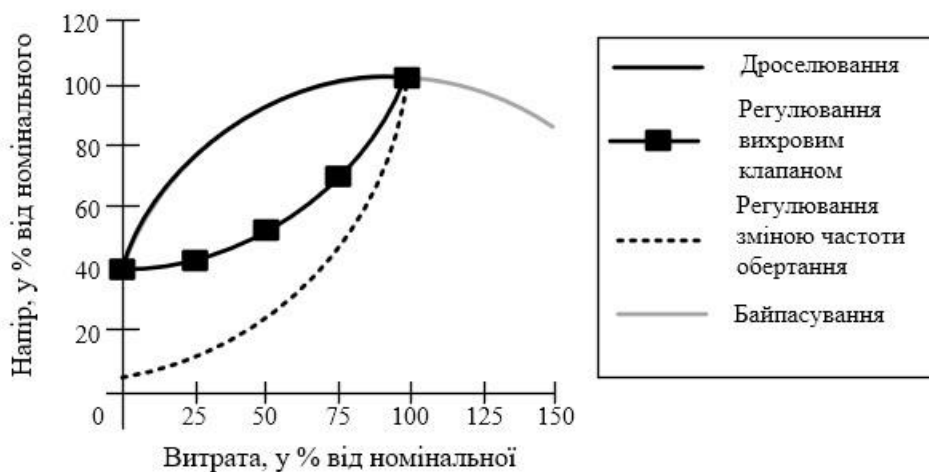


Рисунок 1.9 – Діаграма залежності ККД електроприводу в залежності від застосовуваного методу регулювання

Як показано на цьому графіку, тільки регулювання шляхом зміни частоти обертання може забезпечити мінімальну потужність електродвигуна при мінімальному споживанні.

Для кожного методу регулювання оптимальне співвідношення $H-Q$ – характеристика досягається при досягненні номінального значення витрати і одночасно номінального значення напору системи, коли ККД двигуна наближається до 1.

Відповідно, чим вище ККД, тим менше електроенергії витрачається на підтримку цієї потужності. Це співвідношення забезпечується тільки при зміні частоти обертання електропривода [19, 20].

1.6 Вимоги до регульованого електроприводу та системи керування мережевого насосу

Мережеві насоси - це механізми з тривалим режимом навантаження з малою кількістю включень і великою кількістю годин роботи. Навантаження на вал приводного двигуна спокійне, без перевантаження. Необхідний діапазон налаштування частоти знаходиться в межах 10-120% від номінального значення частоти обертання.

Навантаження на вал механізму чисто віялове, тобто статичний момент опору на валу механізму пропорційний квадрату обертів (1,2).

Електропривод повинен нормально працювати в умовах підвищеної вологості і відносно високих температур, а також мати максимально можливі показники надійності [21].

Так можна сформулювати вимоги до електроприводу. Електропривод повинен забезпечити:

- діапазон регулювання швидкості 3:1;
- перевантажувальну здатність не нижче 1,5;
- плавний пуск насосного агрегату і розгін до заданої швидкості;
- гальмування вибігом;
- кліматичне виконання УХЛ4;
- ступінь захисту не нижче IP44.

Автоматизація виробничого обладнання дає можливість швидше і точніше відтворювати технологічний процес. При повній автоматизації процесу оператору не потрібна постійна участь, він залишається в ролі спостерігача і коректора. В даний час виробниче обладнання зручно автоматизувати за

допомогою мікропроцесорних систем (програмованих автоматів), які дозволяють замінити жорстку логіку на програмне управління, підвищуючи тим самим надійність і гнучкість системи управління.

Визначимо вимоги до автоматизованої системи управління мережевим насосом:

- плавний пуск насосного агрегату і розгін до заданої швидкості;
- визначення необхідного напору в залежності від поточної витрати;
- стабілізація необхідного напору рідини в системі за рахунок регулювання швидкості обертання електродвигуна;
- вмикання і вимикання резервного насоса в залежності від необхідної витрати;
- введення в дію резервного насоса в разі аварії працюючого;
- автоматичний розгін насосного агрегату після зникнення напруги живлення (автоматичне повторне включення).

1.7 Висновки до розділу 1

1. Способи роботи магістрального (живильного) насоса значною мірою визначають ефективність роботи когенераційних установок. Вирішення питань ефективного регулювання продуктивності та напору, що дозволяють зменшити зношеність самого насоса, трубопроводів і запірно-регулюючої арматури, зменшити споживання електроенергії на власні потреби, на сьогодні є одним із головних факторів що забезпечують надійність роботи, економічність і маневреність котлотурбінного обладнання.

2. Оскільки найважливішою умовою економічності мережевих насосів є відповідне регулювання продуктивності, в сучасних установках поширене регулювання подачі зміною числа обертів замість клапанного регулювання.

3. За допомогою перетворювачів частоти можна збільшити частоту обертання насосів вище номінальної, тим самим збільшуючи продуктивність насоса. Потужність електроприводу зменшується пропорційно кубу обертів насоса, що може подовжити термін служби насосного агрегату.

РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ МЕРЕЖЕВИМ НАСОСОМ

2.1 Характеристика роботи мережевого насосу Черкаської ТЕЦ

На Черкаській ТЕЦ, яка була введена в експлуатацію в 1961 році, встановлені живильні (мережеві) електронасоси ЖЕН-1 і ЖЕН-5 типу ПЕ 500-180-3.

Параметри роботи насосів наступні:

$$Q = 500 \text{ м}^3/\text{год};$$

$$N_e = 3230 \text{ кВт};$$

$$n = 2985 \text{ об/хв};$$

$$t = 160^\circ\text{C}.$$

За час роботи до насосів виник ряд зауважень по роботі:

- зниження ККД;
- знос елементів проточної частини.

З метою підвищення надійності обладнання та зменшення споживання електроенергії при роботі насосів на Черкаській ТЕЦ прийнято рішення про заміну ЖЕН-5 типу ПЕ-500-180-2 на насос з подібні характеристики, але в сучасному дизайні, з підвищеною зносостійкістю, надійністю та економічністю. Можливою заміною став насос типу ПЕ-500-180-6.

В неопалювальний період, згідно з режимом роботи ТЕЦ, необхідно підтримувати мінімальне парове навантаження котлів $310 \div 350$ м³/год (або $280 \div 320$ т/год). У цих режимах роботи для живлення котлів живильною водою достатньо одного ЖЕНа.

У той же час при номінальній продуктивності насоса 500 м³/год його фактична продуктивність значно нижча і становить $61 \div 70\%$, що призводить до додаткових витрат електроенергії. У зв'язку з цим було прийнято рішення про заміну ЖЕН-1 на ЖЕН зі зниженою продуктивністю для роботи в

неопалювальний період і, можливо, для роботи в опалювальний період з низьким тепловим та електричним навантаженням.

Як бачимо, обидва мережеві насоси замінені на сучасні та менш ефективні, але це не враховує ризик того, що нові насоси повернуться до попереднього стану, тобто їх доведеться знову міняти на нові тощо. Це не ефективне рішення. Кращим рішенням буде зробити таку ж заміну, але з автоматикою управління в складі перетворювача частоти. По-перше, заміна насосів необхідна через зношеність обладнання, а по-друге, інвертор потрібен, оскільки він є ефективним засобом економії енергії (див. розд.1).

2.2 Основні завдання АСК ТП мережевим насосом

АСК ТП призначена для управління, контролю, діагностики та надійної роботи водогрійних і парових котлів, насосного обладнання, підтримки параметрів технологічного процесу в межах, встановлених нормативними документами щодо безпечної експлуатації теплоенергетичного обладнання, а також оперативного контролю процес виробництва теплової енергії у вигляді гарячої води в усіх режимах роботи, включаючи аварійні.

АСК ТП включає високоефективну цифрову розподілену систему на основі сучасних технологічних і програмних засобів, з використанням надійних і ефективних алгоритмів керування, яка має значно вищі технічні та експлуатаційні можливості, ніж існуюча система 70-90-х років минулого століття [22].

Створення АСК ТП розраховане на тривале функціонування в режимі реального часу та виконує наступні завдання:

- підвищення точності підтримки параметрів та економічності режимів роботи:

- насосним обладнанням;
- парових та водогрійних котлів;
- теплової мережі, які підключені до котельні;
- допоміжного технологічного обладнання, яке задіяне у виробництві енергії;

- підвищення «людино-машинного інтерфейсу» та оперативної ефективності управління, зменшення ймовірності помилкових дій персоналу та кількості несправностей з вини персоналу та полегшення роботи оперативного персоналу;
- розширення діагностики основного технологічного теплоенергетичного обладнання, а також програмно-технічних засобів АСК ТП;
- автоматична реконфігурація систем управління на основі поглибленої діагностики;
- підвищення коефіцієнтів доступності теплової енергії та насосного обладнання, коштів КВПіА;
- підвищення рівня уніфікації технічних рішень і засобів автоматизації обладнання котельні;
- значне зниження витрат на обслуговування системи.

2.3 Структура автоматизованої системи керування мережевим насосом

Вдалим прикладом реалізації комплексних заходів є створення автоматизованих систем дистанційного контролю та управління процесами водопостачання (АСУ ТП), особливо автоматизованої системи диспетчерського управління.

Реалізація зазначених заходів дає можливість здійснювати функції оперативного контролю основних параметрів технологічного процесу та виявлення та реєстрації аварійних і передаварійних ситуацій; дистанційне керування технологічним процесом водопостачання тощо.

Результатом впровадження таких систем є підтримання найбільш оптимальних режимів роботи системи водопостачання, що дає змогу зменшити втрати води на 5-7%, зменшити кількість аварійних пошкоджень труб до 10% та зменшити його час простою. , скоротити споживання енергетичних та паливних ресурсів на 2030%, забезпечити належну швидкість ліквідації надзвичайних ситуацій тощо.

Схема роботи САУ ТП наведена на рис. 2.1. На кожному об'єкті, що входить до складу САУ ТП, встановлюється мікроконтролер, який забезпечує збір інформації про стан пристрою за вимірюваними параметрами (тиск, витрата води, рівень в баках, струм насосного агрегату, споживання електроенергії) [23].



Рисунок 2.1 – Схема роботи АСУ ТП мережевим насосом

Далі по каналах зв'язку (кабель, радіо або GSM) інформація передається в центральну диспетчерську (ЦДП) компанії. Диспетчер може викликати будь-який об'єкт, вивести на екран схему об'єкта з робочим обладнанням і значеннями параметрів, а також проконтролювати пуск - зупинку насосних агрегатів, регулювання клапанами або приводами насосів. У системі водопостачання і розподілу інформація про тиск з контрольних точок водопровідної мережі також надходить на ЦДП. Пункти контролю обладнуються в місцях (найбільш віддалених від насосних станцій або на підвищених геодезичних знаках), що характеризують тиски в прилеглий мережі.

Інформація з контрольних точок передається на ЦДП і використовується для регулювання тиску на виходах насосних станцій.

Автоматизація насосних агрегатів в основному здійснюється різними методами і алгоритмами керування насосами:

- з перетворювачами частоти;
- з пристроями плавного пуску;
- з комбінуванням частотних перетворювачів і пристроїв плавного пуску;
- з регулюванням одним перетворювачем або декількома одночасно;
- з резервними насосами;
- з контролем нульової витрати;
- з контролем максимальної кількості одночасно працюючих насосів;
- з контролем рівномірної напрацювання насосних агрегатів тощо.

Схема автоматизації насосних агрегатів з перетворювачем частоти наведена на рис. 2.2 [23].



Рисунок 2.2 – Схема автоматизації насосних агрегатів з перетворювачем частоти

Установка системи автоматизованого управління (САУ) на базі частотнорегульованого приводу дозволить:

- керувати насосною станцією як в ручному режимі так і в автоматичному;
- значно економити електроенергію (від 30% до 50%);
- автоматизувати процес підтримки заданого тиску або витрати в системі водопостачання;
- забезпечити плавний пуск насосного агрегату (виключити гідравлічні удари) і зменшити навантаження на гідравлічне обладнання, проблеми з яким часто призводять до проривів в системі трубопроводів;
- стабілізувати тиск води і зменшити витрати води;
- системи автоматики забезпечать комплексний захист електродвигуна і насоса;
- контролювати напругу живлення і відновлювати роботу після збоїв живлення;
- автоматизувати розподіл навантаження між додатковими насосами для забезпечення максимальної ефективності;
- діагностувати і давати інструкцію несправностей на насосній станції.

Частотно-регульована електропроводка в основному складається з електродвигуна трифазного змінного струму і перетворювача, що забезпечує як мінімум плавний пуск електродвигуна, його зупинку, зміну швидкості і напрямку обертання. . Можливість такої настройки покращує динаміку електродвигуна і тим самим підвищує надійність і термін служби технологічного пристрою. Крім того, перетворювач дозволяє реалізувати автоматизацію практично будь-якого технологічного процесу. При цьому створюється система зворотного зв'язку, коли перетворювач автоматично змінює швидкість обертання електродвигуна, щоб підтримувати різні параметри системи на заданому рівні, наприклад, тиск, витрата, температура і т.д. рівень рідини тощо. Завдяки оптимальному керуванню електродвигуном залежно від навантаження, споживання електроенергії в насосі, вентиляторі, компресорі та ін. агрегатів зменшується на 40-50% і повністю зникають пускові струми, які

становлять 600-700% номінального струму і є катастрофою для пускорегулюючого пристрою. Застосування регульованих електроприводів на основі перетворювачів частоти дає можливість створити нову енергозберігаючу технологію, яка дозволяє не тільки економити електроенергію, а й збільшити термін служби електродвигунів і технологічного обладнання в цілому. Поява регульованого електроприводу дозволила підтримувати постійний тиск безпосередньо на приладі (рис. 2.3) [23].



Рисунок 2.3 – Принципова схема включення перетворювача частоти до насосної установки

У світовій практиці широко використовується частотно-регульований електропривод з асинхронним електродвигуном загальнопромислового призначення. В результаті адаптації загальнопромислових асинхронних двигунів до умов їх роботи в керованих електроприводах створюються спеціально регульовані асинхронні двигуни з більш високими енергетичними, масовими і вартісними показниками порівняно з неадаптованими.

Крім пристроїв загального призначення (контактори, магнітні пускачі, вимикачі, проміжні реле), для автоматизації насосного обладнання використовують спеціальні пристрої керування та контролю, наприклад, реле контролю наповнення відцентрових насосів, електродні реле рівня, різноманітні манометри та ін. Коротко розглянемо їх роботу на прикладі Черкаської ТЕЦ.

2.3.1 Попереджувальна сигналізація та захист

Для захисту насосної установки від пошкоджень при нормальній роботі передбачено автоматичне відключення робочої установки. Аварійна зупинка виконується при наступних несправностях:

1. при падінні тиску масла в лінії електродвигуна;
2. при падінні тиску масла в лінії насоса;
3. при осьовому зсуві ротора.

Крім аварійної зупинки агрегату, передбачається дія попереджувальної сигналізації в наступних випадках:

- при підвищенні температури насоса;
- при підвищенні температурного стану електродвигуна і масляної системи;
- при збільшенні перепаду тиску масла на масляному фільтрі;
- при падінні тиску масла в кінці лінії ЕД;
- при зниженні тиску води на виході з насоса;
- при підвищенні тиску води в камері за гідропідніжкою;
- при падінні тиску масла на кінці труби насоса;
- при збільшенні перепаду тиску масла на сітці насоса;
- при зниженні рівня масла в масляному баку;
- якщо в кришці електродвигуна є вода;
- з неприпустимим осьовим зміщенням ротора;
- якщо ланцюг запалювання ЖЕН не зібраний;
- якщо положення рециркуляційного клапана не збігається;
- при недотриманні положення засувки ЖЕН;
- при вимкненому автоматичному вимикачі локальної панелі ЖЕН.

2.3.2 Пристрої контрольованих величин

Для кожного насосного агрегату встановлюються індивідуальні первинні датчики і вторинні пристрої, які відстежують зміну того чи іншого параметра.

Для регулювання температури електродвигуна, масла і насоса використовуються термометри опору ТСП і вторинний прилад МТМ-292-СТ, призначений для почергового відображення вимірюваних параметрів на цифровому індикаторі. Пристрій забезпечує формування вихідних сигналів по кожному каналу при досягненні вимірюваним параметром заданих значень.

Контрольовані параметри пристрою:

- температура обмотки статора (фаза А);
 - температура обмотки статора (фаза В);
 - температура обмотки статора (фаза С);
 - температура сердечника статора (фаза А);
 - температура сердечника статора (фаза В);
 - температура сердечника статора (фаза С);
 - температура холодного повітря з боку вільного кінця шахти;
 - температура холодного повітря з боку насоса;
 - температура гарячого повітря;
 - температура охолоджувальної води на вході в повітроохолоджувач;
 - температура охолоджувальної води на виході з повітроохолоджувача;
 - температура води на вході в насос;
 - вода в камері крила;
 - температура верхньої частини кришки насоса;
 - температура нижньої частини корпусу насоса;
 - температура води на виході торцевого ущільнення з боку двигуна;
 - температура води на виході з торцевого ущільнення з боку вільного кінця вала.
- Для контролю та реєстрації стану температури електродвигуна, масла та насоса використовуються термометри опору ТСП та вторинний реєстратор РМТ 59Л (12-канальний), який призначений для вимірювання та реєстрації температурних параметрів, зберігання інформації та відображення виміряних значень у вигляді графіків, гістограм, таблиць, комбінованих варіантів або «мнемосхем» на кольоровому РК-екрані.
- Параметри, які контролюються приладом:

- температура підшипника з боку вільного кінця вала;
- температура підшипника з боку насоса;
- температура в маслозливному трубопроводі з боку вільного кінця вала;
- температура в масловідвідному трубопроводі з боку насоса;
- температура підшипників з боку двигуна;
- температура підшипника з боку вільного вала;
- температура води на вході в насос.

Манометри технічні ДМ 05 використовуються для контролю тиску масла, живильної води і конденсату, та манометри сигналізуючі ДМ Ст05. Принцип дії манометрів заснований на деформації гнучкої трубчастої пружини під дією вимірюваного тиску.

Датчик тиску «Сафір М» 5440-02-УХЛЗ.1 (+5...+ 80) -0,25-16,0 кПа -25-42-Н37-І (10...250 кПа) з блоком живлення БПС-24-2К-1 та вторинний прилад МТМ-310-с 4-20мА зі шкалою 0-500 т/год. Перетворювач тиску «Сафір М» 5440 призначений для плавного перетворення різниці тиску на діафрагмі витратоміра живильної води в однорідний електричний аналоговий сигнал постійного струму (4-20 мА).

Прилад МТМ-310-С призначений для цифрової індикації витрат живильної води насосом від перетворювача «Сафір М» 5440 з виведенням керуючих сигналів у схему автоматичного відкриття/закриття клапана рециркуляції при досягненні витрати встановлені значення.

Для контролю осьового переміщення ротора використовується вимірювальний комплект, який складається з: вихрострумове датчика ДВТ20х50х10, вимірювального перетворювача ІР34 Вх04х20х10, коробки перетворювача КП13.

Датчик-реле рівня РОС 102-111 УХЛ-(0,1; 0,1) призначений для контролю рівня масла в масляному баку, призначений для перевірки (сигналізації) граничних положень рівня масла в масляному баку.

2.3.3 Автоматика відкриття / закриття вентиля на лінії рециркуляції

Клапан відкривається автоматично, коли витрата живильної води падає нижче 130 т/год.

Клапан автоматично закривається, коли витрата води, що подається, перевищує 160 т/год.

Живильний насос можна запускати лише при відкритому рециркуляційному клапані.

Якщо клапан на рециркуляційній трубі не відкривається, спрацьовує технологічна сигналізація.

2.4 Енергоефективний алгоритм керування для перетворювача частоти

Загальним недоліком усіх регульованих електронасосних приводів з ПЧ є наявність постійних втрат енергії в перетворювачах, зумовлених їх ККД.

Але алгоритми керування інверторами на даний момент не є оптимальними, тому необхідно створити адаптивні алгоритми керування частотними перетворювачами для підтримки стабільного тиску у системі водопостачання.

Адаптивний алгоритм має вирішити таку задачу оптимізації, як підвищення ККД насосної установки з мінімальними енерговитратами. Цільова функція оптимізаційної задачі має такий вигляд:

$$I_{\text{дв}} = f(U, f, p), \quad (2.1)$$

де $I_{\text{дв}}$ – струм електродвигуна, А;

U – напруга електродвигуна, В;

$f = 50 \text{Гц}$ – частота мережі;

p – тиск в гідравлічній мережі, Па.

Граничні умови:

1. $\eta_{\text{аз}} = \eta_{\text{ПЧ}} \cdot \eta_{\text{дв}} \cdot \eta_{\text{Н}} \cdot \eta_{\text{Т}} \rightarrow \max$

де $\eta_{ПЧ}, \eta_{об}, \eta_H, \eta_T$ – ККД перетворювача частоти, електродвигуна, насоса, трубопроводу відповідно.

2. $I_{об} \rightarrow \min$

ККД асинхронного електродвигуна розраховується за наступною формулою:

$$\eta_{об} = \frac{P_2}{P_1} \quad (2.2)$$

де P_1 – споживана з мережі потужність, Вт;

P_2 – корисна потужність на валу електродвигуна, яка дорівнює:

$$P_2 = P_1 - P_{ел1} - P_{ст} - P_{ел2} - P_{мех} - P_{\delta}, \quad (2.3)$$

де $P_{ел1}$ – втрати потужності електричні в обмотці статора, Вт;

$P_{ст}$ – втрати в сталі, Вт;

$P_{ел2}$ – втрати потужності електричні в роторі, Вт;

$P_{мех}$ – втрати механічні, Вт;

P_{δ} – додаткові втрати, Вт.

Підставляючи значення втрат асинхронного електродвигуна (2.2) в формулу (2.3), отримуємо:

$$P_2 = P_1 \cdot \left(0,995 - \frac{n_1 - n_2}{n_1} \right) - 1,22 \cdot I_1^2 \cdot R_{1\phi} \cdot \left(1 - \frac{n_1 - n_2}{n_1} \right) - P_{ст} \left(1 - \frac{n_1 - n_2}{n_1} \right) - P_{мех}, \quad (2.4)$$

де n_1 – синхронна частота обертання, хв^{-1} ;

n_2 – частота обертання ротора, хв^{-1} ;

I_1 – струм електродвигуна, А;

$R_{1\phi}$ – опір фази обмотки.

З формули (2.4) випливає, що корисна потужність залежить від струму статора, частоти обертання, механічних втрат, втрат у сталі та опору обмотки статора.

Звідси можна зробити висновок, що при зменшенні струму статора корисна потужність на валу двигуна збільшиться, а отже ми підвищимо ККД асинхронного електродвигуна і робочої машини в цілому.

Для вирішення поставленої задачі була розроблена розрахункова схема автоматичного керування електроприводом насоса зі зворотним зв'язком по тиску та струму, яка необхідна для створення стабільного тиску у системі водопостачання та регулювання споживання енергії (рис. 2.4).

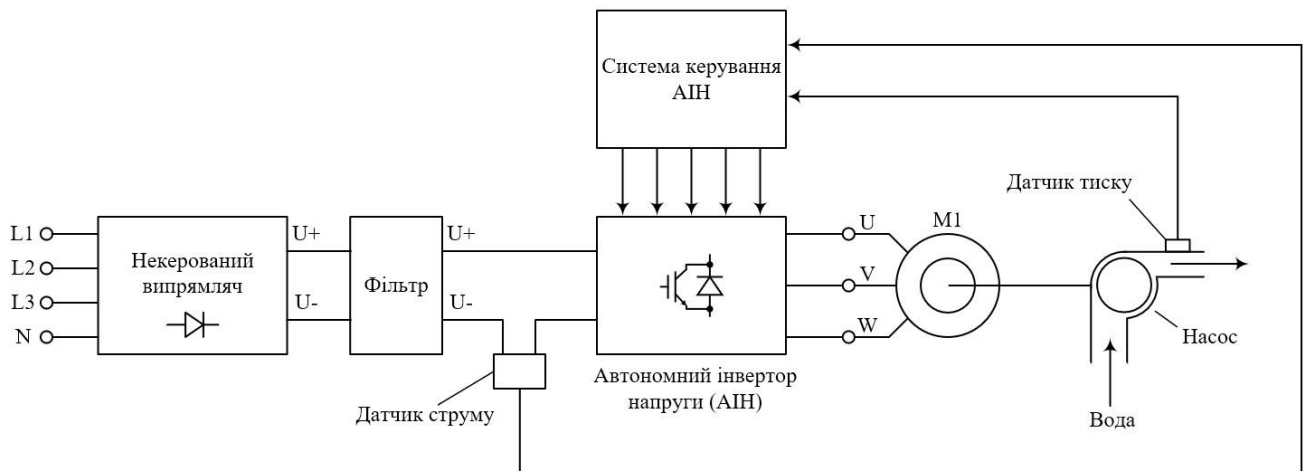


Рисунок 2.4 – Структурна схема регульованого електропривода мережевого насоса

Конструктивна схема електропривода насоса працює наступним чином. Трифазна змінна напруга 380 В подається на некерований випрямляч, який перетворює трифазну змінну напругу в постійну. Випрямлена напруга надходить на фільтр, де згладжується. Потім напруга постійного струму подається на окремий перетворювач напруги. Блок управління формує трифазну симетричну широтно-імпульсну модуляцію на автономному перетворювачі напруги. З виходу перетворювача напруга подається на електродвигун. Датчик струму необхідний для контролю струму двигуна і автоматичного вибору найменшого рівня споживання електроенергії. При зміні тиску за допомогою зворотного зв'язку сигнал надходить на блок управління і алгоритм перетворювача частоти самостійно регулює частоту обертання насоса, щоб тиск в системі було постійним.

Випускаються в даний час інвертори, незважаючи на величезну кількість переваг, мають наступні недоліки [24]:

- Гранична кількість стандартних законів регулювання частоти та напруги $U/f^n = \text{const}$.

Для насосів, що працюють без статичного напору, механічні характеристики яких описуються рівнянням квадратичної параболи, має виконуватися співвідношення [7]:

$$\frac{U}{f^2} = \text{const} \quad (2.5)$$

На практиці в більшості випадків у насосних установках використовуються ПЧ загальнопромислового використання, які забезпечують відношення [7]:

$$\frac{U}{f} = \text{const} \quad (2.6)$$

- Можливість ручного підбору закону управління обмежена максимум 5-ма точками.

- Відсутність адаптивного підбору параметрів, які забезпечують мінімальне енергоспоживання і стабільний тиск при підключенні ПД-регулятора тиску.

2.4.1 Адаптивний алгоритм, що підлаштовується під мінімальне енергоспоживання робочої машини з максимальним ККД

Незручно підбирати закон керування для кожного конкретного двигуна, набагато простіше створити адаптивний алгоритм, який буде містити функцію пошуку мінімального струму при регулюванні стабільності напруги та частоти електромережі.

Проте мінімальний струм не означає мінімальне енергоспоживання, тому було проведено низку експериментальних досліджень, наведених у [24], метою яких було визначення мінімального струму та активної потужності при постійній частоті джерела живлення. мережі та регулювання вхідної напруги.

Результати досліджень, представлені в [24], показують, що стандартні закони керування не є оптимальними, тому актуальним є завдання створення алгоритму, який би самостійно адаптувався до конкретного електродвигуна.

На рис. 2.5 представлений алгоритм адаптивного перетворювача частоти, який адаптується до мінімального енергоспоживання двигуна з максимальною ефективністю.

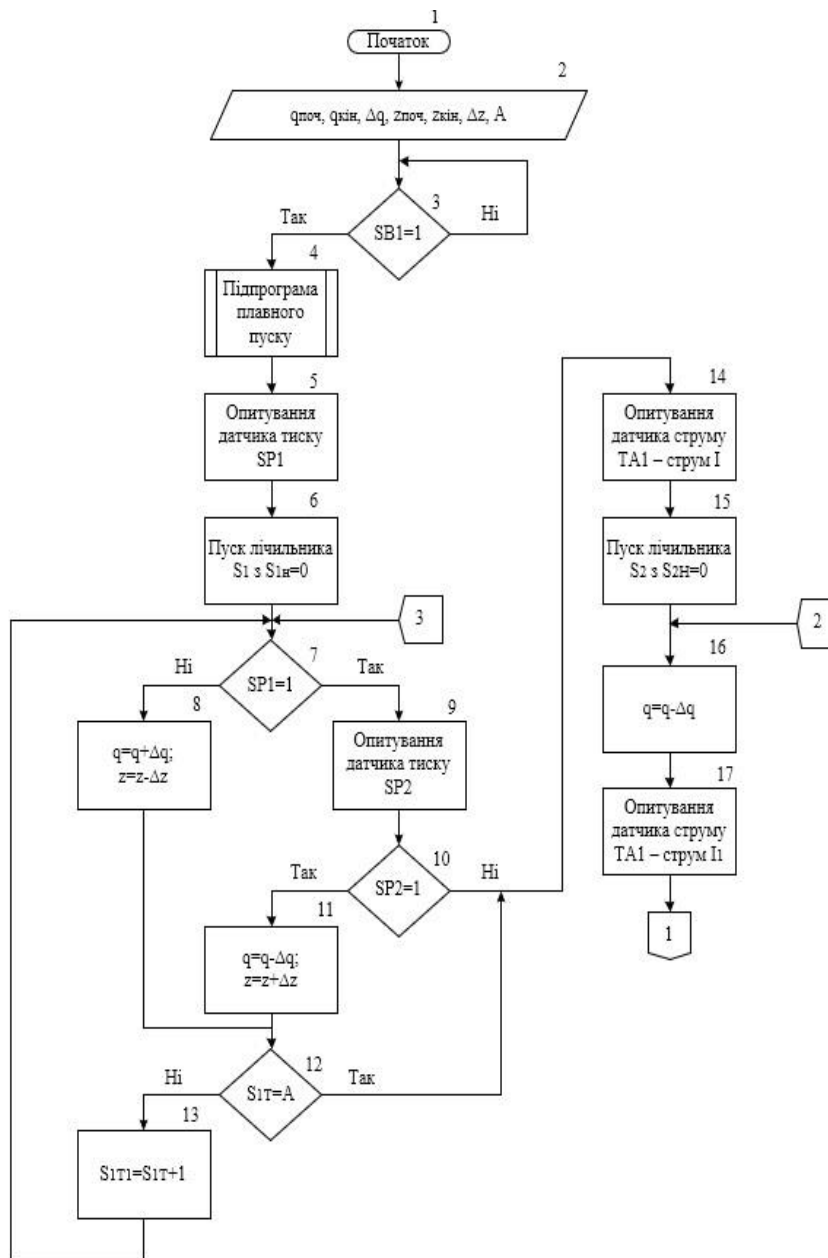


Рисунок 2.5 – Структурна схема адаптивного алгоритму управління перетворювачем частоти (початок)

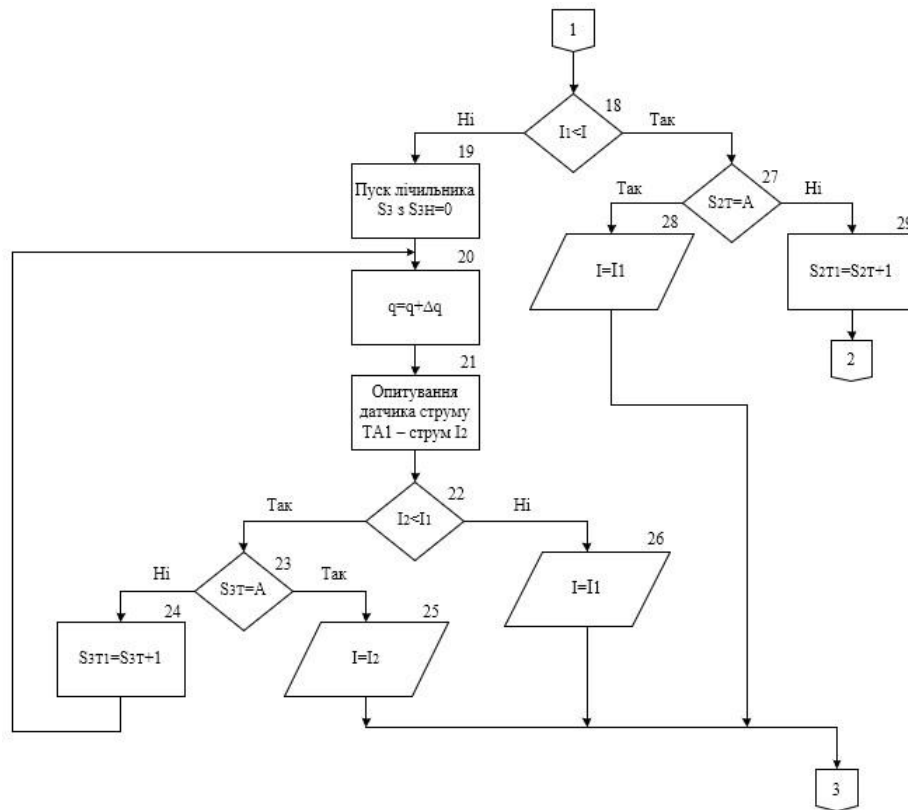


Рисунок 2.5 – Структурна схема адаптивного алгоритму управління перетворювачем частоти (кінець)

Робота алгоритму полягає в автоматичному знаходженні оптимального значення струму, відповідного мінімальному споживанню енергії. При включенні алгоритму в роботу в програму (блок 2) вводяться постійні величини: початкове значення, кінцеве значення і крок зміни коефіцієнта заповнення і кількості імпульсів, значення затримки, яка враховує інерційність системи (A). Коефіцієнт заповнення імпульсу (q) відповідає за амплітуду напруги, а кількість імпульсів (z) — за частоту струму мережі.

У блоці 3 здійснюється виклик кнопки «Пуск» - SB1. При її натисканні (SB1=1) алгоритм переходить до підпрограми плавного пуску за лінійним законом керування (блок 4), в іншому випадку алгоритм повертається до перевірки кнопки SB1.

У блоці 5 запитується дискретний датчик мінімального тиску SP1 (тиск нижче заданого). У блоці 6 лічильник S1 запускається з початкового значення $S_{1H} = 0$.

Блок 7 перевіряє, чи закритий датчик ($SP1 = 1?$). Якщо він не закритий, то q збільшується, а z зменшується на один крок у блоці 8. Далі алгоритм переходить до блоку 12, де перевіряється значення A лічильника інерції.

Якщо поточне значення S_{1T} не дорівнює A , то в блоці 13 S_{1T} збільшується на 1 і повертається до блоку 7.

Якщо $SP1$ закритий, викликається датчик максимального тиску $SP2$. Якщо $SP2$ закритий, то в блоці 11 q зменшується, а z збільшується на один крок. Далі алгоритм переходить до блоку 12, в якому перевіряється значення лічильника z A .

Якщо поточне значення S_{1T} не дорівнює A , то в блоці 13 S_{1T} збільшується на 1 і повертається до блоку 7.

Якщо $SP2$ не замкнений, то алгоритм переходить до блоку 14 – з опитуванням датчика струму $TA1$, в результаті чого виходить значення струму I .

У блоці 15 запускається лічильник $S2$ з початковим значенням $S_{2H} = 0$. У блоці 16 q зменшується на один крок. У блоці 17 викликається датчик струму $TA1$, в результаті чого отримується значення струму $I1$. У блоці 18 поточний струм $I1$ порівнюється з попереднім значенням струму I .

Якщо струм $I1 < I$, то в блоці 27 поточне значення лічильника S_{2T} порівнюється з A . Якщо значення лічильника S_{2T} не дорівнює A , то в блоці 29 S_{2T} збільшується на 1 і повертається до блоку 16 і якщо значення лічильника S_{2T} дорівнює I , то параметри q і z залишаються незмінними. І далі двигун працює з цими параметрами на мінімальному струмі $I1$.

Якщо струм $I1 > I$, то в блоці 19 запускається лічильник $S3$ з початковим значенням $S_{3H} = 0$. У блоці 20 q збільшується на один крок. У блоці 21 викликається датчик струму $TA1$, в результаті чого виникає струм $I2$.

Якщо струм $I2 < I1$, то блок 23 порівнює поточне значення лічильника S_{3T} з A . Якщо значення S_{3T} не дорівнює A , то блок 24 збільшує S_{3T} на 1 і повертається до блоку 20, а якщо значення лічильника S_{3T} дорівнює A , то параметри q і z залишаються незмінними. І далі двигун працює з цими параметрами на мінімальному струмі $I1$.

При наступній зміні тиску в системі водопостачання виявляється датчик тиску і витрати і шукається значення оптимальних параметрів для нового потоку..

2.4.2 Адаптивний алгоритм за критерієм «баланс потужності»

Даний алгоритм ефективний при надлишковому тиску в трубопроводі на величину динамічного тиску, коли подача нижче максимального (розрахункового) значення. Під надлишковим тиском розуміється значення тиску води в системі, яке перевищує необхідне значення на величину динамічного тиску при фактичній подачі. При максимальній подачі надлишковий тиск відсутній, він виникає при дроселюванні в нерегульованих насосних агрегатах за рахунок властивостей гідравлічної характеристики клапана (регулятора), а в регульованих насосах, що працюють від установки постійного тиску, що охоплює змінну подачу, за рахунок властивостей характеристики труби без впливу регулюючої арматури.

Принцип мінімізації надлишкового тиску заснований на переміщенні по траєкторії витрато-напірної характеристики труби у функції подачі із заданим запасом тиску. (рис. 2.6) [25].

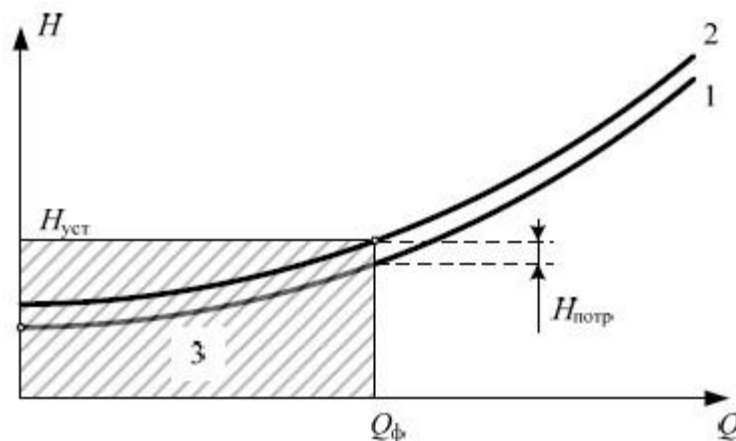


Рисунок 2.6 – Поняття потрібної потужності: 1 – характеристика трубопроводу; 2 – характеристика споживання при регулюванні по витраті; $H_{уст}$ – тиск, виміряний датчиком тиску в напірному колекторі; $H_{потр}$ – потрібний тиск

(запас по тиску); Q_{ϕ} – фактична подача (заздалегіть невідома)

Безліч значень подачі насосної установки і безліч відповідних їй значень тиску об'єднує поняття потужність як $\frac{\gamma g H Q}{3600}$ (Вт). При заданні керуючої траєкторії робочих точок у вигляді лінійного рівняння або таблиці $Q = f(H)$ для конкретного об'єкта величина потрібної потужності може бути порівняна з потужністю, фактично споживаної насосною установкою з електромережі. Різниця потужностей подасть керуючий сигнал до контролера потоку з відомими показниками тиску в колекторі тиску та розрахованим вхідним сигналом. Принцип управління фактично означає регулювання живлення насосної установки відповідно до необхідної продуктивності.

Обсяг фактичної подачі заздалегіть невідомий, але його можна оцінити за непрямыми параметрами, що відображають технологічний процес транспортування рідини відцентровими насосами [25]:

- 1) за струмом статора нерегульованого двигуна, що живиться від мережі;
- 2) за вихідною потужністю перетворювача ПЧ.

У першому випадку існує ряд досліджень, які доводять однозначну залежність струму статора нерегульованого двигуна від джерела живлення в такому порядку [26, 27]:

– Відомо номінальну напругу U_n двигуна, номінальний струм I_{cn} , коефіцієнт потужності $\cos\phi$, ККД двигуна η_d , напірна характеристика насоса з кривою потужності і ККД при номінальній частоті обертання η_n .

Струм намагнічування з похибкою до 3% умовно-постійний і пов'язаний з номінальним струмом $I_{\mu} = I_{cn} \sin \varphi = I_{cn} \sqrt{1 - (\cos \varphi)^2}$.

– Активний струм (діюче значення), споживаний двигуном з електромережі і визначається векторною різницею фактичного виміряного повного струму і струму намагнічування $I_a = \sqrt{I_c^2 - I_{\mu}^2}$.

– Активна потужність, споживана двигуном з мережі і передається на вал механізму, пов'язана з ККД двигуна, що приймається в діапазоні завантаження від 60

до 100% умовно-постійною і рівною номінальній, $P_a = U_n I_a \eta_d \eta_n$. Для групи однотипних приводів активна потужність обчислюється сумою струмів.

– Величина подачі Q через насосний агрегат визначається по кривій потужності або з виразу $P = \frac{\gamma g H Q}{3600 \eta_n}$.

У другому випадку активна потужність розраховується в регуляторі ПЧ на основі фактичного струму в проміжному ланцюзі та закону керування інверторного перетворювача. Більшість перетворювачів векторного керування мають функцію обчислення потужності. Значення вводиться в баланс потужності через ККД двигуна, насоса та інвертора.

Алгоритм керування може бути реалізований лише за принципом адаптивного керування за критерієм адаптації – балансом необхідної та фактичної продуктивності (рис. 2.7):

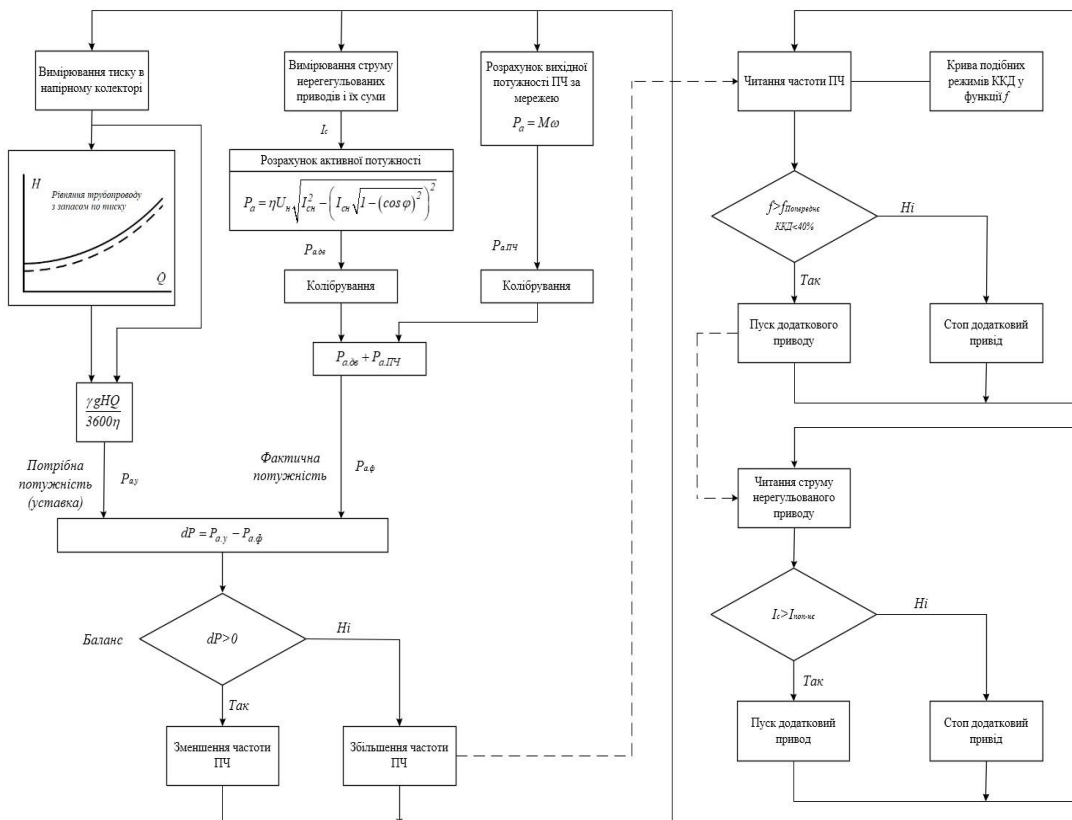


Рисунок 2.7 – Адаптивний алгоритм за критерієм «баланс потужності»

- моделлю системи відліку є характеристика трубопроводу з запасом тиску. Контрольною точкою є вимірний тиск у напірному колекторі.
- дисбаланс базується на вимірному струмі статора нерегульованого приводу та вимірній активній потужності регульованого приводу.
- керуючим сигналом є вихідна частота перетворювача ПЧ.
- сигнал впливу – це аналоговий вхід ПЧ, який отримує сигнал невідповідності (дисбаланс потужності).

Критеріями контролю для нерегульованих насосів можуть бути: неприпустимо висока частота перетворювача частоти, неприпустимо високий струм статора двигуна нерегульованого насоса, спрацьовування кінцевого вимикача на гідравлічному клапані.

Мінімізація надлишкового тиску є одним з найбільш ефективних методів управління регульованими насосними агрегатами. При застосуванні гідрозатворів технічно реалізований спосіб керування, має бути дотриманий критерій оптимальності «баланс потужностей». Застосування алгоритму є найбільш ефективним у системах зі значно малим значенням статичного тиску. Недолік: регулюється електропривод з інвертором завдяки своєму ККД підтримує постійні втрати енергії.

Цей недолік також суттєвий з точки зору енергоефективності, він частково або повністю вирішується в попередньому алгоритмі, який адаптується до мінімального енергоспоживання робочої машини при максимальній ефективності. Отже, враховуючи цей факт, ми дійшли висновку, що перший з двох розглянутих адаптивних алгоритмів є більш ефективним.

2.5 Висновки до розділу 2

1. Під час використання насосів на Черкаській ТЕЦ були зауваження щодо роботи мережевого насоса, зокрема зниження ефективності, що вплинуло на енергоспоживання.

2. Впровадження системи автоматичного керування мережевим насосом на основі перетворювача частоти дозволяє виконувати функції контролю основних

параметрів, діагностики несправностей та покращення енергетичних параметрів насосного обладнання.

3. З огляду на те, що кожен насос має індивідуальний момент опору, закон керування електроприводом також має бути індивідуальним. Представлений адаптивний алгоритм змінює частоту обертання насоса таким чином, щоб тиск був завжди постійним з мінімально можливим споживанням енергії.

РОЗДІЛ 3 ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ РЕГУЛЬОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ МЕРЕЖЕВОГО НАСОСУ

3.1 Математична модель системи управління мережевим насосом на основі адаптивного алгоритму управління ПЧ

Як зазначалося в розділі 2, одним із шляхів підвищення ефективності електродвигуна є створення адаптивного методу керування інвертором, який буде налаштований на керування електродвигуном з мінімальними енерговитратами. Для перевірки цього припущення необхідно розробити комп'ютерну модель.

Щоб знайти точку мінімального струму, в якій насосна установка буде подавати воду із заданим тиском, система автоматично знижує напругу на одну сходинку з постійною частотою і розраховує силу струму електродвигуна. Коли воно зменшується, система буде зменшувати напругу, поки струм не почне збільшуватися. Після цього система повернеться до попереднього значення напруги на цій частоті і продовжить працювати, забезпечуючи необхідний тиск у системі водопостачання.

Тому для перевірки сформульованої гіпотези необхідно розробити комп'ютерну модель.

Така модель матиме наступний вигляд, зображений на рис. 3.1.

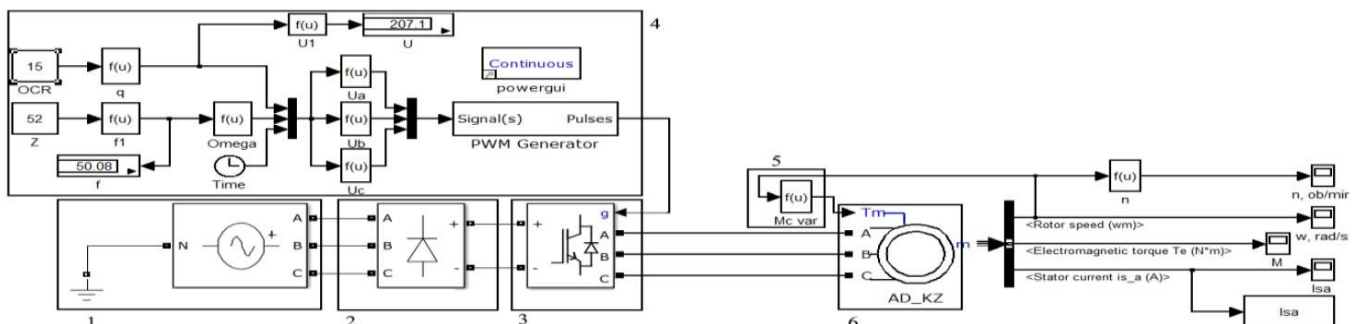


Рисунок 3.1 – Комп'ютерна модель системи «асинхронний електродвигун – перетворювач частоти – мережевий насос»: 1 – трифазна система напруг; 2 – трифазний випрямляч; 3 – автономний

інвертор напруги; 4 – система управління автономного інвертора напруги; 5 – відцентровий насос; 6 – асинхронний електродвигун

Кожен блок на рис. 3.1 описується наступними математичними рівняннями:

1) Трифазна система напруг:

$$\begin{cases} U_A = U_m \sin(\omega t), \\ U_B = U_m \sin\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right), \\ U_C = U_m \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) \end{cases} \quad (3.1)$$

де U_m – максимальна напруга, В;

ω – циклічна частота мережі, с^{-1} .

2) Трифазний некерований випрямляч:

Середня випрямлена напруга:

$$U_d = 2,34U_0, \quad (3.2)$$

де U_0 – фазна напруга вторинної обмотки трансформатора, В.

Середній випрямлений струм:

$$I_d = \frac{U_d}{R_n} \quad (3.3)$$

де R_n – номінальний опір навантаження.

3) Автономний інвертор напруги і його система управління математично описується наступним чином [28]:

Вихідна напруга фази А при 6-зонній ШІМ описується наступним чином:

$$U_a = \begin{cases} \frac{1}{3}U_{II}, & 0 \leq t \leq \frac{T}{6}, \\ \frac{1}{3}U_{II}, & \frac{T}{6} < t \leq \frac{T}{3}, \\ \frac{1}{3}U_{II}, & \frac{T}{3} < t \leq \frac{T}{2}, \\ -\frac{1}{3}U_{II}, & \frac{T}{2} < t \leq \frac{2T}{3}, \\ -\frac{2}{3}U_{II}, & \frac{2T}{3} < t \leq \frac{5T}{6}, \\ -\frac{1}{3}U_{II}, & \frac{5T}{6} < t \leq T. \end{cases} \quad (3.4)$$

Формування трифазної синусоїди:

$$\begin{cases} U_A = qU_m \sin(\omega t), \\ U_B = qU_m \sin\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right), \\ U_C = qU_m \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right), \end{cases} \quad (3.5)$$

де q – коефіцієнт заповнення імпульсів.

Вихідна частота ШІМ розраховується за формулою:

$$f = \frac{F_{clk}}{512NZ} \quad (3.6)$$

де F_{clk} – тактова частота мікроконтролера;

Z – кількість імпульсів;

N – кількість ключів інвертора.

У даній математичній моделі мінімізація фазного струму відбувається шляхом задання коефіцієнта заповнення, при заданій кількості імпульсів. А стабілізація тиску відбувається шляхом задання кількості імпульсів.

5) Асинхронний двигун

Математичний опис асинхронного двигуна запишемо в нерухомій системі d-q [29] в наступному вигляді:

$$\left\{ \begin{array}{l} U_{qs} = R_s i_{qs} + \frac{d\Psi_{qs}}{dt} + w \cdot \varphi_{qs}, \\ U_{ds} = R_s i_{ds} + \frac{d\Psi_{ds}}{dt} + w \cdot \varphi_{ds}, \\ U_{qr} = R_r i_{qr} + \frac{d\Psi_{qr}}{dt} + (w - w_r) \cdot \varphi_{qr}, \\ U_{dr} = R_r i_{dr} + \frac{d\Psi_{dr}}{dt} + (w - w_r) \cdot \varphi_{dr}, \\ Te = 1,5p(\Psi_{ds} I_{qs} - \Psi_{qs} I_{ds}), \end{array} \right. \quad (3.7)$$

де $\Psi_{qs} = L_s i_{qs} + L_m i_{qr}$ – проекція потокощеплення статора на вісь q ;

$\Psi_{ds} = L_s i_{ds} + L_m i_{dr}$ – проекція потокощеплення статора на вісь d ;

$\Psi_{qr} = L_r i_{qr} + L_m i_{qs}$ – проекція приведеного потокощеплення ротора на вісь q ;

$\Psi_{dr} = L_r i_{dr} + L_m i_{ds}$ – проекція приведеного потокощеплення ротора на вісь d ;

$L_s = L_m + L_{Is}$ – індуктивність статора;

$L_r = L_m + L_{Ir}$ – приведена індуктивність ротора.

Номінальна кутова швидкість ротора визначається на основі виразу ковзання:

$$S_n = \frac{w_0 - w_n}{w_0} \quad (3.8)$$

де w_n – номінальна кутова частота обертання ротора.

$$w_n = w_0 (1 - S_n), \text{ рад / с.} \quad (3.9)$$

На основі Т-подібної схеми заміщення (рис. 3.2) виконується математичний опис асинхронного двигуна і розробка його динамічної моделі.

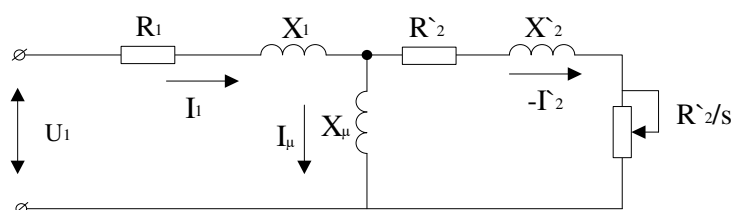


Рисунок 3.2 – Схема заміщення асинхронного двигуна

Позначення на рис. 3.2:

R_μ, X_μ – активний і індуктивний опори контуру намагнічування;

R_1, X_1 – активний і індуктивний опори обмоток статора, в. о.;

R'_2, X'_2 – активний і індуктивний опори обмоток ротора, приведені до обмотки статора, в. о.;

R'_2 / s – змінне активне навантаження.

Еквівалентний активний опір R_c статорного кола:

$$R_c = 1,825 \left(R_1 + R_2 \cdot \frac{L_m^2}{L_p^2} \right), \quad (3.10)$$

де $L_m = \frac{X_m}{2 \cdot \pi \cdot f_{1ном}}$ – еквівалентна індуктивність намагнічуючого контуру;

$L_1 = \frac{X_1}{2 \cdot \pi \cdot f_{1ном}}$ – індуктивність статорного кола;

$L'_2 = \frac{X'_2}{2 \cdot \pi \cdot f_{1ном}}$ – індуктивність роторного кола.

Еквівалентна індуктивність статорного кола:

$$L_c = 1,825 \left(L_c - \frac{L_m^2}{L_p^2} \right), \quad (3.11)$$

б) Відцентровий насос моделюється через статичний теоретичний момент насоса [30]:

$$M_{c теор} = M_{сн} + (M_n - M_{сн}) \left(\frac{w}{w_n} \right)^2, \quad \text{Нм} \quad (3.12)$$

$$M_{сн} = 0,3M_n, \quad \text{Нм} \quad (3.13)$$

де M_n – номінальний момент опору, Нм;

W_n – номінальна кутова швидкість обертання електродвигуна, c^{-1} ;

W – кутова частота обертання електродвигуна, c^{-1} .

Зворотний зв'язок за тиском математично описується наступним рівнянням:

– із Q-H-характеристики для насоса ПЕ 500-180-3:

$$H = -0,039Q^3 + 0,0302Q^2 - 0,2308Q + 2220 \text{ м} \quad (3.14)$$

– використовуючи відношення між напором і частотою обертання:

$$\frac{Q}{Q_n} = \frac{n}{n_n} \rightarrow Q = \frac{Q_n}{n_n} n \quad (3.15)$$

– визначаємо залежність $H = f(n)$:

$$H = -0,039 \left(\frac{Q_n}{n_n} n \right)^3 + 0,0302 \left(\frac{Q_n}{n_n} n \right)^2 - 0,2308Q + 2220 \text{ м} \quad (3.16)$$

Підтримуючи напір або тиск постійним, можна визначити частоту обертання, яку повинен розвивати електропривод.

З частоти обертання ми знаходимо частоту живильної мережі, відповідно, і кількість імпульсів, що подається на вхід мікроконтролера.

За матрицями U і f лінійного закону управління $\frac{U}{f} = const$, який

використовується для запуску електродвигуна, для розрахованого значення f визначається U і підставляється в формулу розрахунку струму електродвигуна і моменту. Потім для знаходження точки мінімуму струму, при якій насосний агрегат буде подавати воду в систему з заданим тиском, система автоматично буде знижувати напругу на один щабель при незмінності частоти і розраховувати струм електродвигуна.

3.1.1 Розробка і розрахунок параметрів комп'ютерної моделі регульованого електроприводу мережевого насоса на основі адаптивного алгоритму управління ПЧ

Модель включає OCR (напругу) і f (частоту) на виході формувача імпульсів ПЧ ШІМ як задані змінні. У цій моделі дані про струм статора передаються в робочу зону та обробляються далі статистично, після чого визначається максимальне значення струму статора, а потім змінюються вхідні параметри. Зі збільшенням струму статора коефіцієнт заповнення імпульсу змінюється таким чином, що струм є мінімальним. В результаті можна підібрати режими енергозбереження для будь-якого насоса і запам'ятати закони регулювання ПЧ.

В результаті комп'ютерного моделювання необхідно вирішити наступні задачі:

- 1) отримати графіки залежності частоти обертання, електромагнітного моменту, фазного струму статора від часу моделювання;
- 2) перевірити адекватність гіпотези про зменшення кількості спожитої електроенергії.

Об'єктом дослідження обрано живильний насос ПЕ 500-180-3 (табл. 3.1) з приводним електродвигуном 4АЗМ 4000/6000 УХЛ4 (табл. 3.2), який керується високовольтним перетворювачем частоти АВВ ACS 5060. регулювання (табл. 3.3).

Таблиця 3.1 – Параметри мережевого насосу

Тип насосу	Номінальна подача Q , м ³ /год / P напір кг/см ²	P на вході, кг/см ²	Частота обертання, об/хв	ККД, %	Температура води, °С
ПЕ 500-180-3	500/1975	4	2975	75	120

Таблиця 3.2 – Параметри приводного електродвигуна

Потужність P , КВт	Напруга живлення, U , В	Струм статора, А	Частота обертання, об/хв	ККД, %	$\cos\varphi$	З'єднання обмоток
4000	6000	177	2980	97,3	0,89	зірка

Таблиця 3.3 – Параметри перетворювача частоти

Тип	Повна потужність, КВА	Напруга живлення, КВ	Вхідна частота, Гц	$\cos\varphi$
ACS 5060	4800	6	50	Контролюється до 1.0

Параметри схеми заміщення електродвигуна наведені в табл. 3.4.

Таблиця 3.4 – Параметри схеми заміщення

Активний опір обмотки статора R_C , Ом	0,018
Активний опір обмотки ротора R_P , Ом	0,014
Індуктивний опір намагнічуючого кола X_m , Ом	4,15
Індуктивний опір статора X_C , Ом	0,093
Індуктивний опір ротора X_P , Ом	0,13

Еквівалентний активний опір R_e статорного кола:

– еквівалентна індуктивність намагнічуючого контуру:

$$L_m = \frac{X_m}{2 \cdot \pi \cdot f_{\text{ном}}} = \frac{4,15}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,0132 \text{ (Гн)}$$

– індуктивність статорного кола:

$$L_1 = \frac{X_1}{2 \cdot \pi \cdot f_{\text{ном}}} = \frac{0,093}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,000296 \text{ (Гн)}$$

– індуктивність роторного кола:

$$L_2 = \frac{X_2}{2 \cdot \pi \cdot f_{\text{ном}}} = \frac{0,13}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,000414 \text{ (Гн)}$$

– еквівалентна індуктивність статорного кола:

$$L_c = L_m + L_1 = 0,0132 + 0,000296 = 0,0135 \text{ (Гн)}$$

– еквівалентна індуктивність роторного кола:

$$L_p = L_m + L_2 = 0,0132 + 0,000414 = 0,0136 \text{ (Гн)}$$

Еквівалентний активний опір:

$$R_c = 1,825 \left(0,018 + 0,014 \cdot \frac{0,0132^2}{0,000414^2} \right) = 26 \text{ (Ом)}$$

Еквівалентна індуктивність статорного кола:

$$L_c = 1,825 \left(0,451 - \frac{0,436^2}{0,437} \right) = 1855 \text{ (Гн)}$$

Еквівалентна стала часу T_e роторного кола:

$$T_e = \frac{L_e}{R_e} = \frac{1855}{26} = 71,35$$

3.1.2 Моделювання процесів зниження споживаного струму на комп'ютерній моделі

Для підтвердження гіпотези про зменшення споживання електроенергії статором при регулюванні напруги в системі MATLAB була побудована комп'ютерна модель (рис. 3.3), що складається з автономного перетворювача напруги, підключеного до мережі постійної напруги, генератора імпульсів, трифазного генератора напруги, і регулювання напруги і частоти мережі. електродвигун разом з відцентровим насосом міститься в моменті опору. Час моделювання становить 0,35 с, що достатньо для живлення електродвигуна від запуску до робочого режиму.

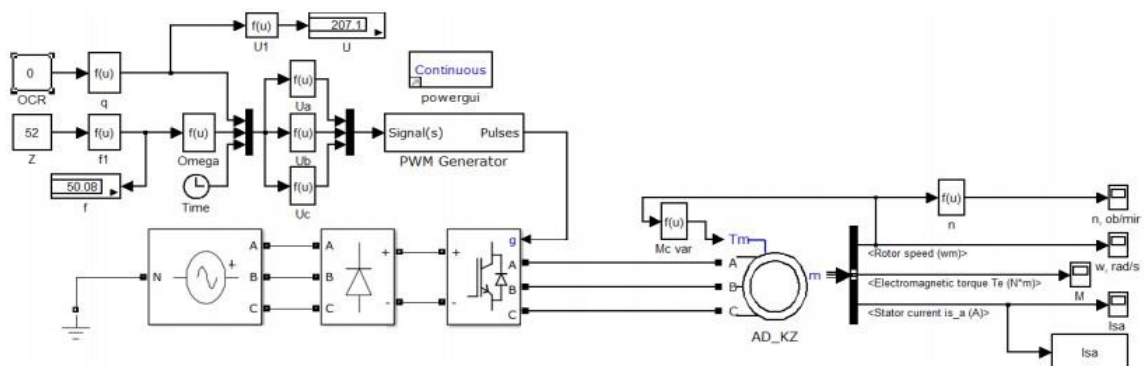


Рисунок 3.3 – Комп'ютерна модель до зміни напруги електродвигуна

В результаті моделювання були отримані залежності частоти обертання, моменту і струму фази А (рис. 3.4 - 3.6).

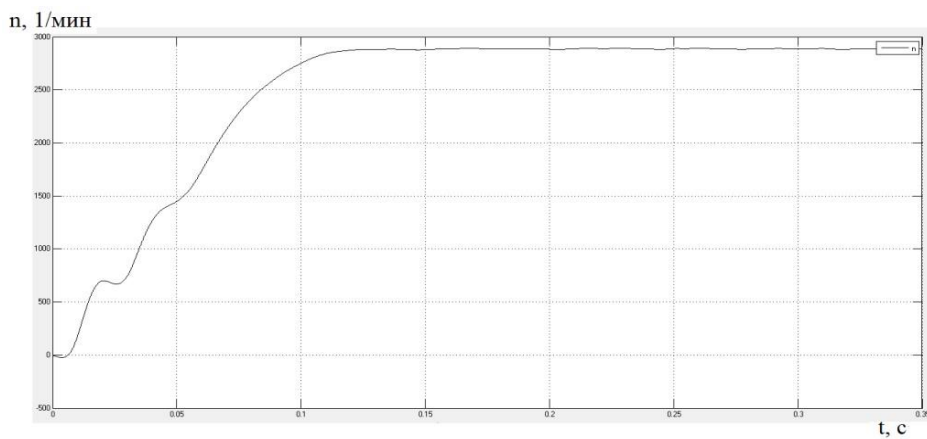


Рисунок 3.4 – Залежність частоти обертання від часу до регулювання напруги

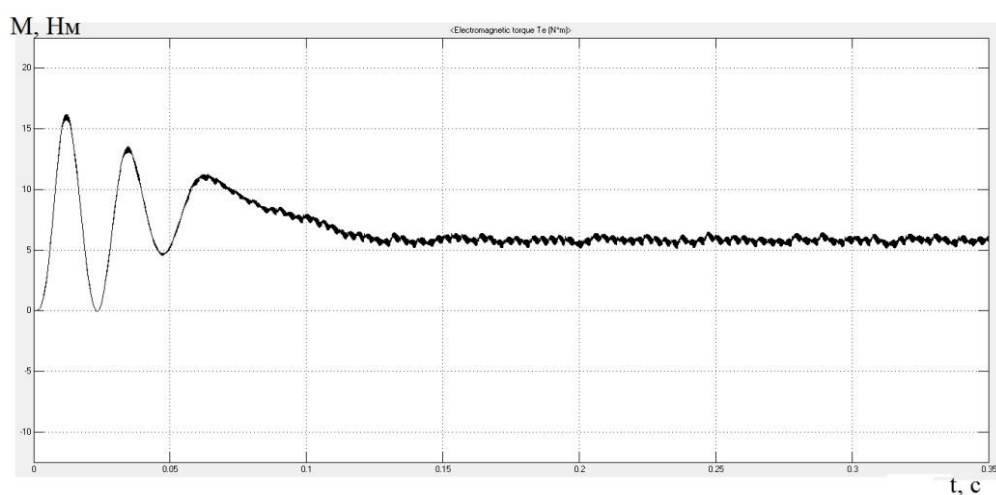


Рисунок 3.5 – Залежність моменту від часу до регулювання напруги

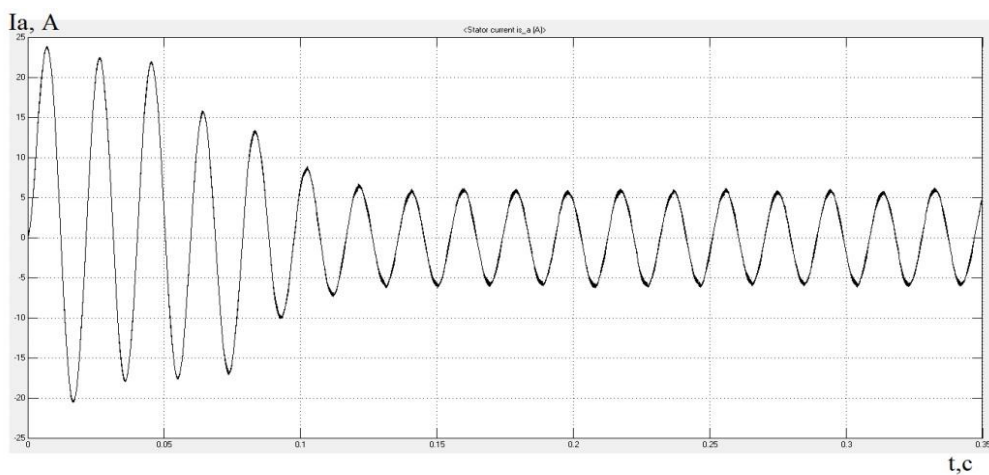


Рисунок 3.6 – Графік залежності струму статора фази А від часу до зміни напруги

Аналізуючи графіки, видно, що процес запуску займає близько 0,12 секунди. Пусковий струм досягає 23,8448 А.

Максимальне значення струму статора фази А становить 23,8448 А, а мінімальне значення – 20,5550 А (рис. 3.6).

Подібним чином отримано модель для випадку регулювання значення фазної напруги (рис. 3.7).

Аналіз отриманих залежностей (рис. 3.8, 3.9) дає змогу зробити висновок, що час розгону електродвигуна та крутний момент не змінюються порівняно з попереднім моделюванням (рис. 3.4, 3.5). Отже, можна зробити висновок, що регулювання напруги не вплинуло на час запуску електродвигуна, фіксовану частоту обертання та величину моменту.

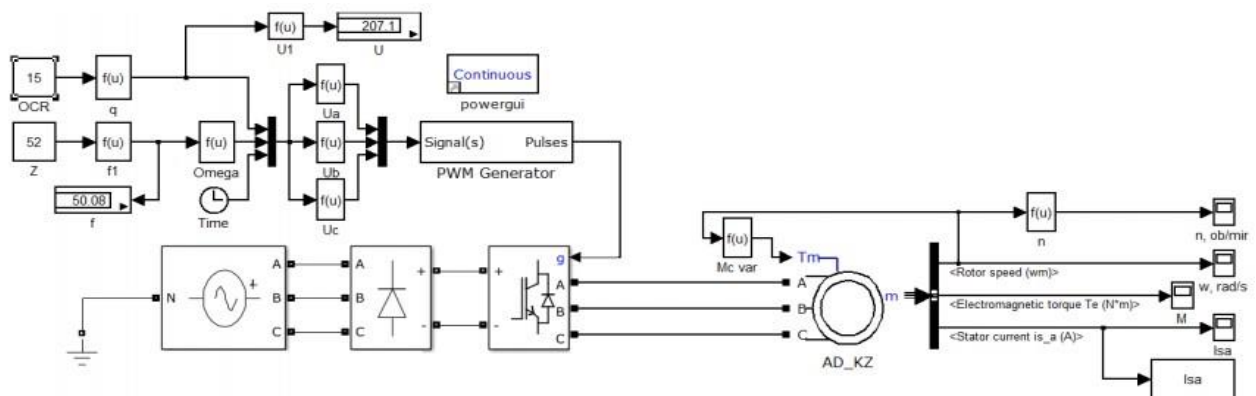


Рисунок 3.7 – Комп'ютерна модель після зміни напруги електродвигуна

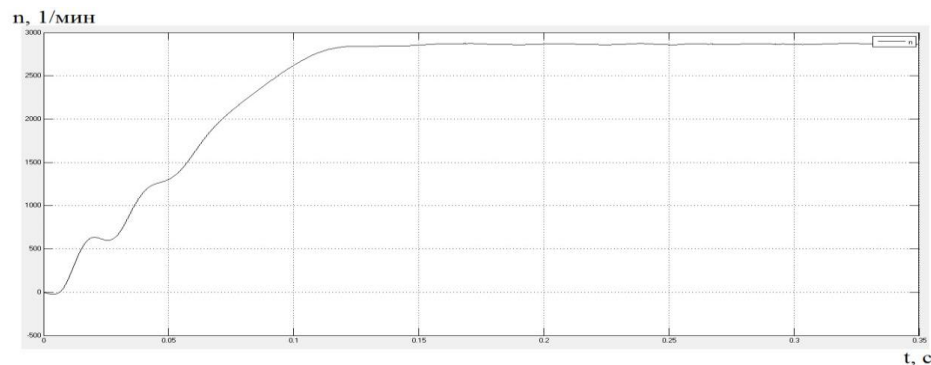


Рисунок 3.8 – Графік залежності частоти обертання від часу після зміни напруги

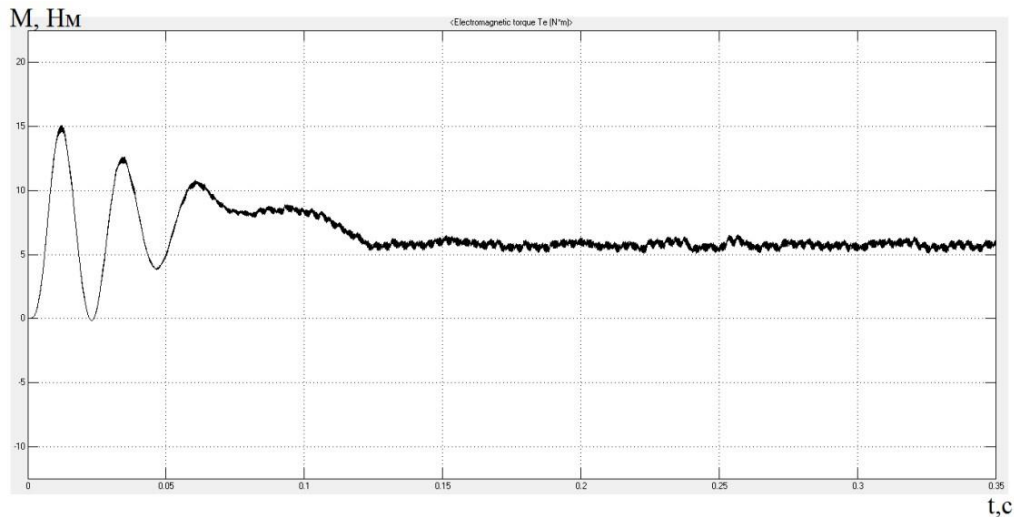


Рисунок 3.9 – Залежність моменту від часу після регулювання напруги

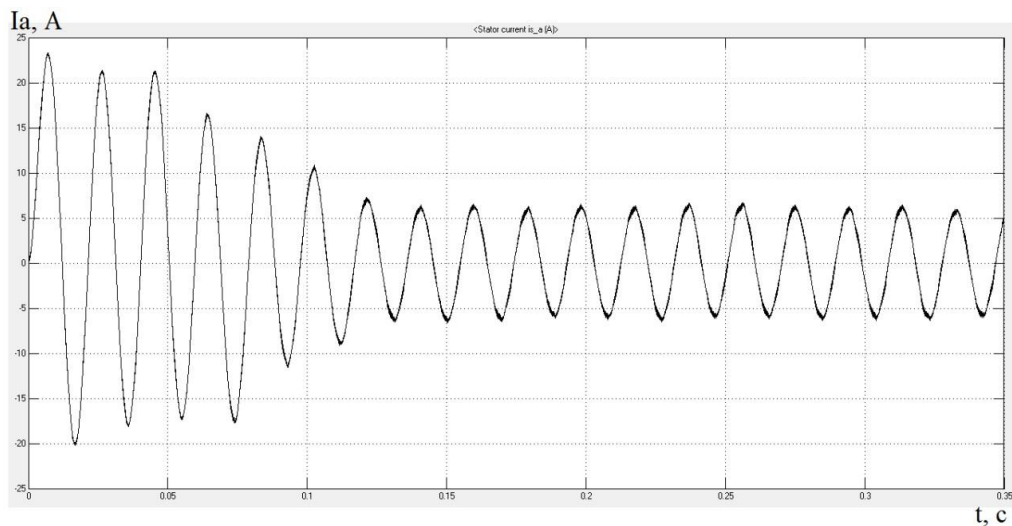


Рисунок 3.10 – Залежність струму статора фази А від часу після регулювання напруги

З результатів математичного моделювання можна зробити висновок, що зміна напруги при постійній частоті мережі зменшує значення струму двигуна на 3%, тим самим зменшуючи споживання електроенергії.

3.2 Математична модель системи управління мережевим насосом з використанням адаптивного регулятора тиску

В окремих випадках робота адаптивного енергоефективного інверторного алгоритму керування вищевказаним мережевим насосом може не узгоджуватися з режимами роботи парового котла, тому необхідно забезпечити наявність

окремого пристрою регулювання тиску. в мережі на основі адаптивних систем автоматичного керування.

Системи на базі адаптивної САУ здатні автоматично адаптуватися до змін зовнішніх умов і властивостей об'єкта керування і при цьому забезпечувати необхідну якість керування шляхом зміни структури та параметрів пристрою керування. Адаптивна САУ — це додатковий автоматичний пристрій, який змінює алгоритм керування основним керуючим пристроєм таким чином, щоб система керування в цілому реалізувала заданий функціональний алгоритм, який зазвичай включає максимізацію показника якості. Тому адаптивні САУ, як правило, також є оптимальними.

Адаптивний контролер відрізняється від традиційного наявністю додаткових блоків ідентифікації та оптимальної оцінки, тоді як традиційний містить лише блок керування та вимірювальні пристрої. Оптимальне управління можливе лише за умови оптимальної обробки інформації [31]. Адаптивне керування дозволяє повністю автоматизувати процес налагодження контурів регулювання промислового об'єкта керування з різними видами та розмірами затримок. Адаптивні ПДД-регулятори дозволяють повністю відмовитися від використання традиційних методів ідентифікації динаміки об'єкта та розрахунку оптимальних параметрів для налаштування регуляторів. Такі адаптивні варіанти регулювання дають можливість:

- скоротити час коригування захоплюючих контурів;
- гарантувати найкращу якість управління в будь-який момент;
- забезпечити безперервний процес адаптації параметрів регулятора до змінних динамічних властивостей об'єкта керування;
- оптимізувати споживання сировини та енергоресурсів на 5-10% порівняно з неоптимально налаштованим класичним ПДД-регулятором.

Тому для керування тиском води в гідросистемі заміна традиційних методів керування безперервною адаптацією адаптивного керування на основі промислових логічних контролерів призведе до ряду важливих наслідків, а саме:

– побудова адаптивного алгоритму керування, що забезпечує оперативну корекцію подачі робочої рідини в гідросистему з урахуванням аналізу математичної моделі;

– вплив факторів, пов'язаних зі зміною тиску в гідросистемі, автоматично доводиться до меж, заданих керуючим впливом;

– алгоритми оцінки та ідентифікації сприяють відносній простоті програмного забезпечення контролера, можливості його реалізації на промислових контролерах.

3.2.1 Розробка і розрахунок параметрів комп'ютерної моделі регульованого електроприводу мережевого насосу на основі адаптивного регулятора тиску

3.2.1.1 Динамічна модель електродвигуна

В якості моделі асинхронного двигуна використовується лінеаризована модель, структурна схема якої, зображена на рис. 3.11.

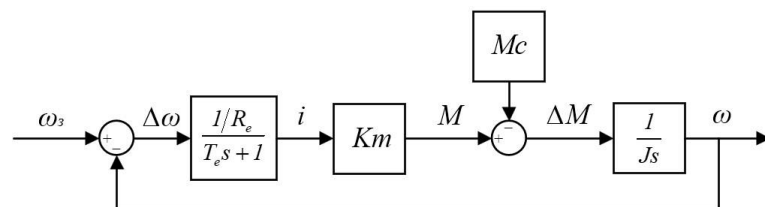


Рисунок 3.11 – Лінеаризована модель АД: R_e – еквівалентний опір; T_e – електромагнітна стала часу; K_m – коефіцієнт пропорційності між моментом та струмом; M_c – статичний момент; J – повний, приведений до валу двигуна, момент інерції.

Дані для моделі використаємо з пункту 3.2.

3.2.1.2 Динамічна модель насосного агрегату

Для перерахування параметрів насосу на нові частоти обертання вала використаємо формули (1.2), для конкретного випадку вони набувають вигляду

(3.17).

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{w_1}{w_2}; \quad \frac{H_1}{H_2} = \frac{w_1^2}{w_2^2}. \quad (3.17)$$

Нехай $Q_1 = Q_*$, $H_1 = H_*$, $w_1 = w_*$, $Q_2 = Q_H$, $H_2 = H_H$, $w_2 = w_H$

де Q_H , H_H , w_H – номінальні значення параметрів насосного агрегату;

Q_* , H_* , w_* – поточні значення параметрів насосного агрегату.

Тоді рівняння (3.17) прийме вигляд (3.18).

$$\frac{Q_*}{Q_H} = \frac{w_*}{w_H}; \quad \frac{H_*}{H_H} = \frac{w_*^2}{w_H^2}. \quad (3.18)$$

Виразимо поточні значення напору і подачі насоса через швидкість на валу двигуна:

$$Q_* = \frac{Q_H}{w_H} w_* = a_1 w_*; \quad H_* = \frac{H_H}{w_H^2} w_*^2 = a_2 w_*^2. \quad (3.19)$$

де a , $a_{1,2}$ – постійні значення.

Насос і гідравлічна мережа – інерційні ланки, що можуть бути представлені аперіодичною ланкою першого порядку:

$$W_{насос} = \frac{K_{насос}}{T_{насос}s + 1} \quad (3.18)$$

де $K_{насос}$ – коефіцієнт передачі насоса за напором,

$T_{насос}$ – стала часу насоса.

Так як насос є нелінійною складною системою, лінеаризуємо його коефіцієнт передачі.

Напір є функцією квадрата швидкості:

$$H = aw^2, \quad (3.21)$$

де a – коефіцієнт, що визначається по робочій точці стабілізації.

Структурна схема насосного агрегату у випадку керування напором H матиме вигляд, зображений на рис. 3.12:

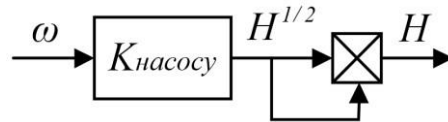


Рисунок 3.12 – Лінеаризована модель насосного агрегату

Таким чином досліджувана система являє собою триконтурну систему керування. З урахуванням виразів для передавальних функцій елементів системи структурна схема САУ насосного агрегату має вигляд, показаний на рис. 3.13:

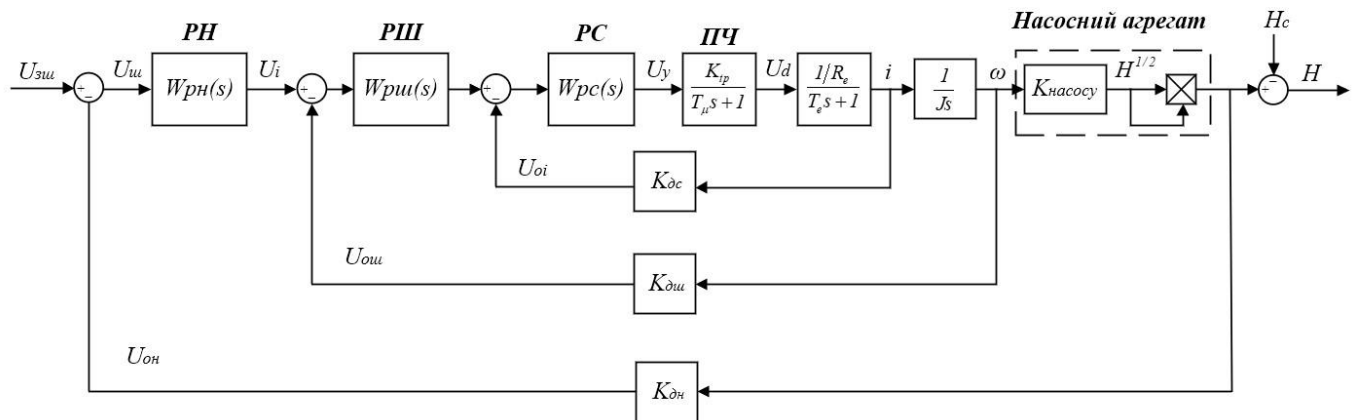


Рисунок 3.13 – Структурна схема САУ насосного агрегату

3.2.1.3 Налаштування контуру регулювання струму

Структурна схема контуру струму з ПІ – регулятором наведена на рис. 3.14.

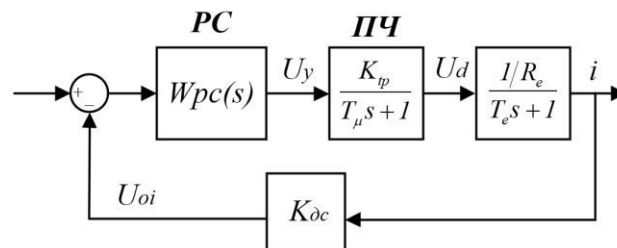


Рисунок 3.14 – Структурна схема контуру струму з ПІ – регулятором струму
Передатна функція АД має вигляд:

$$W_{AD}(s) = \frac{1/R_e}{T_e s + 1} \quad (3.22)$$

де R_e – еквівалентний активний опір обмоток статора з урахуванням опору обмоток ротора;

T_e – еквівалентна електромагнітна стала часу.

Передавальна функція двигуна має вигляд:

$$W_{AD}(s) = \frac{1/26}{71,35s + 1}$$

Для визначення передавальної функції ПЧ, необхідно визначити коефіцієнти передачі і сталу часу.

Передавальна функція ПЧ має вигляд:

$$W_{ПЧ}(s) = \frac{K_{ПЧ}}{T_{\mu}s + 1} \quad (3.23)$$

Стала часу T_{μ} та коефіцієнт передачі $K_{ПЧ}$:

$$T_{\mu} = 0,01\text{с.} - \text{приймається}$$

$$K_{ПЧ} = \frac{U_{ПЧ.\text{max}}}{U_{K.\text{max}}} = \frac{U_{1\Phi.\text{ном}}}{10} = \frac{6000}{10} = 600, \quad (3.24)$$

де $U_{K.\text{max}} = 10$ – максимальна напруга задання, відповідає 10 В.

Таким чином передатна функція перетворювача частоти має вигляд:

$$W_{ПЧ}(s) = \frac{600}{0,01s + 1}$$

Коефіцієнти передачі зворотного зв'язку за струмом: загальний K_c , шунта $K_{ШН}$ та датчика струму $K_{ДС}$:

$$K_c = \frac{U_{зв.\text{max}}}{I_{\text{max}}} = \frac{10}{920,4} = 0,011, \quad (3.25)$$

$$K_{ШН} = \frac{U_{ШН.\text{ном}}}{I_{ШП.\text{ном}}} = R_{ШН.\text{ном}} = 0,04, \quad (3.26)$$

$$K_{ДС} = \frac{K_c}{K_{ШН}} = \frac{0,011}{0,04} = 0,275, \quad (3.27)$$

3.2.1.4 Налаштування контуру регулювання швидкості

Структурна схема контуру швидкості з ПІД – регулятором наведена на рис.3.15.

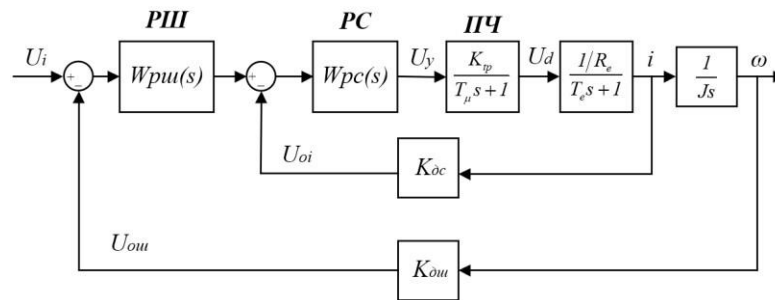


Рисунок 3.15 – Структурна схема контуру швидкості з ПІД – регулятором швидкості

Коефіцієнти зворотного зв'язку за швидкістю: загальний $K_{ш}$ та датчика швидкості $K_{дш}$:

$$K_{ш} = \frac{U_{K.\max}}{w_{ном}} = \frac{U_{K.\max}}{0,105 \cdot n_n} = \frac{10}{0,105 \cdot 2980} = 0,032 \quad , \quad (3.28)$$

де $U_{K.\max} = 10$ – максимальна напруга задання, відповідає 10 В;

$w_{ном}$ – номінальна швидкість обертання двигуна.

$$K_{ТГ} = \frac{U_{ТГ.ном}}{w_{ТГ.ном}} = \frac{24}{5000} = 0,0048 \quad , \quad (3.29)$$

$$K_{дш} = \frac{K_{ш}}{K_{ТГ}} = \frac{0,032}{0,0048} = 6,7 \quad , \quad (3.30)$$

3.2.1.5 Налаштування контуру регулювання тиску

Структурна схема контуру регулювання тиску адаптивним регулятором наведена на рис. 3.16. Об'єктом регулювання в такому контурі є модель насосного агрегату.

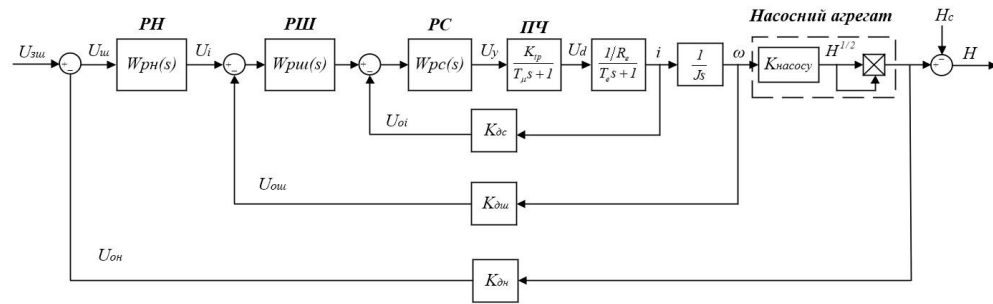


Рисунок 3.16 – Контур регулювання тиску з адаптивним регулятором

Коефіцієнт передачі насосного агрегату:

$$K_{насосу} = \sqrt{\frac{H_n}{w_n^2}} = \sqrt{\frac{500}{312,37^2}} = 0,0072 \quad , \quad (3.31)$$

Коефіцієнт датчика тиску:

$$K_{дд} = \frac{U_3}{H_n} = \frac{10}{500} = 0,02 \quad , \quad (3.32)$$

В якості регулятора тиску (напору) обрано адаптивний регулятор, структура якого показана на рис. 3.17.

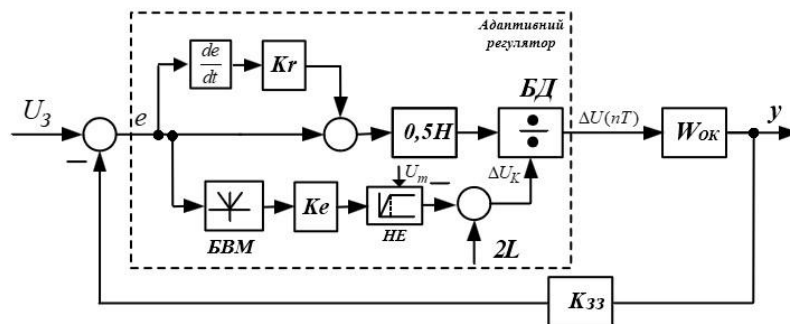


Рисунок 3.17 – Структура адаптивного регулятора

На рис. 3.17. наведено такі позначення: сигнал e є помилкою регулювання, БД – блок ділення, БВМ – блок виділення модулю сигналу e , $K_{зз}$ - коефіцієнт зворотного зв'язку, U_3 – задане значення вхідної напруги, $W_{ок}$ – передавальна функція об'єкта керування, y – вихідний сигнал.

Для того щоб коефіцієнт пропорційності регулятора K_e не залежав від знаку помилки e в паралельній передачі використовується її абсолютне значення (БВМ), оскільки коефіцієнт K_e може приймати значення $K_e |e| < 2L$, $2L=1$.

Нелінійний елемент НЕ введений для того, щоб при будь яких значеннях помилки e сигнал ΔU_K був більше нуля. Чим менше сигнал ΔU_K , тим більший коефіцієнт пропорційності K_e і тим швидше буде зменшуватися помилка. Обмеження вхідного сигналу НЕ U_m повинне бути менше $2L$, щоб уникнути можливого ділення управляючого сигналу на 0.

3.2.2 Моделювання динамічних процесів електроприводу з використанням адаптивного регулятора тиску

Оскільки керування АД у запропонованій моделі реалізовано за принципом підлеглого керування, кожен контур містить свій регулятор і зворотний зв'язок по керованій величині. Сигнал із селектора інтенсивності надходить на вхід системи. На рис. 3.18 представлена модель у системі MATLAB.

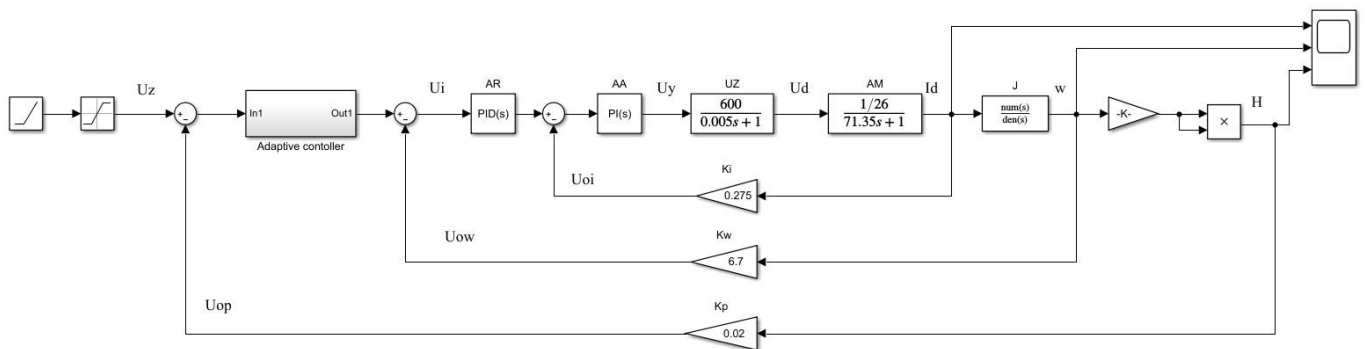
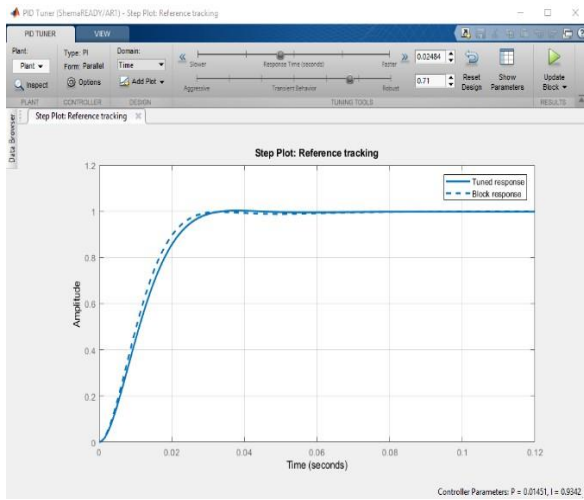


Рисунок 3.18 – Модель електроприводу насосного агрегату

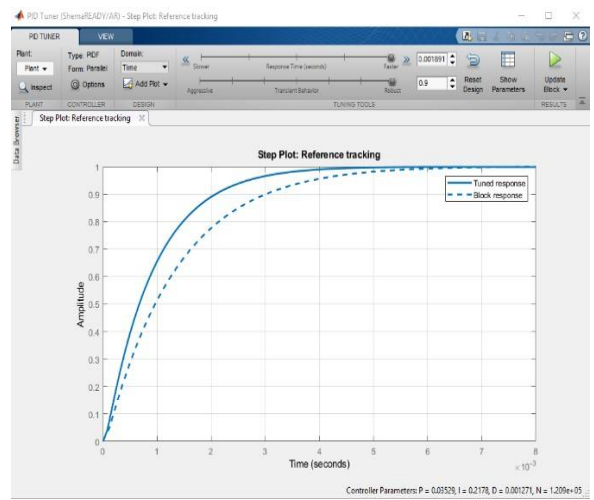
Оскільки наявність гідроудару є важливою проблемою в реальній системі, елемент із бібліотеки Simulink "Ramp" (Джерело лінійно змінного впливу) використовувався як селектор інтенсивності.

Модифікація регуляторів швидкості та контуру струму виконується в середовищі Matlab наступним чином: змінюється вигляд і час перехідного процесу. На виході регулятора розраховуються оптимальні параметри регуляторів.

На рис. 3.19 показані результати налаштування регуляторів.



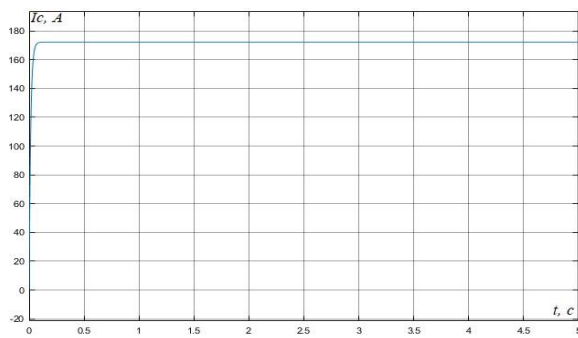
а



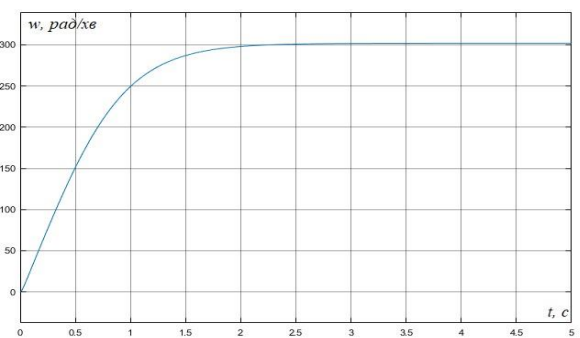
б

Рисунок 3.19 – Результати налаштування регуляторів: а – ПІ-регулятор струму; б – ПІД-регулятор швидкості

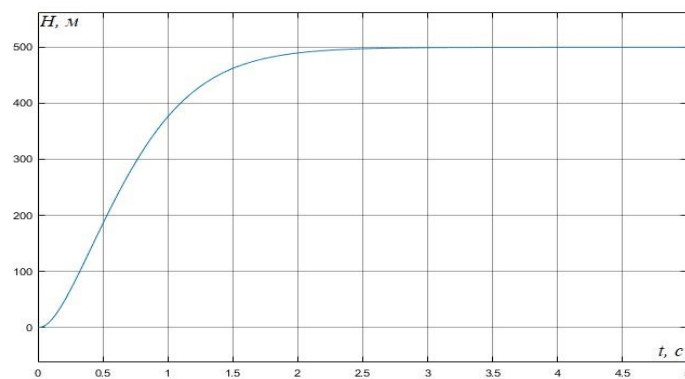
На рис. 3.20 зображені результати моделювання.



а



б



в

Рисунок 3.20 – Перехідні процеси за струмом (а), швидкістю (б) та напором (в)

З графіків перехідних процесів видно, що задані значення струму, швидкості і тиску відповідають номінальним значенням. Це означає, що насосна установка з адаптивним регулятором тиску працює справно. Крім того, час перехідних процесів зменшено в 1,4 рази порівняно з адаптивним алгоритмом керування інвертором.

Адаптивний регулятор забезпечує плавне підвищення не тільки швидкості, але і тиску, що знижує ймовірність гідроударів і забезпечує енергоефективність режимів роботи насосного обладнання.

3.3 Висновки до розділу 3

1. Необхідність стабілізації тиску зумовлена змінним характером режиму когенераційних установок. Характер водоспоживання парових котлів вимагає постійної зміни режиму роботи живильного насоса. Зміни повинні бути визначені таким чином, щоб були дотримані необхідні значення технологічних параметрів (потужності, тиску) в системі в цілому і при цьому забезпечувалося мінімально можливе енергоспоживання насосної установки.

2. Адаптивні САУ ефективні для підтримки необхідних значень технологічних параметрів у мережі водопостачання і при цьому забезпечують низькі енерговитрати.

3. Розроблена комп'ютерна модель системи «перетворювач частоти – асинхронний електродвигун – мережевий насос» дозволяє визначити фазну напругу, при якій модуль фазного струму електродвигуна є мінімальним. Відбувається зниження споживання електричної енергії, що дозволяє виявити закономірності зміни фазного струму при зміні частоти струму мережі. При використанні регулювання напруги час пуску зберігається, але сила струму знижується на 7%.

4. Комп'ютерне моделювання системи «асинхронний електрогенератор – перетворювач частоти – мережевий насос» підтвердило, що при застосуванні адаптивного методу керування перетворювачем частоти відбувається економія споживання електроенергії на рівнях регулювання від 10 і більше. Зі зниженням рівнів регулювання споживання електроенергії зростає.

5. У випадках, коли неможливо забезпечити адаптивний алгоритм керування частотним перетворювачем, ефективний адаптивний регулятор тиску.

РОЗДІЛ 4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Визначення величини витрат запропонованого варіанту

Для реалізації технічних рішень з підвищення енергетичної ефективності тягового електропривода мережевого насоса шляхом проведення своєчасного діагностування та своєчасного обслуговування електротехнічного тягового комплексу виробник залучає власні кошти. Він несе витрати на розробку, впровадження та експлуатацію нової розробки.

Капітальні вкладення – витрати, які передбачаються для реалізації проекту. Капітальні вкладення включають в себе витрати на проектування системи діагностування та контролю електрообладнання рудникового електровоза, придбання необхідного обладнання, доставку на підприємство, монтаж і налагодження.

Вартість витрат на доставку враховують масу вантажу, відстань і тарифи залізничних перевезень. Витрати на монтаж обладнання визначають розрахунковим методом, але для загальних розрахунків ці витрати приймають рівними 10 % від вартості обладнання.

Витрати на будівельні роботи теж визначаються розрахунковим методом і для загальних розрахунків приймаються рівними 10 % вартості обладнання.

До інших капітальних вкладень відносяться витрати на технічні заходи з охорони навколишнього середовища, покращення умов праці персоналу, навчання персоналу та ін. До них включається також залишкова вартість не повністю зношеного обладнання, що ліквідується.

Об'єктом дослідження обрано живильний насос ПЕ 500-180-3 (табл. 4.1) з приводним електродвигуном 4АЗМ 4000/6000 УХЛ4 (табл. 4.2), який керується високовольним перетворювачем частоти АВВ АСS 5060 (табл. 4.3).

Таблиця 4.1 – Параметри мережевого насосу

Тип насосу	Номінальна подача Q , м ³ /год / Р напір кг/см ²	Р на вході, кг/см ²	Частота обертання, об/хв	ККД, %	Температура води, °С
ПЕ 500-180-3	500/1975	4	2975	75	120

Таблиця 4.2 – Параметри приводного двигуна

Потужність P , кВт	Напруга живлення, U , В	Струм статора, А	Частота обертання, об/хв	ККД, %	$\cos\varphi$	З'єднання обмоток
4000	6000	177	2980	97,3	0,89	зірка

Таблиця 4.3 – Параметри перетворювача частоти

Тип	Повна потужність, КВА	Напруга живлення, КВ	Вхідна частота, Гц	$\cos\varphi$
ACS 5060	4800	6	50	Контролюється до 1.0

В таблиці 4.4 приведено розрахунок капітальних вкладень на впровадження системи електропривода мережевого насоса котельні.

Таблиця 4.4 – Капітальні витрати на електроустаткування

№ п/п	Найменування обладнання	Кошторисна вартість, грн.
1.	Приводний електродвигун 4А3М 4000/6000 УХЛ4	1 464 500
2.	Частотний перетворювач АВВ ACS 5060	2 268 500
3.	Система індикації поточних значень показників та режимів функціонування системи керування	120700
4.	Сенсори/система контролю параметрів (тиску, температури)	86400
5.	Кабелі, апарати захисту та інше обладнання	840320
6.	Вимірювальні прилади, показчики, реєстратори захищеного виконання	72600
7.	Спеціалізований інструментарій	40080
8.	Всього	4 893 100
9.	Витрати на транспортування (13%)	636103
	Монтажні та налагоджувальні роботи (10%)	489310
	Всього капітальні вкладення	6 018 513

Отже, капітальні витрати $E_k = 6\,018\,513$ грн.

4.2 Розрахунок експлуатаційних витрат

Експлуатаційні витрати включають витрати на забезпечення нормального функціонування певного технічного рішення в період його експлуатації в розрахунку на рік.

Експлуатаційні витрати E включають:

- 1) амортизаційні відрахування E_a ;
- 2) заробітна плата E_{zn} обслуговуючого персоналу (основна, додаткова, нарахування на заробітну плату);
- 3) витрати на силову електроенергію E_e ;
- 4) витрати на поточний ремонт E_{np} ;
- 5) інші витрати E_{in} .

Тобто:

$$E = E_a + E_{zn} + E_e + E_{np} + E_{in} \quad (4.1)$$

4.3 Розрахунок амортизаційних відрахувань

Річні амортизаційні відрахування становлять (норма амортизації 10 % в рік):

$$E_a = 10\% \cdot E_k, \quad (4.2)$$

$$E_a = 0,1 \cdot 6\,018\,513 = 601\,851 \text{ (грн).}$$

4.4 Розрахунок заробітної плати обслуговуючого персоналу

Згідно ПУЕ обслуговувати установки до 1000 В може робітник, у якого розряд не нижче четвертого, група допуску не нижча третьої групи по електробезпеці. Тарифна сітка робітників, які працюють погодинно, приведена в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Тарифна сітка погодинників

Тарифні розряди	I	II	III	IV	V	VI
Тарифні коефіцієнти	1	1,5	1,8	2,03	2,33	2,7

Витрати на заробітну плату обслуговуючого персоналу розраховуємо за формулою:

$$E_{zn} = E_{zo} + E_{zd} + E_{zn}, \quad (4.3)$$

де E_{zo} – основна заробітна плата по тарифу;

E_{zd} – додаткова заробітна плата;

E_{zn} – нарахування на заробітну плату.

$$E_{zo} = NT_I K \Phi_{ef} K_c \beta, \quad (4.4)$$

де N – кількість робітників, що обслуговують установку ($N = 2$ чол.);

T_I – погодинна тарифна ставка робітника 1-го розряду ($T_I = 22$ грн/год);

K – тарифний коефіцієнт ($K = 2,33$);

Φ_{ef} – ефективний фонд робочого часу на обслуговування системи електропривода насоса за рік (приймаємо $\Phi_{ef} = 164$ год);

K_c – коефіцієнт співвідношення, встановлений Генеральною угодою між профспілками і урядом ($K_c = 1$);

β – частка часу, який витрачає робітник на обслуговування системи електропривода насоса в загальному часі своєї роботи ($\beta = 0,6$).

Розраховуємо основну заробітну плату по тарифу:

$$E_{zo} = 2 \cdot 22 \cdot 2,33 \cdot 164 \cdot 1 \cdot 0,6 = 10088 \text{ (грн)}.$$

Додаткова заробітна плата E_{zd} становить 10% основної заробітної плати:

$$E_{zd} = 10088 \cdot 0,1 = 1008,8 \text{ (грн)}.$$

Розрахунок нарахувань на заробітну плату зведемо в таблицю 7.3.

Таблиця 4.6 – Розрахунок нарахувань на заробітну плату

Показник	Сума
Основна заробітна плата $E_{зо}$, грн.	10088
Додаткова заробітна плата $E_{зд}$, грн.	1008,8
Разом основна і додаткова заробітна плата, $(E_{зо}+E_{зд})$, грн.	11096,8
Єдиний внесок на загальнообов'язкове соціальне страхування (22%), грн.	2441
Всього нарахування, грн	13538

Таким чином, маємо:

$$E_{зн} = 10088 + 1008,8 + 2441 = 13538 \text{ (грн).}$$

4.5 Розрахунок витрат на силову електроенергію

Витрати на силову електроенергію знаходимо за формулою:

$$E_e = \frac{P}{\eta} \cdot B \cdot \Phi_{E\Phi} \cdot K_{\text{вм}} \cdot K_3, \quad (4.5)$$

де B – вартість електроенергії. Ціна на універсальні послуги для побутових споживачів, електроустановки яких приєднані до електричних мереж згідно з II класом напруги з ПДВ складає приблизно 6,1 грн/кВт·год. (4,59 грн. - вартість закупівлі 1 кВт год, 1,51 грн. – вартість розподілу 1 кВт год. електроенергії – <https://vin.enera.ua/el/tariff>).

P – номінальна потужність;

η – коефіцієнт корисної дії ($\eta = 0,9$);

T_{ef} – ефективний фонд часу роботи в рік;

$K_{\text{вм}}$ – коефіцієнт ввімкнення (використання за часом $K_{\text{вм}} = 0,8$);

K_3 – коефіцієнт завантаження (використання за потужністю).

Коефіцієнт ввімкнення приймаємо рівним 0,8, а коефіцієнт завантаження рівний 0,84.

Ефективний фонд робочого часу при цілодобовому режимі роботи протягом опалювального періоду (жовтень-квітень) та ефективного часу роботи котельні (приймаємо 62%) приймаємо:

$$\Phi_{ef} = 214 \cdot 24 \cdot 0,82 = 3184 \text{ (год)}.$$

Після підстановки всіх відомих показників у вираз отримаємо:

$$E_e = \frac{P_H}{\eta} \cdot B \cdot \Phi_{ef} \cdot K_{BM} \cdot K^3 = \frac{4000}{0,88} \cdot 6,1 \cdot 3184 \cdot 0,8 \cdot 0,84 = 59\,326\,604 \text{ (грн.)}$$

4.6 Розрахунок витрат на поточний ремонт обладнання

Поточний ремонт електроустаткування здійснюється на місці встановлення з його відключенням і зупинкою, силами змінного ремонтного персоналу.

Витрати на проведення ремонтних робіт включають витрати на комплектуючі і запасні частини та інші елементи, які підлягають заміні та витрати на оплату праці персоналу, який проводить ремонтні роботи. Для визначення витрат на оплату праці робітників-ремонтників необхідно розрахувати трудомісткість ремонтних робіт. Трудомісткість ремонтних робіт визначається згідно графіка планово-попереджувальних ремонтів (таблиця 4.4), у якому зазначено тривалість міжремонтних періодів та трудомісткість кожного виду ремонту.

Вважаємо, що ремонтні роботи проводять електромонтери шостого розряду. Із врахуванням того, що відомою є трудомісткість робіт ремонтного працівника (таблиця 4.4), основну заробітну плату розрахуємо за формулою:

$$E_{zo} = N T_1 K \Phi_{ef}, \quad (4.6)$$

$$E_{zo} = 2 \cdot 22 \cdot 2,7 \cdot 186 = 22097 \text{ (грн)}.$$

Трудомісткість робіт визначається за період часу між минулим та наступним опалювальним сезонами.

Таблиця 4.7 – Графік ремонтів

Найменування обладнання	Види ремонтів по місяцях												Трудомісткість, люд/год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
4АЗМ 4000/6000 УХЛ4	4		4		6	6	8	8	8		4		58
ABB ACS 5060	4		4		7	6	7	8	8			4	48
Система індикації		2		2	4	4	4	4	4		2		26
Сенсори/система контролю	2		2		4		4		4		2		18
Кабелі, апарати захисту та інше обладнання		2			4	3	4	3	4		2		20
Вимірювальні прилади, показчики, реєстратори	2				2	3	2	3	4		2		16
Загальна трудомісткість												186	

Нарахування на заробітну плату (22%):

$$E_{zn} = 22097 \cdot 0,22 = 4861 \text{ (грн).}$$

Всього витрати на заробітну плату для проведення ремонтних робіт становлять:

$$E_{zp} = 22097 \cdot + 4861 = 26958 \text{ (грн).}$$

Витрати на матеріали, комплектуючі та запасні частини для поточного ремонту такого великого агрегату приймають рівними 25% витрат від основної заробітної плати. Тобто, витрати на матеріали для ремонтів становлять:

$$E_m = 22097 \cdot 0,25 = 5524 \text{ (грн).}$$

Всього витрати на поточний ремонт обладнання становлять:

$$E_{np} = E_{zp} + E_m, \quad (4.7)$$

$$E_{np} = 26958 + 5524 = 32482 \text{ (грн.)}$$

4.7 Інші витрати

Розмір інших витрат приймаємо рівним 2,5% від загальної суми попередніх витрат в розрахунку на великі витрати на споживання електроенергії системою електропривода. Тобто:

$$E_{in} = (E_a + E_{zn} + E_e + E_{np}) \cdot 25\%, \quad (4.8)$$

$$E_{in} = (601851 + 13538 + 59\,326\,604 + 32482) \cdot 0,02 = 1499362 \text{ (грн.)}$$

Розрахунок загальної суми експлуатаційних витрат наведемо в таблиці 4.5.

Таблиця 4.8 – Розрахунок сумарних експлуатаційних витрат

Найменування витрат	Сума витрат, грн.
Амортизаційні відрахування E_a , грн.	601851
Заробітна плата E_{zn} обслуговуючого персоналу, грн.	13538
Витрати на електроенергію E_e , грн.	59326604
Витрати на поточний ремонт E_{np} , грн.	32482
Інші витрати E_{in} , грн.	1 499 362
Всього експлуатаційні витрати E , грн.	61 473 836

Висновок:

В даному розділі було проведено розрахунок капітальних вкладень створення та обслуговування системи електропривода насосу котельні (потужністю 4000 кВт). Була розрахована основна заробітна плата, витрати на електроенергію, на планові ремонти та інші витрати. Оскільки, прибуток або ефект від впровадження системи важко наразі оцінити у фінансовому еквіваленті, тому термін окупності не розраховувався, відтак зупиняємося на експлуатаційних витратах.

РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

У цьому розділі магістерської дипломної роботи розглянуті питання з охорони праці та цивільного захисту, що були враховані під час розробки заходів з підвищення ефективності системи управління електроприводом мережевого насосу котельні.

Роботодавець зобов'язаний створити на робочих місцях у кожному структурному підрозділі умови праці відповідно до нормативно-правових актів, а також забезпечити додержання вимог законодавства щодо прав працівників у галузі охорони праці. Це не тільки убезпечить працівників, але й створить відповідний настрій всередині колективу.

Охорона праці належить до соціально-економічних систем, головним завданням яких є врахування громадських та особистих інтересів людей. Соціальне значення охорони праці полягає в сприянні росту ефективності суспільного виробництва шляхом безперервного вдосконалення і поліпшення умов праці, підвищення їх безпеки, зниження виробничого травматизму і профзахворювань. Економічне значення охорони праці визначається ефективністю заходів з покращення умов і підвищення безпеки праці та є економічним виразом соціальної значущості охорони праці.

Отже, на електротехнічний персонал, що буде здійснювати оперативне обслуговування системи управління електроприводом мережевого насосу котельні, впливають такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори [32, 33].

Фізичні фактори: мікроклімат (температура, вологість, швидкість руху повітря, інфрачервоне випромінювання); виробничий шум, ультразвук, інфразвук; вібрація (локальна, загальна); освітлення: природне (недостатність), штучне (недостатня освітленість, прямий і відбитий сліпучий відблиск тощо); іонізація повітря.

Хімічні фактори: речовини хімічного походження, аерозолі фіброгенної дії

(нетоксичний пил).

Фактори трудового процесу: важкість (тяжкість) праці; напруженість праці. Важкість праці характеризується рівнем загальних енергозатрат організму або фізичним динамічним навантаженням, масою вантажу, що піднімається і переміщується, загальною кількістю стереотипних робочих рухів, величиною статичного навантаження, робочою позою, переміщенням у просторі. Напруженість праці характеризують: інтелектуальні, сенсорні, емоційні навантаження, ступінь монотонності навантажень, режим роботи.

5.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкта

5.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць під час оперативного обслуговування електроустановок

Оперативне обслуговування електроустановок може здійснюватися як місцевими оперативними чи оперативно-ремонтними працівниками, за якими закріплена ця електроустановка, так і виїзними, за якими закріплена група електроустановок. Вид оперативного обслуговування, кількість оперативних працівників в зміну чи на електроустановці визначаються особою, відповідальною за електрогосподарство, за узгодженням з керівництвом підприємства (організації) і зазначається в місцевих інструкціях. До оперативного обслуговування електроустановок допускаються працівники, які знають оперативні схеми, посадові і експлуатаційні інструкції, інструкції з охорони праці, особливості обладнання і пройшли навчання, дублювання та перевірку знань ПБЕ ЕЕС та ПТЕ ЕЕС.

Оперативні працівники, які обслуговують електроустановки одноосібно, та ті старші в зміні чи бригаді оперативні працівники, за якими закріплені електроустановки, повинні мати групу з електробезпеки IV в електроустановках напругою понад 1000 В і III – в електроустановках напругою до 1000 В. Оперативні працівники повинні працювати за графіком, затвердженим особою, відповідальною за електрогосподарство підприємства

чи структурного підрозділу.

Оперативні працівники, які заступають на чергування, мають прийняти зміну від попереднього чергового, здати зміну наступному черговому у відповідності з графіком. Припинення чергування без здачі зміни забороняється. У виняткових випадках залишення робочого місця є припустимим з дозволу оперативного працівника вищої посади. Під час приймання зміни оперативний працівник зобов'язаний:

- ознайомитися зі схемою і станом та режимом роботи устаткування на своїй ділянці особистим оглядом в обсязі, встановленому інструкцією;

- одержати від чергового, який здає зміну, інформацію про стан устаткування, за яким необхідно вести ретельний нагляд для запобігання аваріям та неполадкам, а також про стан устаткування, що перебуває в ремонті або резерві;

- перевірити і прийняти інструмент, матеріали, ключі від приміщень, засоби захисту, оперативну документацію та інструкції;

- ознайомитися з усіма записами та розпорядженнями за час, що минув з його останнього чергування;

- оформити приймання зміни записом у журналі, відомості, а також в оперативній схемі власним підписом та підписом працівника, який її здає;

- доповісти старшому зміни про початок чергування та про неполадки, виявлені під час прийняття зміни.

Забороняється прийняття та здача зміни у випадках, коли на ділянці, яка обслуговується, робочі місця не прибрані, устаткування забруднене. Прийняття зміни, коли устаткування несправне чи є відхилення від нормального режиму його роботи, допускається тільки з дозволу особи, відповідальної за електрогосподарство підприємства, або оперативного працівника вищого рівня, про що робиться запис в оперативному журналі. Оперативні працівники під час свого чергування є відповідальними за правильне обслуговування та безаварійну роботу всього устаткування на закріпленій за ними ділянці.

В разі порушення режиму роботи, пошкодженні чи аварії електроустаткування оперативний працівник зобов'язаний негайно вжити заходів з відновлення схеми нормального режиму роботи і повідомити про те, що сталося, безпосередньо старшому у зміні працівнику або особі, відповідальній за електрогосподарство. У випадку неправильних дій оперативних працівників під час ліквідації аварії старший в зміні оперативний працівник зобов'язаний прийняти на себе керівництво і відповідальність за подальший перебіг ліквідації аварії.

Оперативні працівники повинні проводити обходи та огляди устаткування і виробничих приміщень на закріпленій за ним дільниці. Огляд електроустановок може виконуватись одноосібно:

- адміністративно-технічним працівником з групою V в електроустановках понад 1000 В і з групою IV – в електроустановках до 1000 В;

- оперативним працівником, який обслуговує цю електроустановку.

Список адміністративно-технічних працівників, яким дозволяється одноосібний огляд, встановлюється особою, відповідальною за електрогосподарство і затверджується керівником підприємства.

Забороняється під час огляду електроустановок виконувати будь-яку роботу. Огляди, виявлення та ліквідація несправностей в електроустановках без місцевих чергових працівників виконуються централізовано виїзними працівниками, що здійснюють нагляд і роботи на об'єкті (чи групі об'єктів). Періодичність цих робіт встановлюється особою, відповідальною за електрогосподарство, залежно від місцевих умов. Результати оглядів фіксуються в оперативному журналі.

Двері приміщень електроустановок (щитів, збірок тощо) мають бути постійно замкнені. Для кожного приміщення має бути не менше двох комплектів ключів, один з яких є запасним. Ключі від приміщень РУ не повинні пасувати до дверей комірок і камер.

Ключі підлягають поверненню щоденно після закінчення роботи.

5.1.2 Електробезпека

Живлення силового обладнання з переробки фруктів і овочів та системи освітлення здійснюється від мережі з заземленою нейтраллю напругою 380 x 220 В з частотою 50 Гц. Проектування та експлуатація електричних мереж і установок повинна здійснюватися за умови дотримання вимог з їхньої електробезпеки [34, 35].

Технічні рішення щодо запобігання електротравмам під час виконання робіт:

1) Для запобігання електротравм від контакту зі струмопровідними елементами електроустаткування потрібно: розміщувати неізольовані струмопровідні елементи в окремих приміщеннях з обмеженим доступом, у металевих шафах; використовувати засоби орієнтації в електроустаткуванні – написи, таблички, попереджувальні знаки; підвід кабелів до споживачів здійснювати в закритих конструкціях підлоги.

2) При живленні однофазних споживачів струму при напрузі до 1000 В використовується нульовий захисний провідник. При його використанні пробій на корпус призводить до КЗ. Спрацьовує захист від КЗ і пошкоджений споживач відключається від мережі.

3) Електрозахисні засоби захисту

Персонал, який обслуговує електроустановки, повинен бути забезпечений випробуваними засобами захисту. Перед застосуванням засобів захисту персонал зобов'язаний перевірити їх справність, відсутність зовнішніх пошкоджень, очистити і протерти від пилу, перевірити за штампом дату наступної перевірки. Користуватися засобами захисту, термін придатності яких вийшов, забороняється.

Використовуються основні та допоміжні електрозахисні засоби. Основними електрозахисними засобами називаються засоби, ізоляція яких тривалий час витримує робочу напругу, що дозволяє дотикатися до струмопровідних частин, які знаходяться під напругою. До них відносяться (до

1000В): ізолювальні штанги; ізолювальні та струмовимірювальні кліщі; покажчики напруги; діелектричні рукавиці; слюсарно-монтажний інструмент з ізольованими ручками.

Додатковими електрозахисними засобами називаються засоби, які захищають персонал від напруги дотику, напруги кроку та попереджають персонал про можливість помилкових дій. До них відносяться (до 1000 В): діелектричні калоші; діелектричні килимки; переносні заземлення; ізолювальні накладки і підставки; захисні пристрої; плакати і знаки безпеки.

5.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

5.2.1 Мікроклімат

Мікроклімат виробничих приміщень – умови внутрішнього середовища цих приміщень, що впливають на тепловий обмін працюючих з оточенням шляхом конвекції, кондукції, теплового випромінювання та випаровування вологи. Ці умови визначаються поєднанням температури, відносної вологості та швидкості руху повітря, температури поверхонь, які оточують людину, та інтенсивністю теплового (інфрачервоного) опромінювання [36]. Категорія робіт, що виконується оперативним персоналом – Па – пов'язано з постійною ходою і перенесенням невеликих вантажів масою до 1 кг.

За ступенем впливу на тепловий стан людини мікрокліматичні умови визначаємо як допустимі (таблиця 5.1). В умовах роботи назовні приміщень допустима температура не повинна перевищувати такі межі: 22,0-25,1 °С; шкідлива: 1 ступеня – 25,2-25,5; 2 ступеня – 25,6-26,3; 3 ступеня – 26,3-27,3; 4 ступеня – 27,4-29,9 °С [32].

Таблиця 5.1 – Допустимі параметри мікроклімату

Період року	Категорія робіт	Температура, ° С	Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря, м/с
Холодний	Середньої важкості: Па	17-23	75	не > 0,3
Теплий	Середньої важкості: Па	18-27	65 при 26 °С	0,2-0,4

Необхідно, щоб в приміщеннях, що будуються, була постійна циркуляція повітря або встановлений кондиціонер [37]. Влітку при значних вологи втратах і значному часі опромінення інфрачервоною радіацією споживають охолоджену до 15-20°C підсолену (0,5 % HCl) газовану воду. Вживання підсоленої води запобігає згущенню крові, сприяє утриманню її в організмі, покращує самопочуття й підвищує працездатність. Із заходів особистої профілактики після теплових навантажень рекомендуються гідропроцедури.

5.2.2 Склад повітря робочої зони

Робочою зоною вважається простір, який обмежений огорожуючими конструкціями виробничих приміщень, що мають висоту 2 м над рівнем підлоги або площини, на яких знаходяться місця постійного або непостійного перебування працюючих. Склад повітря робочої зони залежить від складу атмосферного повітря і впливу на нього ряду шкідливих виробничих факторів, утворених в процесі трудової діяльності людини. Склад повітря залишається постійним. Забруднення повітря робочої зони регламентується граничнодопустимими концентраціями (ГДК) в мг/м³ [36].

Для нормалізації складу повітря робочої зони потрібно здійснювати щоденне прибирання робочого місця. Нагромадження пилу товщиною в 1/8" на будь-якій ділянці вказує на необхідність у вживанні заходів з її очищення. Необхідно підкреслити, що будь-яке нагромадження пилу може привести до загоряння. Чим дрібніше пил (зернистість), тим вище небезпека.

Таблиця 5.2 – Можливі забруднювачі повітря можуть і їх ГДК

Найменування речовини	ГДК, мг/куб. м		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньодобова	
Пил нетоксичний	0,5	0,15	4
Вуглецю оксид (СО)	3	1	4

Тому необхідно здійснювати наступні заходи: очищувати пил якнайчастіше, щодня протирати запилені поверхні обладнання з використанням продувки або пилососа. Потрібно планувати прибирання так, щоб воно приходилось на час коли устаткування вимкнене, зокрема в другу половину дня п'ятниці або на вихідні.

5.2.3 Виробниче освітлення

Природне освітлення. В залежності від джерела світла промислове освітлення поділяється на: природне освітлення – освітленість приміщень світлом неба (прямого або відображеного), яке проникає в приміщення через світлові пройми в зовнішніх огорожуючих конструкціях. По своєму спектральному складу воно є найбільш сприятливим. Природне та суміщене освітлення характеризується коефіцієнтом природної освітленості КПО (e_n).

Штучне освітлення. Штучне освітлення використовується двох систем: загальне або комбіноване. Загальне освітлення – освітлення, при якому світильники розміщуються у верхній зоні приміщення рівномірно або пристосовуються до розташування обладнання. Комбіноване освітлення – це додаткове освітлення, при якому до загального освітлення додається ще й місцеве. Місцеве освітлення – освітлення, яке створюється світильниками, що концентрують світловий потік безпосередньо на робочих місцях.

Відповідно до ДБН В.2.5-28-2018 [38], роботи з влаштування звукоізоляції внутрішніх стін, потребують освітлення, яке характеризується розрядом зорової роботи III, підрозряд «в». Нормовані значення штучного, природного та

суміщеного освітлення наведені в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Вимоги до освітлення приміщень виробничих підприємств

Харак- ка зорової роботи	Найменший або еквівалент- ний розмір об'єкта розрізнення, мм	Розряд зорової роботи	Під- розряд зорової роботи	Контраст об'єкта з фоном	Характе- ристика фону	Штучне при системі комбінованого освітлення		Природне Ен пр	Сумісне Е сум
						всього	у т. ч. від загального		
Висо- кої точн- ості	Від 0,3 до 0,5 включно	III	в	малий середній великий	світлий середній темний	600	200	-	3,0

Для забезпечення достатнього освітлення здійснюють систематичне очищення скла та світильників від пилу (не рідше двох разів на рік), використовують жалюзі. В разі нестачі природного освітлення, використовують загальне штучне освітленням, що створюється за допомогою світлодіодних ламп E27 LED 15W NW A60 "SG". Висота підвісу світильників над робочою поверхнею 2,5 метра.

5.2.4 Виробничий шум

Шум вище гранично допустимих рівнів несприятливо діє на людину. Шум у приміщенні широкосмуговий. Нормуємо шум на робочому місці. Рівні звукового тиску в октавних смугах частот, рівні звуку та еквівалентні рівні звуку на робочих місцях мають відповідати вимогам СН 3223-85, ГОСТ 12.1.003-85, ГР 2411-81 [39] і наведені в табл. 5.4.

Таблиця 5.4 – Допустимі рівні звуку, еквівалентні рівні звуку і рівні звукового тиску в октавних смугах частот

Вид трудової діяльності, робочі місця	Рівні звукового тиску в дБ в октавних смугах із середньгеометричними частотами, Гц								
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Виконання усіх видів робіт на постійних робочих місцях в виробничих приміщеннях та на території підприємства	107	95	87	82	78	75	73	71	69

Устаткування, що є джерелом шуму (вентилятори, електроінструмент, технологічне обладнання), слід використовувати поза межами приміщень.

Для забезпечення допустимих рівнів шуму на робочих місцях слід застосовувати засоби звукопоглинання, вибір яких має обґрунтовуватись спеціальними інженерно-акустичними розрахунками.

Акустична обробка приміщень – це облицювання частини внутрішніх поверхонь огорожень звукопоглинаючими матеріалами, а також розміщення в приміщенні штучних звукопоглиначів, які представляють собою вільно підвішені об'ємні поглинаючі тіла довільної форми. Найбільший ефект при акустичній обробці можливо отримати в точках, які розташовані в зоні відбитого звуку; в зоні прямого звуку акустичний ефект від застосування облицювання набагато менший. Звукопоглинаючі облицювання розміщують на стелі і в верхніх частинах стін при висоті приміщення не більше 6-8 м таким чином, щоб акустично оброблена поверхня складала не менше 60 % від загальної площі обмежуючих приміщення поверхонь. У вузьких і дуже високих приміщеннях доцільно облицювання розміщувати на стінах, залишаючи нижні частини стін (до 2 м висотою) не облицьованими, або проектувати конструкцію звукопоглинаючої підвісної стелі.

5.2.5 Виробнича вібрація

Довгий вплив вібрації на організм приводить до зниження гостроти зору, слуху, підвищення тиску, розладу нервової системи, серцево-судинної системи.

Джерелами вібрацій на будівництві є технологічне устаткування, електроінструмент і вентилятори. Норми виробничої вібрації на постійних робочих місцях в приміщеннях об'єктів будівництва, визначені за [40], наведено в таблиці 5.5.

Таблиця 5.5 – Допустимі рівні вібрації на постійних робочих місцях

Вид вібрації	Октавні полоси з середньгеометричними частотами, Гц									
	2	4	8	16	32	63	125	250	500	1000
Загальна вібрація: на постійних робочих місцях в виробничих приміщеннях	1,3* 108	0,45 99	0,22 93	0,2 92	0,2 92	0,2 92	-	-	-	-

В чисельнику середньоквадратичне значення вібрації, $\text{м/с}^* 10''$, в знаменнику – логарифмічні рівні вібрації, дБ.

Для зменшення дії вібрацій на працюючих проектом передбачено:

1. Створення амортизаторів в яких використовують пружини, гуму та інші пружні матеріали.
2. Розміщення будівельних конструкцій на масивних фундаментах.
3. Встановлення додаткових реактивних опорів.

Також серед технічних заходів уникнення шкідливого впливу вібрації – створення нових конструкцій інструментів і машин, вібрація яких не може виходити за безпечні для людини межі, а зусилля не повинні перевищувати 15-20 кг. Усі деталі машин та агрегатів, що рухаються, повинні ретельно врівноважуватися, а для зменшення динамічних сил, які спричинюють вібрації,

слід застосовувати змашування та ін.

5.2.6 Психофізіологічні фактори

а) Класи умов праці за показниками важкості праці:

Загальні енергозатрати організму (кг/м): Зовнішнє фізичне динамічне навантаження, виражене в одиницях механічної роботи за зміну, кг/(Вт); При регіональному навантаженні (для чоловіків) – 12000(40); При загальному навантаженні (за участю м'язів рук, тулуба, ніг) – 40000(80); Маса вантажу, що постійно підіймається – до 25.

Стереотипні робочі рухи: При локальному навантаженні (участь м'язів кистей та пальців рук) – до 60 000; При регіональному навантаженні (участь рук та плечового суглоба) – до 30 000; Статичне навантаження (кг/с): Двома руками (чоловіки) – до 70 000; За участю м'язів тулуба та ніг – до 200 000.

Робоча поза: Періодичне перебування в незручній позі (робота з поворотом тулуба, незручним розташуванням кінцівок) до 25% часу зміни.

Нахил тулуба: Вимушені нахили протягом зміни – 150 разів; Переміщення у просторі (переходи задля технологічного процесу) – більше 12

б) Класи умов праці за показниками напруженості праці:

Інтелектуальні навантаження: Зміст роботи – рішення складних завдань з вибором за алгоритмом; Сприймання інформації та їх оцінка - сприймання інформації з наступною корекцією дій та операцій; Розподіл функцій за ступенем складності завдання - обробка, контроль, перевірка завдання.

Сенсорні навантаження: Зосередження (% за зміну) – до 50; Щільність сигналів (звукові за 1 год) – до 150; Навантаження на слуховий аналізатор (%) – розбірливість слів та сигналів від 50 до 80; Навантаження на голосовий апарат (протягом тижня) – від 20 до 25.

Емоційне навантаження: Ступінь відповідальності за результат своєї діяльності – є відповідальним за функціональну якість основної роботи; Ступінь ризику для власного життя – вірогідний; Ступінь відповідальності за безпеку інших осіб – є відповідальним за безпеку інших.

Режим праці: Тривалість робочого дня – більше 8 год; Змінність роботи – однозмінна (без нічної зміни).

5.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження стійкості роботи системи управління електропривода мережевого насосу котельні в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій

Електроприводи невід'ємною частиною технологічного обладнання військових і стратегічних об'єктів. Тому вони можуть підлягати впливу іонізуючих випромінювань та електромагнітного імпульсу. Дія радіації на матеріали та обладнання залежить в основному від виду випромінювання, дози опромінення, умов навколишнього середовища. Найбільш чутливе до дії іонізуючого випромінювання електронне обладнання систем управління. В електроприводі таким обладнанням є: блок живлення, тиристори, діоди. Через це в двигуні можливі замикання обмотки збудження, а відповідно і загорання двигуна.

В результаті опромінення системи в регуляторах змінюється струм і коефіцієнти підсилення; в конденсаторах понижується напруга пробною і опір витоку, змінюється провідність і внутрішнє нагрівання. В ізоляційних і діелектричних матеріалах змінюються такі параметри як електрична та діелектрична провідність.

Дія електромагнітного імпульсу на електропривод може призвести до загорання чутливих електричних та електронних елементів, зокрема транзисторів, а також до серйозних порушень в цифрових і контрольних пристроях. Електромагнітний імпульс пробиває ізоляцію, випалює елементи мікросхем, викликає коротке замикання. Саме тому є необхідність запобіганню при дії цього фактору на електричне та електронне обладнання.

5.3.1 Дослідження стійкості роботи системи управління електропривода мережевого насосу котельні в умовах дії іонізуючих випромінювань

За критерій стійкості роботи системи управління, що розробляється, приймається допустима доза $D_{дон}(P)$ або граничне значення рівня радіації $P_{gp}(P/год)$, при яких система буде нормально працювати [41].

Визначаємо граничні значення дози опромінення D_{gpi} , для елементної бази системи управління, при яких виникають незворотні зміни. Отримані дані заносимо в таблицю 5.6.

Таблиця 5.6 – Граничні значення експозиційних доз системи управління електропривода мережевого насосу котельні

Елементи РЕА	D_{gpi}, P	D_{gp}, P
Інтегральні схеми ТТЛ логіки	5×10^5	10 ⁴
Резистори типу МЛТ	10^7	
Транзистори КТ 816, КТ 316	10^4	
Напівпровідники	10^5	
Конденсатори К56	10^7	
Діоди Д226	10^4	

По мінімальному значенню допустимої дози, при якій в елементній базі виникають необоротні зміни, визначаємо границю стійкості роботи РЕА в цілому. Проаналізувавши дані таблиці 5.6, робимо висновок, що самим уразливим елементом системи з мінімальною дозою $D_{gp} = 10^4 P$ є транзистори та діоди. Визначаємо можливу дозу опромінення за формулою:

$$D_m = \frac{2 \cdot P_1 (\sqrt{t_k} - \sqrt{t_n})}{K_{осл}}, \quad (5.1)$$

де P_1 – максимальне значення рівня радіації ($P_1 = 6,19 P/год$);

t_k – час кінця опромінення ($t_k = 131400 год$ (15 років));

t_n – час початку опромінення ($t_n = 1 год$);

$K_{осл}$ – коефіцієнт послаблення радіації ($K_{осл} = 2$).

$$D_m = \frac{2 \cdot 6,17 (\sqrt{131400} - \sqrt{1})}{2} = 2230,4(P).$$

Оскільки $D_{ep} > D_m$, то дана силові елементи мережі стійкі до дії радіації.

Визначимо допустимий час роботи системи управління електропривода мережевого насосу котельні в заданих умовах за формулою:

$$t_d = \frac{D_{ep} \cdot K_{осл} + 2 \cdot P_1 \cdot \sqrt{1}}{2 \cdot P_1}, \quad (5.2)$$

$$t_d = \frac{10^4 \cdot 2 + 2 \cdot 6,17 \cdot \sqrt{1}}{2 \cdot 6,17} = 1621,74 \text{ (год)},$$

Можлива доза опромінення елементної бази $D_m = 2230,4 P$, а допустима - $10^4 P$, отже, система управління ЕП є умовно стійкою в умовах короткочасного впливу іонізуючого випромінювання. Допустимий час роботи системи управління електропривода мережевого насосу котельні в заданих умовах становить 1621,74 год., при рівні радіації 6,19 P/год.

5.3.2 Дослідження стійкості роботи системи управління електропривода мережевого насосу котельні в умовах дії електромагнітного імпульсу

При дослідженні впливу електромагнітного імпульсу (ЕМІ) на струмопровідні елементи необхідно врахувати, що ЕМІ має горизонтальну та вертикальну складові напруженостей електричного поля і тому повинні визначатися значення напруг на вертикальних та горизонтальних ділянках ліній. Так як для живлення силового обладнання використовується мережа живлення змінної напруги 380 В, а кола управління – постійної 24 В, то проведемо розрахунок стійкості роботи для обох мереж живлення. Напряга наводки в горизонтальній і вертикальній струмопровідній часині:

$$U_z = E_z \cdot L_z, \quad (5.3)$$

де E_6 – величина вертикальної складової напруженості електромагнітного поля ($E_6 = 9,95 \cdot 10^3$ В/м);

L_2 – довжина горизонтальної струмопровідної частини системи ($L_2 = 1,85$ м).

$$U_2 = 9,95 \cdot 10^3 \cdot 1,85 = 18,4 \text{ (кВ)}.$$

$$U_6 = E_2 \cdot L_6, \quad (5.4)$$

де E_2 – величина вертикальної складової напруженості електромагнітного поля (В/м);

L_6 – довжина горизонтальної струмопровідної частини системи ($L_6 = 2,15$ м).

Визначаємо горизонтальну складову напруженості електромагнітного поля:

$$E_2 = E_6 \cdot 10^{-3}, \quad (5.5)$$

$$E_2 = 9,95 \cdot 10^3 \cdot 10^{-3} = 9,95 \text{ (В/м)},$$

$$U_6 = 9,95 \cdot 2,15 = 21,39 \text{ (В)}.$$

Визначаємо допустиме коливання напруги живлення для різних блоків:

$$U_{\text{дон}} = U_{\text{жс}} + \frac{U_{\text{жс}}}{100} \cdot N, \quad (5.6)$$

де N – відсоток допуску ($N=5\%$).

Для силового кола ($U_{\text{жс}} = 380$ В):

$$U_{\text{дон}} = 380 + \frac{380}{100} \cdot 5 = 399 \text{ (В)}.$$

Для кола управління ($U_{\text{жс}} = 24$ В):

$$U_{\text{дон}} = 24 + \frac{24}{100} \cdot 5 = 25,2 \text{ (В)}.$$

Коефіцієнт безпеки визначається за формулою:

$$K\bar{\sigma}_{z(\text{в})} = 201\text{г} \cdot \frac{U_{\text{дон}}}{U_{z(\text{в})}} \geq 40 \text{ [дБ]}, \quad (5.7)$$

Визначаємо коефіцієнти безпеки для силового кола ($U_{\text{жс}} = 380 \text{ В}$):

- вертикальної:

$$K\bar{b}_g = 20 \cdot \lg \frac{399}{21,39} = 60,89 \text{ (дБ)},$$

- горизонтальної:

$$K\bar{b}_z = 20 \cdot \lg \frac{399}{18400} = -71,51 \text{ (дБ)}.$$

Визначаємо коефіцієнти безпеки для кола управління ($U_{\text{жс}} = 24 \text{ В}$):

- вертикальної:

$$K\bar{b}_g = 20 \cdot \lg \frac{25,2}{21,39} = 5,64 \text{ (дБ)},$$

- горизонтальної:

$$K\bar{b}_z = 20 \cdot \lg \frac{25,2}{18400} = -126,75 \text{ (дБ)}.$$

Отримані дані заносимо в таблицю 5.7.

Таблиця 5.7 – Значення коефіцієнтів безпеки системи управління електропривода мережевого насосу котельні

№	Найменування	$K\bar{b}_g$	$K\bar{b}_z$	Результат дії
1	Силове коло, 380 В	60,89	-71,51	Нестійке
2	Коло управління, 24 В	5,64	-126,75	Нестійке

Отже система є нестійкою в умовах дії електромагнітного імпульсу. Для підвищення стійкості роботи системи управління електропривода мережевого насосу котельні слід застосувати екранування. Щоб визначити якої товщини необхідно застосувати екран, знайдемо перехідне затухання екрану:

$$A = K\bar{b}_{\text{ном}} - K\bar{b}_{\text{мін}}, \quad (5.8)$$

де $K\bar{b}_{\text{ном}}$ – номінальний коефіцієнт безпеки ($K\bar{b}_{\text{ном}} = 40 \text{ дБ}$);

$K\bar{b}_{\text{мін}}$ – мінімальний коефіцієнт безпеки отриманий під час розрахун-ків.

Для силового кола ($U_{\text{жс}} = 380 \text{ В}$):

$$A_{380B} = 40 + 71,51 = 111,51 \text{ (дБ)}.$$

Для силового кола ($U_{жс} = 24 \text{ В}$):

$$A_{24B} = 40 + 126,75 = 166,75 \text{ (дБ)}.$$

Товщину захисного екрану знайдемо за формулою:

$$t = \frac{A}{5,2 \cdot \sqrt{f}}, \quad (5.9)$$

де A – перехідне затухання екрану;

f – найбільш характерна частота (15 кГц).

Отже для обладнання силового кола товщина екрану:

$$t_{380B} = \frac{111,51}{5,2 \cdot \sqrt{15000}} = 0,175 \text{ (см)},$$

Для обладнання система управління товщина екрану:

$$t_{24B} = \frac{166,75}{5,2 \cdot \sqrt{15000}} = 0,261 \text{ (см)}.$$

ВИСНОВКИ

У дипломній роботі вирішена проблема підвищення енергоефективності мережевого (силового) насоса шляхом впровадження адаптивних систем автоматичного керування. Розроблений адаптивний енергоефективний алгоритм і регулятор тиску забезпечать високу енергоефективність насосних агрегатів відповідно до заданих параметрів для регульованих електроприводів, тим самим підвищуючи надійність насосного агрегату в цілому.

Способи роботи магістрального (живильного) насоса значною мірою визначають ефективність роботи когенераційних установок. Вирішення питань ефективного регулювання продуктивності та напору, що дозволяють зменшити зношеність самого насоса, трубопроводів і запірно-регулюючої арматури, зменшити споживання електроенергії на власні потреби, на сьогодні є одним із головних факторів що забезпечують надійність роботи, економічність і маневреність котлотурбінного обладнання.

Оскільки найважливішою умовою економічності мережевих насосів є відповідне регулювання продуктивності, в сучасних установках поширене регулювання подачі зміною числа обертів замість клапанного регулювання.

За допомогою частотних перетворювачів можна збільшити частоту обертання насосів вище номінальної, тим самим збільшуючи продуктивність насоса. Потужність електроприводу зменшується пропорційно кубу обертів насоса, що може подовжити термін служби насосного агрегату.

Під час використання насосів на Черкаській ТЕЦ були зауваження до роботи мережевого насоса, особливо щодо зниження ККД, що вплинуло на енергоспоживання.

Реалізація АСУ мережевим насосом на основі перетворювача частоти дозволяє виконувати функції контролю основних параметрів, діагностики несправностей та покращення енергетичних параметрів насосного обладнання.

У зв'язку з тим, що кожен насос має індивідуальний момент опору, закон керування електроприводом також повинен бути індивідуальним. Представлений адаптивний алгоритм змінює частоту обертання насоса таким

чином, щоб тиск був завжди постійним з мінімально можливим споживанням енергії.

Необхідність стабілізації тиску зумовлена змінним характером режиму когенераційних установок. Характер водоспоживання парових котлів вимагає постійної зміни режиму роботи живильного насоса. Зміни повинні бути визначені таким чином, щоб були дотримані необхідні значення технологічних параметрів (потужності, тиску) в системі в цілому і при цьому забезпечувалося мінімально можливе енергоспоживання насосної установки.

Адаптивні САУ ефективні для підтримки необхідних значень технологічних параметрів у мережі водопостачання і при цьому забезпечують низькі енерговитрати.

Розроблена комп'ютерна модель системи «перетворювач частоти – асинхронний електродвигун – мережевий насос» дозволяє визначити фазну напругу, при якій модуль фазного струму електродвигуна є мінімальним. Відбувається зниження споживання електричної енергії, що дозволяє виявити закономірності зміни фазного струму при зміні частоти струму мережі. При використанні регулювання напруги час пуску зберігається, але сила струму знижується на 7%.

Комп'ютерне моделювання системи «асинхронний електрогенератор – перетворювач частоти – мережевий насос» підтвердило, що при застосуванні адаптивного методу керування перетворювачем частоти відбувається економія споживання електроенергії на рівнях регулювання від 10 і більше. Зі зниженням рівнів регулювання споживання електроенергії зростає.

У випадках, коли передбачено адаптивний алгоритм, керування перетворювачем частоти неможливе, тоді більш ефективнішим є адаптивний регулятор тиску.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Зимницкий В. А., Умов В. А. Лопастные насосы: Справочник. – Л.: Машиностроение. Ленинг. отд-ние, 1986. – 334 с.
2. Ржебаев Э. Е. Питательные насосы для АЭС / Э. Е. Ржебаев, В. М. Жуков, А. А. Евтушенко // Теплоэнергетика. – М.: Энергия, 1977. – №12. – С. 35.
3. Слесаренко В. В. Насосы и тягодутьевые машины тепловых электростанций: Учебное пособие. – Владивосток: Издательство ДВГТУ, 2002.
4. Centrifugal Pumps Handbook. Third edition. Sulzer pumps LTD, ButterworthHeinemann, 2010.
5. Михайлов А. К., Малюшенко В. В. Энергетические насосы: Справочное пособие. – М.: Энергоиздат, 1981. – 200 с.
6. Моргунов Г. М. Разработка насосов нового поколения питательной системы мощных энергоблоков. // Теплоэнергетика». – 2013. № 2. с. 42 – 53.
7. Лезнов Б. С. Частотно-регулируемый электропривод насосных установок. — М.: Машиностроение, 2013. — 176 с
8. Белозоров Н.П., Луговской М.В. Расчет систем водоснабжения с применением вычислительной техники. М.: Колос, 1973.
9. Ильин В.Г. Расчет совместной работы насосов, водопроводных сетей и резервуаров. // Киев, Госстройиздат УССР, 1963.
10. Лазуренко А. П. Повышение энергоэффективности работы тэц за счет снижения потребления электроэнергии на собственные нужды / А. П. Лазуренко, Г. И. Черкашина, Н. М. Кругол. // Энергетика: економіка, технології, екологія.. – 2017. – №2. – С. 82–90.
11. Капелович Б. Э. Эксплуатация паротурбинных установок / Б. Э. Капелович. – М: Энергия, 1975. – 288 с.
12. Свистунов В. А. Автоматизация насосной станции с применением частотно-регулируемого электропривода / В. А. Свистунов. // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2013. – №12. – С. 135–140.
13. Журба М.Г., Соколов Л.И., Говорова Ж.М. Водоснабжение: Проектирование систем и сооружений. Учеб. – М.: АСВ, 2003.

14. Водоподготовка: Учебн. пособие для вузов. - Фрог Б. Н., Левченко А. П.
15. Регулирование подачи центробежного насоса [Электронный ресурс] – Москва: Издательство МГУ, 1996. Режим доступа до ресурсу: <http://www.ktto.com.ua/nastroika/nmb>.
16. Карелин В.Я., Минаев А.В. Насосы и насосные станции. М.: Стройиздат, 1986.
17. Водоснабжение. Учебник для вузов. - Н.Н. Абрамов, Москва, Стройиздат, 1974.
18. Внедрение преобразователей частоты на насосных станциях. Технично-економичеcкое обоснование / ЗАО «Комбарко», Москва, 2008. – 37с.
19. Белозоров Н.П., Луговской М.В. Расчет систем водоснабжения с применением вычислительной техники. М.: Колос, 1973.
20. Ильин В.Г. Расчет совместной работы насосов, водопроводных сетей и резервуаров. // Киев, Госстройиздат УССР, 1963. регулируемого электропривода в насосные установки // Автоматизация и
21. Гинзбург Я.Н., Лезнов Б.С. Внедрение автоматизированных систем управление системами водоснабжения и водоотведения, 1986.
22. Створення автоматичної системи керування технологічними процесами Дирекції Котельня ППВ (проект). // Інвестиційна програма Дирекції Котельня північного провузла /, 2018.
23. «Кращі з доступних технологій для житлово-комунального господарства України». Керівництво з відбору технологій / Під редакцією С. Єрмілова. – К.: «Поліграф плюс», 2016. – 134 с.: іл.
24. Таранов Д. М. Адаптивный энергосберегающий алгоритм управления для преобразователей частоты привода насосов системы водоснабжения / Д. М. Таранов // Научный журнал КубГАУ. – 2014. – №96.
25. Муравьев А.В., Калинин А.Г., Мясникова Т.В. Управление энергосберегающими режимами насосных установок по критерию «баланс мощности» // Вестник Чувашского университета. – 2019. – № 1. – С. 75–82.

26. Ларионов В.Н., Калинин А.Г. Энергоэффективность и энергосбережение в электроприводах с вентиляторной нагрузкой. 2-е изд., доп. и перераб. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2017. 145 с.
27. Лезнов Б.С. Энергосбережение и регулируемый привод в насосных и воздуходувных установках. М.: Энергоатомиздат, 2006. – 360 с.
28. Вейнгер, А. М. Регулируемые электроприводы переменного тока. Конспект вводных лекций [Текст] / А. М. Вейнгер. – М., 2009. – 102 с.
29. Васин, В. М. Электрический привод: учеб. пособие для техникумов [Текст] / В. М. Васин. – М.: Высшая школа, 1984. – 231 с.
30. Гришин, А. П. Создание технических систем управляемого водопользования в сельском хозяйстве [Текст]: дис. ... д-ра техн. наук / А. П. Гришин. – М., 2012. – 377 с.
31. Рассел С., Норвиг П. Искусственный интеллект: современный подход. М.: Вильямс, 2006.
32. ДСНіП «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». Наказ МОЗ № 248 від 08.04.2014. [Чинний від 2014-05-30]. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=58073.
33. ДСТУ-Н Б А 3.2-1: 2007. Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використання в процесі зведення та експлуатації об'єктів будівництва. [Чинний від 2007-12-01]. URL: <https://profidom.com.ua/a-3/a-3-2/824-dstu-n-b-a-3-2-12007-nastanova-shhodo-viznachenna-nebezpechnih-i-shkidlivih-faktoriv->.
34. ДСТУ Б В.2.5-82:2016. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом. [Чинний від 2017-04-01]. Вид. офіц. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 109 с.
35. НПАОП 40.1-1.32-01. (ДНАОП 0.00-1.32-01). Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок. [Чинний від 2002-01-01]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0272203-01#Text>.

36. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. Постанова МОЗ № 42 від 01.12.1999. [Чинний від 1999-12-01]. URL: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972>.

37. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. [Чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. К. : Мінрегіонбуд України, 2013. 149 с.

38. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення. [Чинний від 2019-03-01]. Вид. офіц. К. : Мінрегіонбуд України, 2018. 133 с.

39. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. Постанова МОЗ № 37 від 01.12.1999. [Чинний від 1999-12-01]. URL: <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html>.

40. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації. Постанова МОЗ № 39 від 01.12.1999. [Чинний від 1999-12-01]. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va039282-99>.

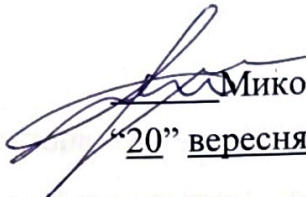
41. Кодекс цивільного захисту України. К.: ВР України, 2012. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/5403-17>.

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. зав. кафедри КЕМСК

к.т.н., доц.


Микола МОШНОРИЗ

«20» вересня 2022 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

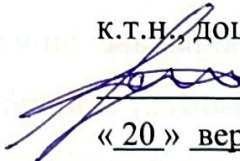
на магістерську кваліфікаційну роботу

ЕФЕКТИВНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ
МЕРЕЖЕВОГО НАСОСУ КОТЕЛЬНІ

08-16.МКР.006.00.000 ТЗ


Керівник роботи

к.т.н., доц.


Микола МОШНОРИЗ

« 20 » вересня 2022 р.

Виконав: ст. гр. ЕПА-21м


Ілля РОМАНЮК

« 20 » вересня 2022 р.

1 Загальні відомості

Повне найменування розробки «Ефективна система управління електроприводом мережевого насосу котельні».

Скорочене найменування розробки – «Ефективна система управління електроприводом мережевого насосу котельні».

Замовник – Кафедра комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів.

2 Підстави для розробки

Індивідуальне завдання та наказ ректора Вінницького національного технічного університету про затвердження тем дипломного проектування.

3 Призначення розробки і галузь використання

Найбільший інтерес для предмета даної роботи представляють насоси головного циклу системи електропостачання ТЕЦ, що працюють у високоінтенсивних теплових і силових полях взаємодій. У цьому контексті існує підвищена ймовірність певних причин відмови, це є основою для пропонованої резервної системи для окремих живильних насосів.

4 Вимоги до розробки

Створення автоматизованої системи керування технологічним процесом розраховане на тривале функціонування живильних насосних установок в режимі реального часу та виконує наступні завдання такі як, підвищення точності підтримки параметрів та економічності режимів роботи, підвищення оперативної ефективності управління, розширення діагностики основного технологічного теплоенергетичного обладнання, значне зниження витрат на обслуговування системи.

5 Комплектація розробки

Пропонована система живильної насосної установки комплектується живильними насосами з приводними електродвигунами які керуються високовольтними перетворювачами частоти та іншого обладнання включаючи різні сенсори та системи контролю параметрів, таких як тиск, температура, тощо, вимірювальні прилади, показчики, кабелі, апарати захисту.

6 Джерела розробки

1. Свистунов В. А. Автоматизация насосной станции с применением частотно-регулируемого электропривода // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2013. – №12. – С. 135–140.
2. Лезнов Б. С. Частотно-регулируемый электропривод насосных установок. — М.: Машиностроение, 2013. — 176 с
3. Centrifugal Pumps Handbook. Third edition. Sulzer pumps LTD, ButterworthHeinemann, 2010.
4. Лазуренко А. П. Повышение энергоэффективности работы тэц за счет снижения потребления электроэнергии на собственные нужды / А.П. Лазуренко, Г. И. Черкашина, Н. М. Кругол. // Энергетика: економіка, технології, екологія.. – 2017. – №2. – С. 82–90.
5. Зимницкий В. А., Умов В. А. Лопастные насосы: Справочник. – Л.: Машиностроение. Ленинг. отд-ние, 1986. – 334 с.
6. Ржебаев Э. Е. Питательные насосы для АЭС / Э. Е. Ржебаев, В. М. Жуков, А. А. Евтушенко // Теплоэнергетика. – М.: Энергия, 1977. – №12. – С. 35.
7. Слесаренко В. В. Насосы и тягодутьевые машины тепловых электростанций: Учебное пособие. – Владивосток: Издательство ДВГТУ, 2002.

7 Технічні характеристики

Таблиця 1 – Характеристики електродвигуна 4А3М 4000/6000 УХЛ4

Показник	Значення
Номінальна швидкість, об/хв	2980
Номінальна потужність, кВт	4000
Номінальна напруга, В	6000
Номінальний струм, А	177
ККД, %	97,3
$\cos\phi$	0,89

8 Етапи виконання

Основна частина	
Графічна частина	

9 Елементна база

Насоси, двигуни, апаратура керування і захисту, кабелі та ін. виробництва України чи країн близького зарубіжжя.

10 Конструктивне виконання

Електропривод виготовляється окремими блоками, котрі реалізуються у відповідності до вимог електробезпеки у пило-вологозахищеному виконанні.

11 Показники технологічності

Електропривод живильних насосних установок – насоси, двигуни, апаратура керування, провідники, кабелі і т.п. виконується на сучасній елементній базі, його монтаж, заземлення, струмопровід повинен відповідати правилам влаштування електроустановок.

12 Технічне обслуговування і ремонт

Технічне обслуговування здійснюється слюсарями-електромонтажниками відповідної кваліфікації. Технічний огляд механізму здійснюється мінімум один раз на місяць. Ремонт здійснюється інженерами-електромеханіками та техніками-електромеханіками, фахівцями з електромеханічних систем автоматизації та електропривода.

13 Живлення електропривода

Живлення електропривода повинно бути виконано напругою 6 кВ від силової мережі підприємства.

14 Порядок контролю та прийняття

Виконання етапів графічної та розрахункової документації магістерської кваліфікаційної роботи контролюється керівником згідно з графіком виконання роботи. Прийняття роботи здійснюється комісією затвердженою зав. кафедрою згідно з графіком захисту.

Додаток Б
(обов'язковий)

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

**ЕФЕКТИВНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ
МЕРЕЖЕВОГО НАСОСУ**

Об'єкт, предмет, мета та задачі дослідження

Об'єкт дослідження є процес керування електроприводом насосної установки.

Предмет дослідження є адаптивні закони керування електроприводом насосної установки живильних насосів.

Метою магістерської кваліфікаційної роботи є зменшення споживання електроенергії приводами живильних насосів тепломережі за рахунок використання адаптивних законів керування.

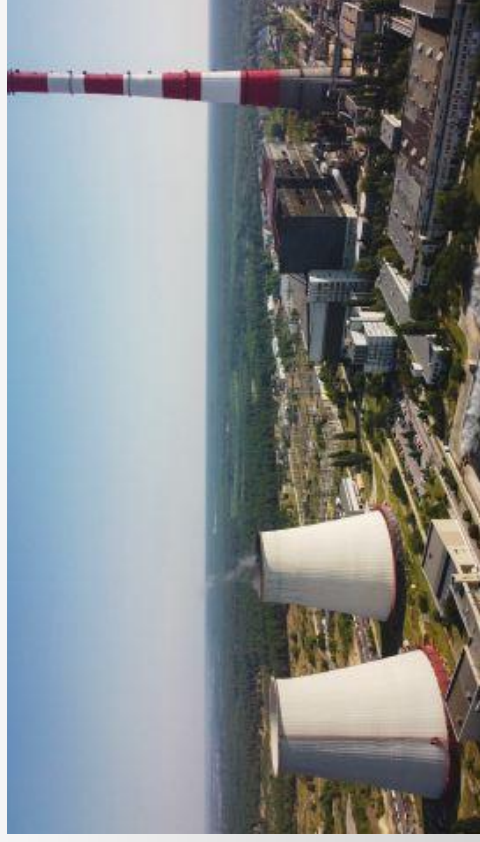
До **задач** магістерської кваліфікаційної роботи можна віднести:

- дослідити способи регулювання режимів роботи насосних установок;
- провести аналіз необхідних складових для проектування та розробки автоматизованої системи керування;
- розробити енергоефективний адаптивний алгоритм керування для перетворювача частоти;
- виконати моделювання системи управління на основі адаптивного алгоритму;

Актуальність

В останні роки зростає зацікавленість в ефективному та екологічному управлінні, оскільки технологічні системи характеризуються великим споживанням невідновлюваної енергії. Значну частину загального споживання електричної енергії займають насосні установки. Витрати на електричну енергію, яка використовується для перекачування води, становить значну частину загальних експлуатаційних витрат підприємства. Останнім часом енергоефективність цих систем набуває все більшого значення, ніж політичний та екологічний тиск на зменшення споживання енергії.

Основна мета в експлуатації системи опалення – забезпечити споживачів потребою в теплі відповідно до зовнішніх кліматичних параметрів. Таким чином, система опалення має систему управління, яка може бути якісною, кількісною або змішаною. Кількісне регулювання вимагає зміни швидкості потоку протягом експлуатації, зберігаючи при цьому температуру подачі гарячої води постійною.



Характеристика Черкаської ТЕЦ

В межах роботи розглядається мережевий насос, встановлений на Черкаській ТЕЦ.

Черкаська ТЕЦ — теплоелектроцентральною яка є найбільшим виробником електроенергії у Черкаській області. Встановлена електрична потужність становить 230 МВт. ТЕЦ постачає тепло та електроенергію промисловим споживачам, а також більшості населення міста Черкаси. Напрямок діяльності є комбіноване виробництво теплової та електричної енергії, транспортування та постачання теплової енергії.



Рисунок 1 – Черкаська ТЕЦ

Найбільший інтерес для предметної області цієї роботи представляють насоси основного циклу живильної системи, як потужні гідромашини, що працюють в високонапружених теплових і силових полях взаємодій. У зв'язку з цим має місце підвищена ймовірність тих чи інших причин виходу з ладу.

Порівняння методів регулювання режимів роботи мережевого насосу

Відсутність регулювання або застосування методів регулювання гідравлічних режимів роботи призводить до суттєвих втрат електроенергії і зниження ресурсу обладнання. При цьому жоден не в змозі забезпечити оптимальну роботу мережевого насосу в поєднанні з підтриманням необхідного напору в трубопроводі і ефективним споживанням електроенергії.

Єдиний існуючий для одночасного досягнення всіх цих цілей спосіб – регулювання шляхом зміни частоти обертання валу електроприводу.

Як показано на цьому графіку, тільки регулювання зміною частоти обертання здатне забезпечити мінімальну потужність електродвигуна при мінімальній витраті.

Для будь-якого методу регулювання оптимальне співвідношення характеристик настає при досягненні номінального значення витрати і одночасно номінального значення напору системи, коли ККД двигуна наближається до 1.

Відповідно, і обсяги електроенергії, яка витрачається на підтримку даної потужності тим менші, чим вищий ККД. Таке співвідношення забезпечується тільки при зміні частоти обертання електроприводу

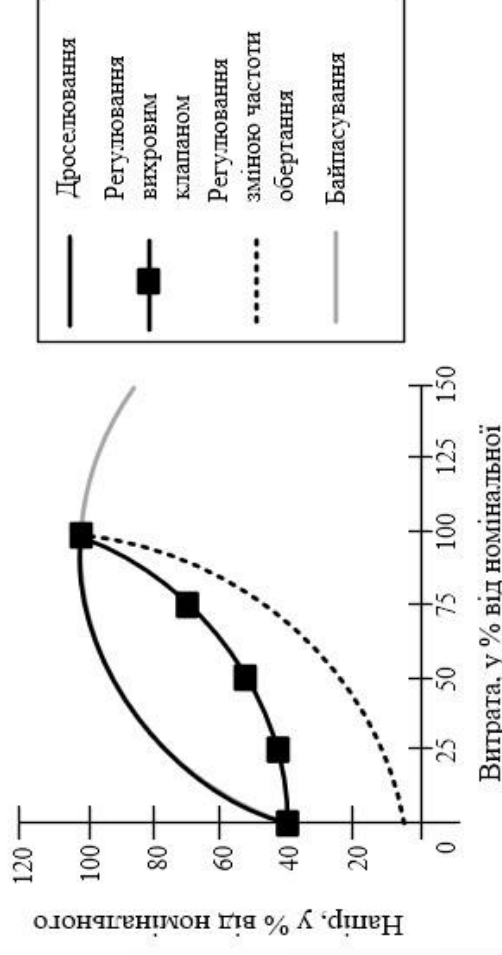


Рисунок 2 – Діаграма залежності ККД електроприводу в залежності від застосовуваного методу регулювання

Вимоги до регульованого електроприводу та системи керування мережевого насосу

Мережеві насоси є механізмами з режимом тривалого навантаження з малою кількістю вмикань/вимикань і великою кількістю годин роботи. Навантаження на валу приводного двигуна спокійне, без перевантажень. Необхідний діапазон частоти регулювання лежить в проміжку 10-120% номінального значення частоти обертання.

Навантаження на валу механізму носить чисто вентиляторний характер, тобто статичний момент опору на валу механізму пропорційний квадрату швидкості.

Електропривод повинен нормально функціонувати в умовах підвищеної вологості і відносно високих температур, а також мати максимально можливі показники надійності.

Таким чином, можна сформулювати вимоги до електроприводу. Електропривод повинен забезпечувати:

- діапазон регулювання швидкості 3:1;
- перевантажувальну здатність не нижче 1,5;
- плавний пуск насосного агрегату і розгін до заданої швидкості;
- гальмування вибігом;
- кліматичне виконання УХЛ4;
- ступінь захисту не нижче IP44.

Структурна схема регульованого електропривода мережевого насосу

Для вирішення поставленої задачі була розроблена розрахункова схема автоматичного керування електроприводом насоса зі зворотним зв'язком по тиску та струму, яка необхідна для створення стабільного тиску у системі водопостачання та регулювання споживання енергії

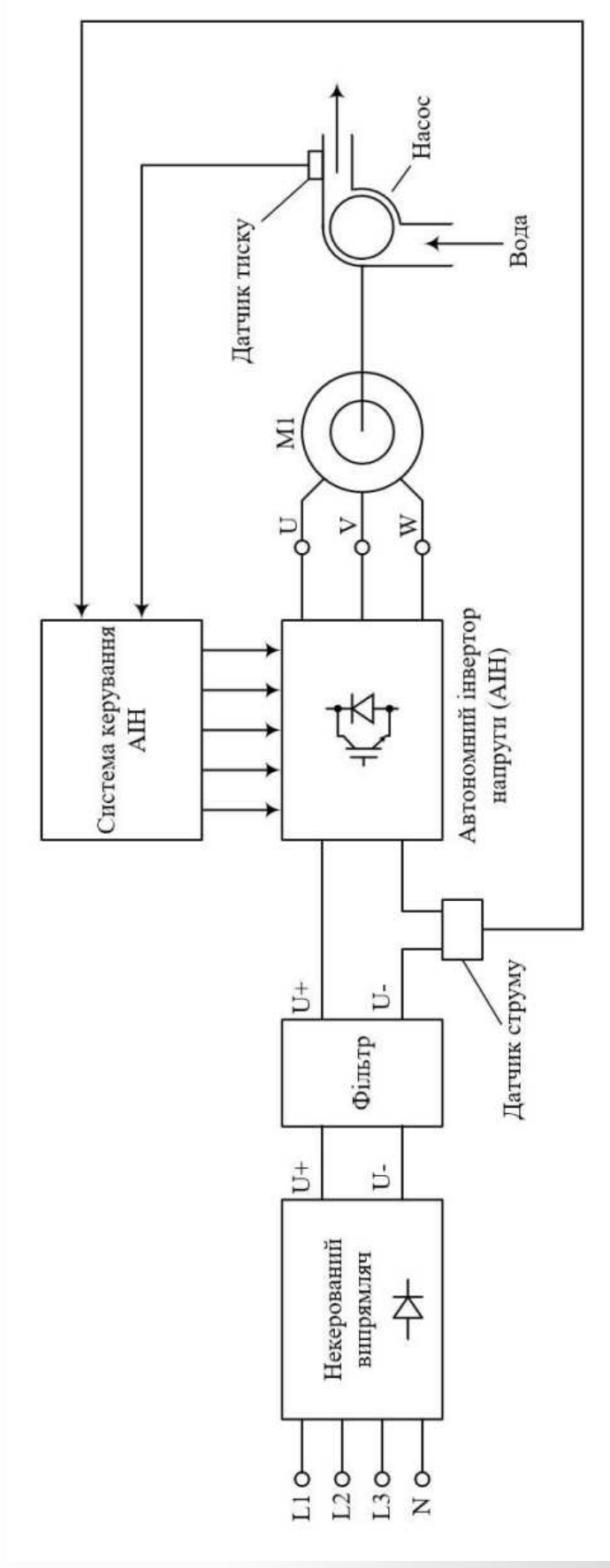


Рисунок 3 – Структурна схема регульованого електропривода мережевого насосу

Модель системи управління мереживим насосом на основі адаптивного алгоритму управління ПЧ

Щоб знайти точку мінімального струму, в якій насосна установка буде подавати воду із заданим тиском, система автоматично знижує напругу на одну сходинку з постійною частотою і розраховує силу струму електродвигуна. Коли воно зменшується, система буде зменшувати напругу, поки струм не почне збільшуватися. Після цього система повернеться до попереднього значення напруги на цій частоті і продовжить працювати, забезпечуючи необхідний тиск у системі водопостачання.

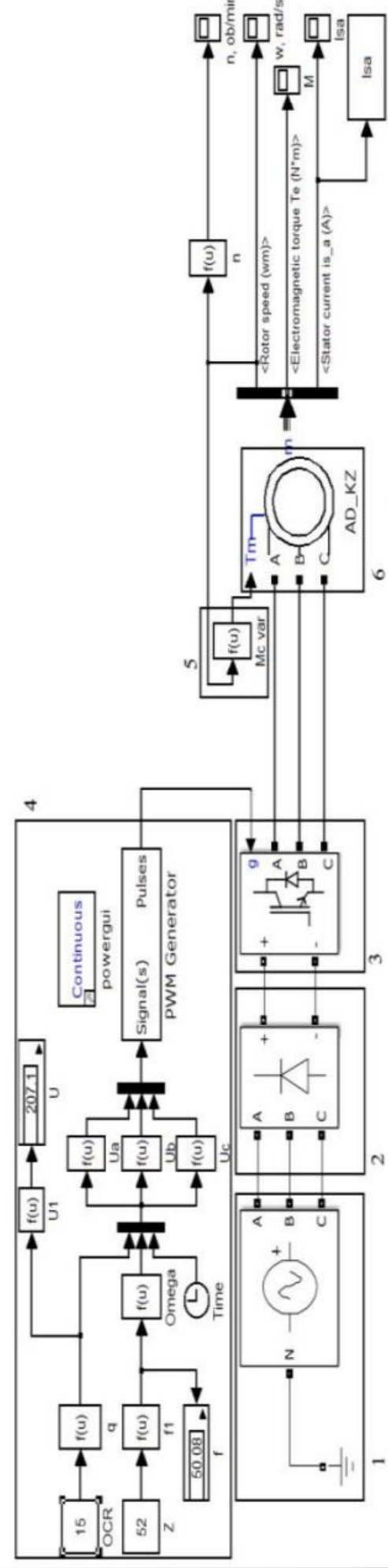


Рисунок 4 – Комп'ютерна модель системи «асинхронний електродвигун – перетворювач частоти – мереживий насос»

Результати комп'ютерного моделювання по заданій комп'ютерній моделі до зміни напруги

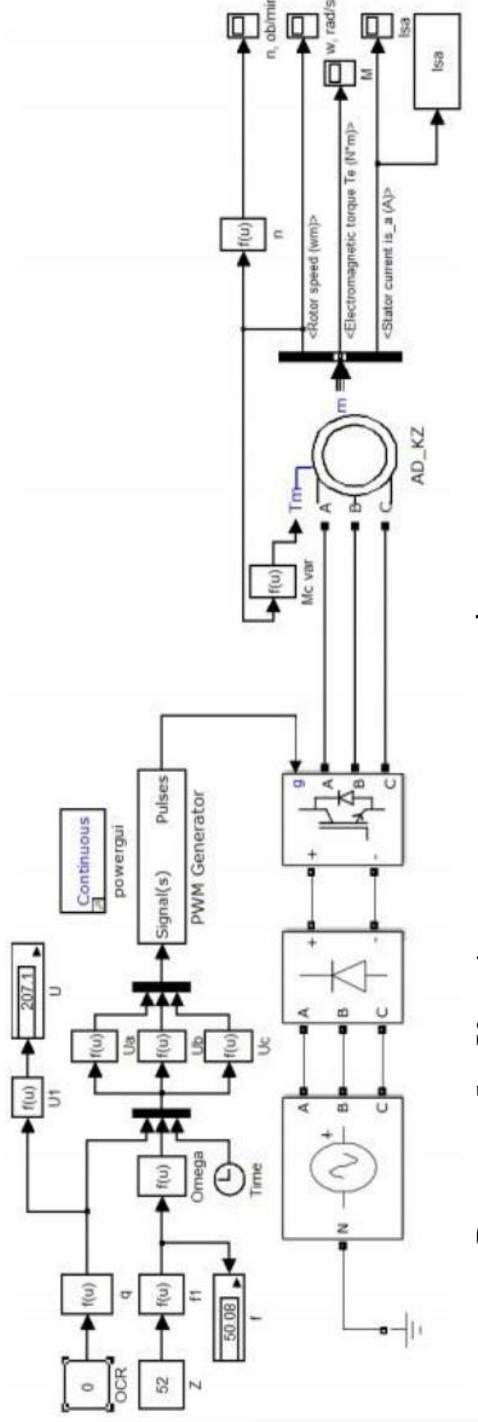


Рисунок 5 – Комп'ютерна модель до зміни напруги електродвигуна

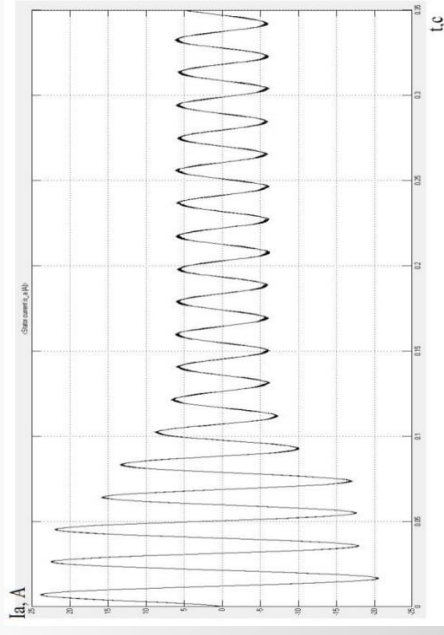
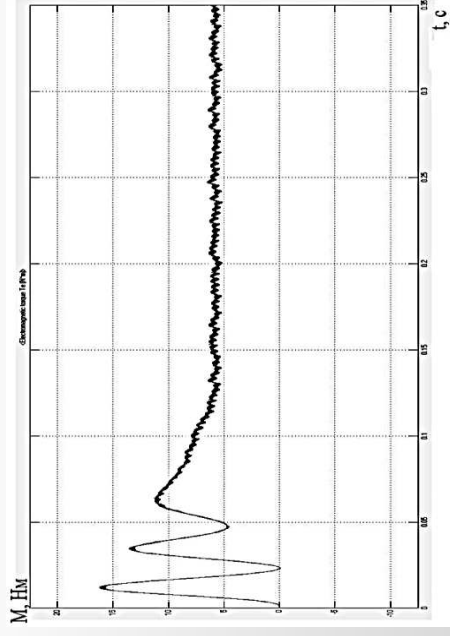
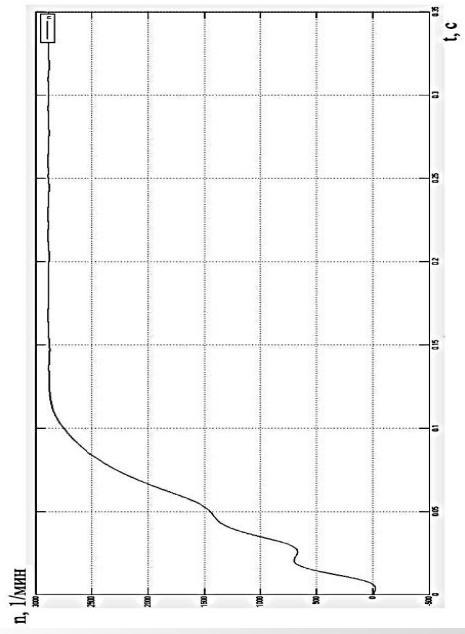


Рисунок 6 – Графіки залежностей частоти обертання, моменту та струму від часу до регулювання напруги

Результати комп'ютерного моделювання по заданій комп'ютерній моделі після зміни напруги

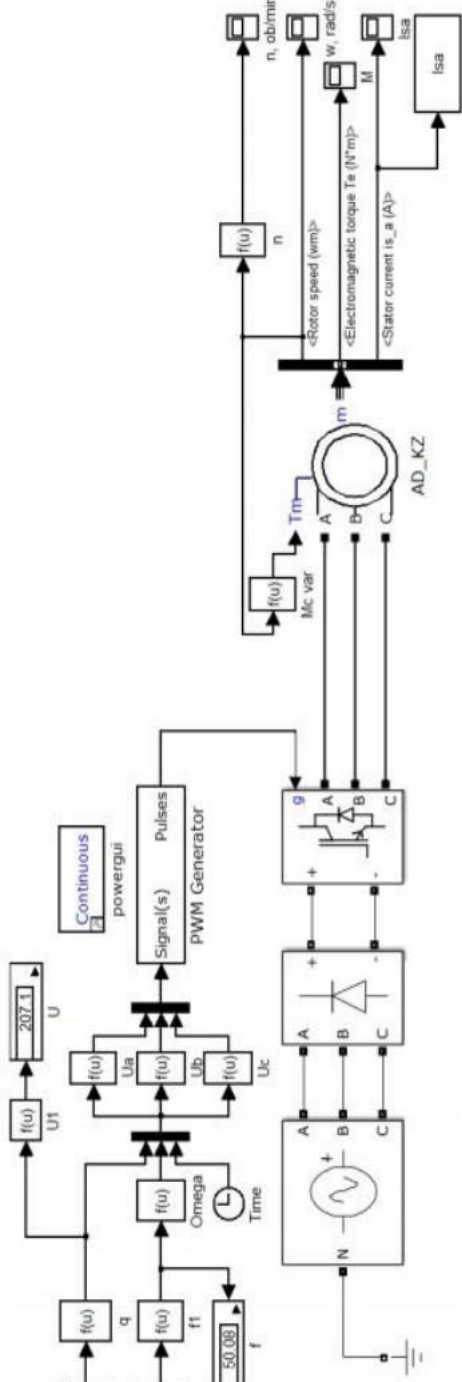


Рисунок 7 – Комп'ютерна модель зміни напруги електродвигуна

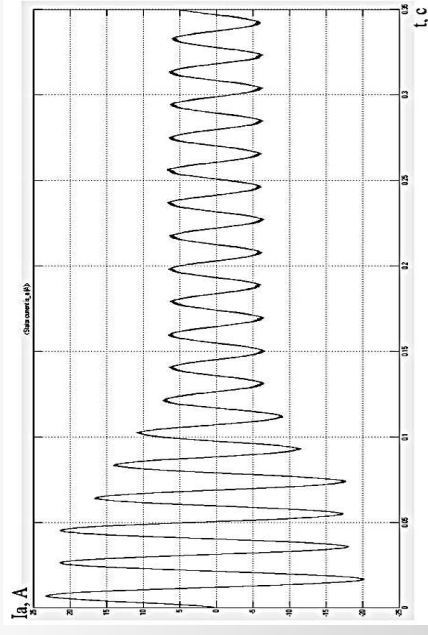
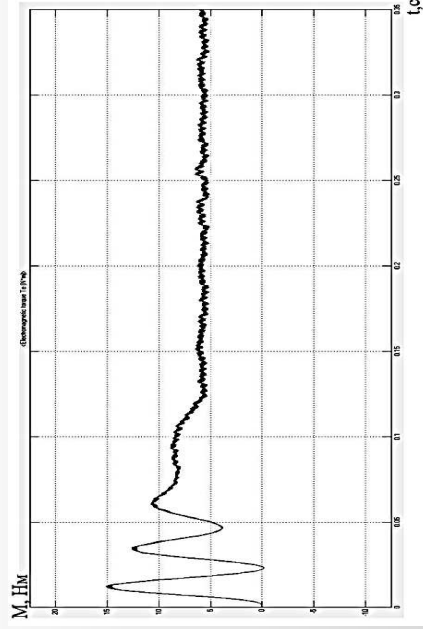
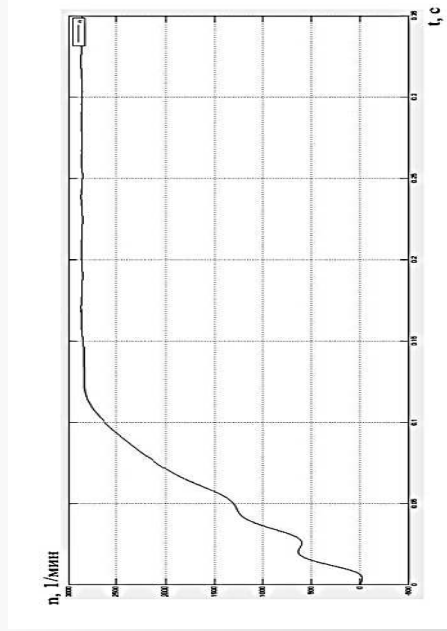


Рисунок 8 – Графіки залежностей частоти обертання, моменту та струму від часу після регулювання напруги

Моделювання динамічних процесів електроприводу з використанням адаптивного регулятора тиску

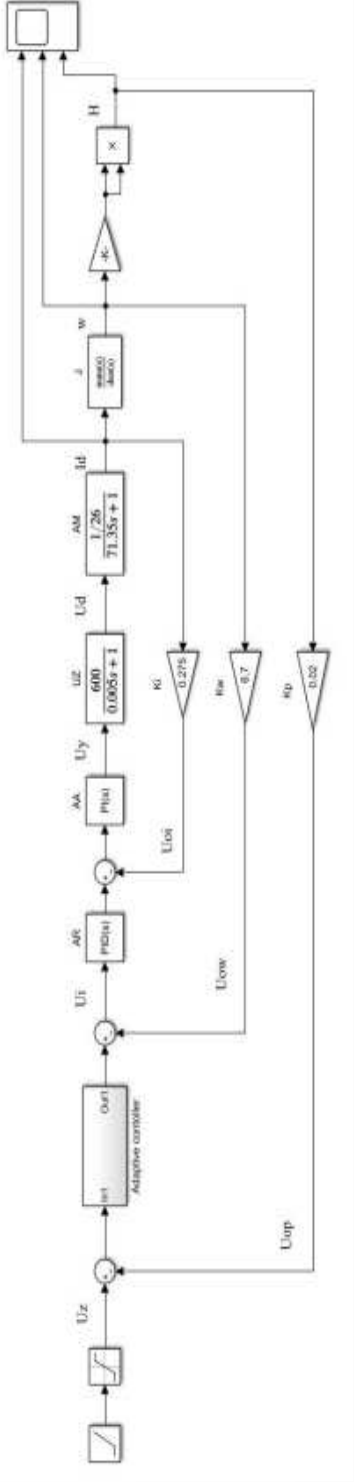
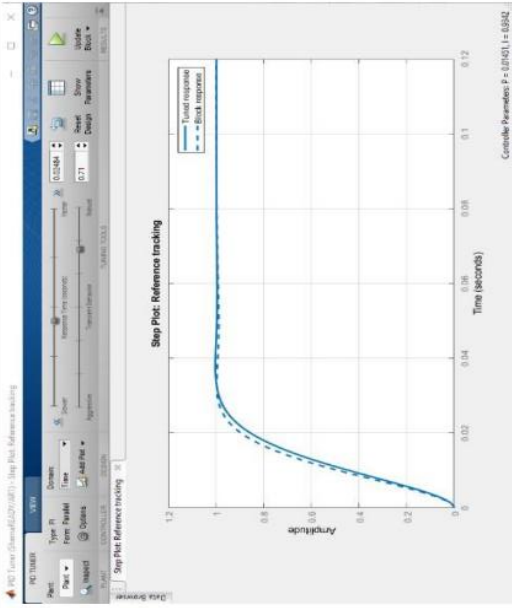
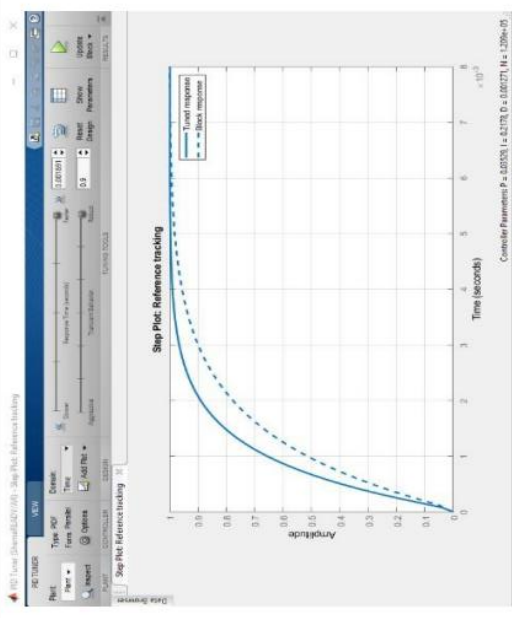


Рисунок 9 – Модель електроприводу насосного агрегату



а

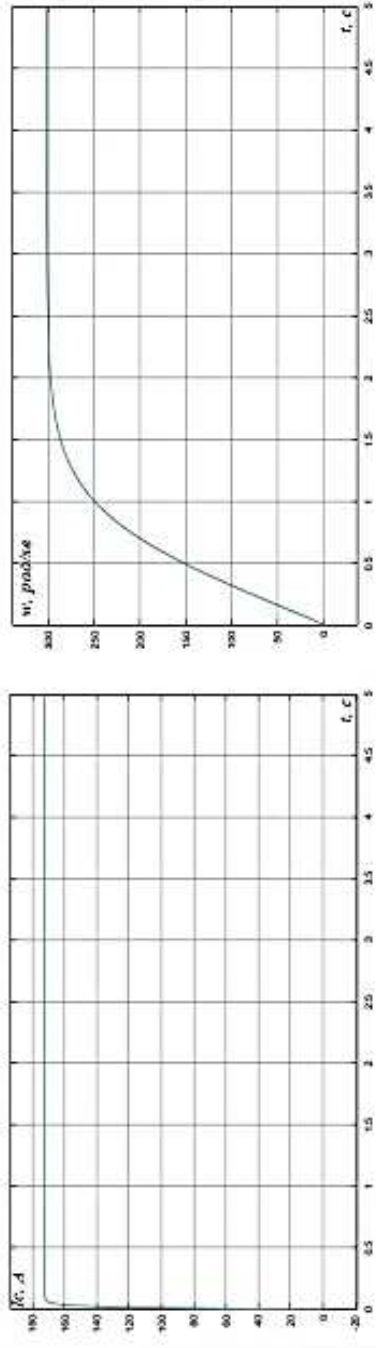


б

Рисунок 10 – Результати налаштування регуляторів:

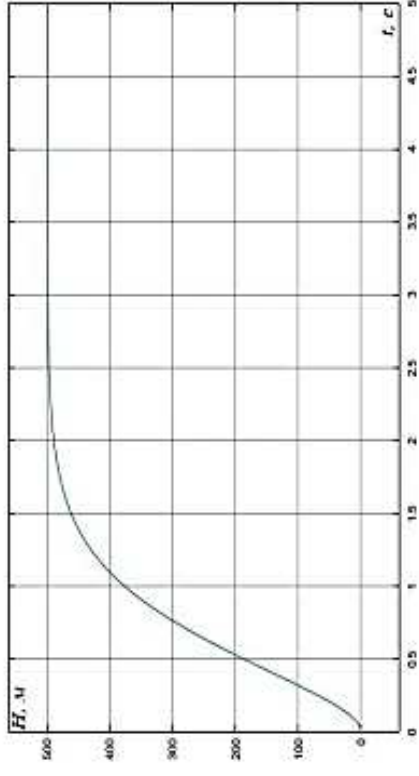
а – ПД-регулятор струму; б – ПІД-регулятор швидкості

Перехідні процеси електроприводу з використанням адаптивного регулятора тиску



а

б



в

Рисунок 11 – Перехідні процеси за струмом (а), швидкістю (б) та напором (в)


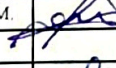

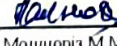

ВИСНОВКИ

Режими роботи мережевого (живильного) насосу значною мірою визначають економічність роботи енергоблоків ТЕЦ. Вирішення питань ефективного регулювання продуктивності і напору, дозволяють зменшити знос самого насосу, трубопроводів і запірно-регулюючої арматури, знизити споживання електроенергії власних потреб, є в даний час одним з основних чинників, що забезпечують надійність роботи, економічність і маневреність котлотурбінного обладнання.

Оскільки найважливішою умовою економічної роботи мережевих насосів є доцільне регулювання продуктивності, в сучасних установках отримало поширення регулювання подачі шляхом зміни числа обертів замість регулювання засувкою

За час використання насосів на Черкаській ТЕЦ виникли зауваження до роботи мережевого насосу, зокрема зниження ККД, що вплинуло на енергоспоживання. Впровадження АСУ мережевим насосом на базі перетворювача частоти дозволяє виконувати функції з контролю основних параметрів, діагностування несправностей та покращення енергетичних параметрів насосного обладнання.

08-16.МКР.006.00.000

Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	Ефективна система управління електроприводом мережевого насосу котельні Об'єкт, предмет, мета та задачі дослідження	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив:		Ромашок І.Р.		15.11.23				
Перевірів		Мошгорізі М.М.		15.11.23				
Т. контр.						Аркуш		Аркушів
Рецензент		Бабенко О.В.		19.12.23		ВНТУ, гр. ЕПА-21м		
Норм. кон.				30.11.23				
Затверд.		Мошгорізі М.М.		30.11.23				

08-16.МКР.006.00.000

Зм	Арк	№ докумен.	Підпис	Дата	Літ.			Маса	Місцятвб
Розробив		Романюк І.Р.		15.11.23					
Перевірив		Мошгоряг М.М.		15.11.23					
Т контр									
Рецензент		Бабенко О.В.		19.12.23					
Норм кон		<i>написав</i>		30.11.23					
Заг верд		Мошгоряг М.М.		30.11.23					

Ефективна система управління електроприводом мережевого насосу котельні
Актуальність



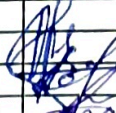
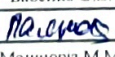
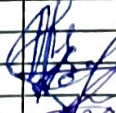

Аркуш Аркуша

ВНТУ, гр. ЕПА-21м

08-16.МКР.006.00.000

Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	Ефективна система управління електроприводом мережевого насосу котельні Характеристика Черкаської ТЕЦ	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив:		Романюк І.Р.		15.11.23				
Перевірив		Мошпоріт М.М.		15.11.23				
Т. контр.								
Рецензент		Бабенко О.В.		19.12.23				
Норм. кон.				30.11.23				
Затверд.		Мошпоріт М.М.		30.11.23				
						Аркуш	Аркушів	
						ВНТУ, гр. ЕПА-21м		

08-16.МКР.006.00.000

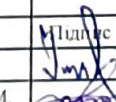
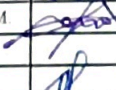
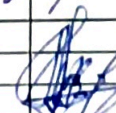
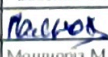
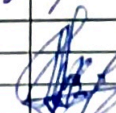
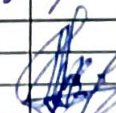
Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	Ефективна система управління електроприводом мережевого насосу котельні	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив:		Ромашок І.Р.		15.11.23		Порівняння методів регулювання режимів роботи мережевого насосу		
Перевірів:		Мошпоріз М.М.		15.11.23	Аркуш		Аркушів	
Т. контр.								
Рецензент		Бабенко О.В.		19.12.23				
Норм кон				30.11.23				
Зат верд		Мошпоріз М.М.		30.11.23				

ВНТУ, гр. ЕПА-21м

08-16.МКР.006.00.000

Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	Ефективна система управління електроприводом мережевого насосу котельні Вимоги до регульованого електроприводу та системи керування мережевого насосу	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив		Романюк І.Р.		15.11.23				
Перевіряв		Мошторіз М.М.		15.11.23				
Т. контр.								
Рецензент		Бабенко О.В.		19.12.23				
Норм. коп.				30.11.23				
Затверд.		Мошторіз М.М.		30.11.23				
						Аркуш	Аркушів	
						ВНТУ, гр. ЕПА-21м		

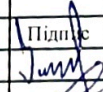
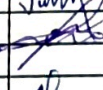

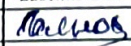


08-16.МКР.006.00.000

Зм	Арк	№ докумен	Підпис	Дата	Лист	Маса	Масштаб
Розробив		Ромашков ГР		15.11.22			
Перевішив		Мошторіз ММ		15.11.22			
Т. контр							
Рецензент		Бабенко ОВ		19.12.22			
Норм кон				30.11.22			
Затверд		Мошторіз ММ		30.11.22			

Ефективна система управління електроприводом мережевого насосу котельні
Структурна схема регульованого електроприводу мережевого насосу

ВНТУ, гр. ЕПА-21м

08-16.МКР.006.00.000

Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	Ефективна система управління електроприводом мережевого насосу котельні Модель системи управління мережевим насосом на основі адаптивного алгоритму управління ПЧ	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив:		Ромашок І.Р.		15.11.23				
Перевірив		Мошпоріз М.М.		15.11.23				
Т. контр.								
Рецензент		Бабенко О.В.		19.12.23				
Норм. кон.				30.11.23				
Затверд.		Мошпоріз М.М.		30.11.23				
						Аркуш	Аркушів	
						ВНТУ, гр. ЕПА-21м		

08-16.МКР.006.00.000






Зм.	Арк.	№ докумен.	Відпис	Дата	Ефективна система управління електроприводом мережевого насосу котельні Результати комп'ютерного моделювання по заданій комп'ютерній моделі до зміни напруги	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив:		Романюк І.Р.		15.11.23				
Перевірив		Мошнорізі М.М.		15.11.23				
Т контр.								
Рецензент		Бабенко О.В.		19.12.23				
Норм коп.				30.11.23				
Зат верд		Мошнорізі М.М.		30.11.23				

ВНТУ, гр. ЕПА-21м

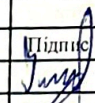


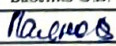


08-16.МКР.006.00.000

Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	Ефективна система управління електроприводом мережевого насосу котельні Результати комп'ютерного моделювання по заданій комп'ютерній моделі після зміни напруги	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив:		Романюк І.Р.		15.11.23				
Перевірив		Мошноріз М.М.		15.11.23				
Т. контр.								
Рецензент		Бабенко О.В.		19.12.23				
Норм кон.				30.11.23				
Затверд.		Мошноріз М.М.		30.11.23				
						Аркуш	Аркушів	
						ВНТУ, гр. ЕПА-21м		




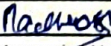


08-16.МКР.006.00.000

Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	Ефективна система управління електроприводом мережевого насосу котельні Моделювання динамічних процесів електроприводу з використанням адаптивного регулятора тиску	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив:		Ромашок І.Р.		15.11.23				
Перевірів:		Мошгорізі М.М.		15.11.23				
Т. контр.								
Рецензент:		Бабенко О.В.		19.12.23		Аркуш		Аркушів
Норм кон		<i>Пашко</i>		30.11.23	ВНТУ, гр. ЕПА-21м			
Затверд.		Мошгорізі М.М.		30.11.23				

08-16.МКР.006.00.000

Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	Ефективна система управління електроприводом мережевого насосу котельні Перехідні процеси електроприводу з використанням адаптивного регулятора тиску	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив:		Романюк І.Р.		15.11.23				
Перевірів		Мошгоріз М.М.		15.11.23				
Т. контр.						Аркуш	Аркушів	
Рецензент		Бабенко О.В.		19.12.23		ВНТУ, гр. ЕПА-21м		
Норм. кон.				30.11.23				
Затверд.		Мошгоріз М.М.		30.11.23				

08-16.МКР.006.00.000

Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	Ефективна система управління електроприводом мережевого насосу котельні Висновки	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив:		Ромашок І.Р.		15.11.23				
Перевірів		Мошторізі М.М.		15.11.23				
Т. контр.								
Рецензент		Бабенко О.В.		19.12.23				
Норм. кон.				30.11.23				
Затверд.		Мошторізі М.М.		30.11.23				
						Аркуш	Аркушів	
						ВНТУ, гр. ЕПА-21М		

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: Ефективна система управління електроприводом мережевого насосу котельні

Тип роботи: магістерська кваліфікаційна робота

Підрозділ: кафедра КЕМСК, ФЕЕЕМ, гр. ЕПА-21м

Науковий керівник: к.т.н., доц. Мошноріз М.М.
(прізвище, ініціали, посада)

Показники звіту подібності Unichesk

Оригінальність	97,9%
Схожість	2,1%

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне)

Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.

Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її автора. Роботу направити на доопрацювання.

Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Особа, відповідальна за перевірку 
(підпис)

Паянок О.А.
(прізвище, ініціали)

Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Unichesk щодо роботи.

Автор роботи 
(підпис)

Романюк І.Р.
(прізвище, ініціали)

Керівник роботи 
(підпис)

Мошноріз М.М.
(прізвище, ініціали)