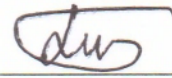


Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки
(повна назва інституту/факультету)

Кафедра автоматики
(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри


(підпис)

І. С. Білюк

« 20 » 12 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(код та назва спеціальності)

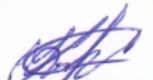
освітня програма Електромеханічні системи автоматизації та електропривод
(назва освітньої програми)

на тему: Дослідження частотної системи керування електропривода
насосного агрегату подачі аварійної живильної води до парогенераторів АЕС

Виконав: студент групи 6371мз

Кирпа Олексій Миколайович

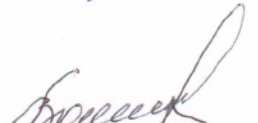
(прізвище, ім'я, по батькові)


(підпис)

Керівник

доц. каф. автоматики, к.т.н.,
доцент Васильєв О.Г.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)


(підпис)

Рецензент

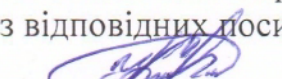
доцент кафедри СЕЕС,
к.т.н., доцент С.М.Новогорецький

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)


(підпис)

Засвідчую, що у цій кваліфікаційній
роботі немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент


(підпис)

м. Миколаїв – 2024 року

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра складається з 95 сторінок: 82 сторінок пояснювальної записки, 5 розділів, 7 таблиць, 20 рисунків, 30 літературних джерел, 1 додатку на 14 сторінках.

Ключові слова: автоматизація, аналіз динаміки, математична модель, методологія дослідження, насос, електропривод, частотний перетворювач, система керування, параметричний синтез

Мета роботи – удосконалення автоматизованого електропривода насоса подачі живильної води до парогенераторів АЕС.

У розділі 1 наведений огляд літератури та огляд розробок сучасної приводної техніки в системах керування насосних агрегатів.

У розділі 2 обґрунтований та вибраний метод наукового дослідження, побудована структурно-логічна схема магістерського дослідження, обґрунтований метод вирішення поставленої задачі дослідження.

У розділі 3 проаналізовані способи та системи керування електродвигунами відцентрових насосів, наведений аналіз систем керування електроприводів перемінного струму, вибраний комплектний електропривод серії Altivar Process MV ATV6000 та наведені його технічні дані.

В розділі 4 зроблений математичний опис елементів системи керування, виконаний розрахунок параметрів структурної схеми, складена розрахункова динамічна модель системи керування та проведений аналіз її динамічних властивостей при варіації параметрами ПІ-регулятора тиску.

Були вибрані параметри налагодження регулятора тиску, які будуть забезпечувати необхідні показники якості перехідного процесу.

В розділі 5 розглянуті питання охорони праці при роботі з електрообладнанням насосних агрегатів.

Додаток містить 14 слайдів мультимедійної презентації.

ABSTRACT

The master's qualification work consists of 95 pages: 82 pages of explanatory note, 5 sections, 7 tables, 20 figures, 30 literature sources, 1 appendix on 14 pages.

Keywords: automation, dynamics analysis, mathematical model, research methodology, pump, electric drive, frequency converter, control system, parametric synthesis

The purpose of the work is to improve the automated electric drive of the feedwater pump to the steam generators of nuclear power plants.

Section 1 provides a literature review and a review of the developments of modern drive technology in the control systems of pumping units.

Section 2 substantiates and selects the method of scientific research, builds a structural and logical scheme of the master's research, substantiates the method of solving the research problem.

In section 3, methods and control systems for centrifugal pump motors are analyzed, control systems for AC drives are analyzed, a complete Altivar Process MV ATV6000 series electric drive is selected and its technical data is given.

In section 4, a mathematical description of the elements of the control system is made, the parameters of the structural diagram are calculated, a calculated dynamic model of the control system is compiled and its dynamic properties are analyzed when the parameters of the PI pressure regulator are varied. The parameters for adjusting the pressure regulator were selected, which will provide the necessary quality indicators of the transient process.

In section 5, occupational safety issues when working with electrical equipment of pumping units are considered.

The appendix contains 14 slides of a multimedia presentation.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1 ОПИС СИСТЕМИ ПОДАЧІ ЖИВИЛЬНОЇ ВОДИ ДО ПАРОГЕНЕРАТОРІВ АЕС	9
1.1 Огляд літератури та розробок за темою	9
1.2 Опис об'єкту дослідження. Насосний агрегат подачі живильної води	15
1.2.1 Опис водо-водяного енергетичного реактора ВВЕР–1000	16
1.2.2 Насосний агрегат подачі живильної води	17
1.2.3 Опис принципової електричної схеми силових частини електропривода насоса аварійної живильної води	20
1.3 Висновки до розділу 1	22
РОЗДІЛ 2 МЕТОДОЛОГІЯ МАГІСТЕРСЬКОГО ДОСЛІДЖЕННЯ	23
2.1 Вибір та обґрунтування методу наукового дослідження.....	23
2.2 Структурно-логічна схема магістерського дослідження	28
2.3 Вибір методу розрахунку поставленої задачі	29
2.4 Висновки до розділу 2	32
РОЗДІЛ 3 РОЗДІЛ 3 ВИБІР КОМПЛЕКТНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА ДЛЯ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОДВИГУНОМ ЖИВИЛЬНОГО НАСОСА	33
3.1 Способи керування електродвигунами живильних насосів.....	34
3.2 Аналіз систем керування електроприводів перемінного струму та вибір комплектного електропривода	37
3.2.1 Частотне регулювання асинхронних електроприводів	38
3.2.2 Система частотно-струмового керування	40
3.2.3 Система векторного керування.....	42
3.3 Розробка функціональної схеми системи керування.....	44
3.4 Електропривод на базі перетворювача серії Altivar Process MV ATV6000 для керування асинхронними двигунами	47

3.5 Висновки до розділу 3	50
РОЗДІЛ 4 ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ТА ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ НАСТРОЮВАННЯ РЕГУЛЯТОРА НАПРУГИ.....	
4.1 Математичний опис елементів системи керування електропривода	51
4.2 Розрахунок параметрів структурної схеми та аналіз перехідних процесів.....	56
4.3 Висновки до розділу 4	66
РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ РОБОТІ З ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯМ НАСОСНИХ АГРЕГАТІВ	
5.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів при експлуатації електропривода насоса подачі живильної води парогенераторів....	69
5.2 Правила безпечної експлуатації засобів автоматизації при експлуатації насоса подачі живильної води парогенераторів	71
5.3 Вимоги до безпеки технічного комплексу системи автоматичного регулювання.....	75
5.4 Висновки до розділу 5	76
ВИСНОВКИ	77
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	79
Додаток А. Мультимедійна презентація.....	82

ВСТУП

Актуальність теми. В Україні, як і в інших країнах світу, збудовано та успішно експлуатуються атомні електричні станції, які забезпечують промисловість, сільське господарство, соціально-побутовий сектор економіки та населення електричною енергією.

Обмежені ресурси органічного палива в Україні й висока вартість його імпорту не дозволяють нарощувати виробництво електроенергії на теплових електростанціях, які, до всього, вимагають технічного переоснащення й реконструкції.

Атомна енергетика має велику енергоємність, тобто обсяг необхідного ядерного палива на одиницю потужності в кілька десятків тисяч разів менший за органічне. Ось чому велика роль у виробленні енергоресурсу країни припадає на енергетику АЕС, а використання ядерних джерел енергії є економічно й екологічно виправданим.

Розвиток ядерної енергетики привів до створення нового енергетичного обладнання, у тому числі насосів різного призначення. В якості електроприводів насосів для перекачування рідин і газів енергоблоків в основному застосовуються нерегульовані приводи з асинхронними короткозамкненими двигунами. Потужності цих приводів досягають 100 кВт.

Нерегульований привод не дозволяє забезпечити сталість продуктивності нагнітачів при поступовому виробленні фільтрами свого ресурсу й, отже, до неоптимальної їхньої експлуатації.

Актуальність теми магістерської роботи магістерської роботи полягає в тому, що регулювання продуктивності турбоживильного насосу при зміні навантаження реакторної установки є дуже важливим завданням регулювання енергетичним блоком. Система регулювання продуктивності турбоживильного насосу тісно пов'язана з системою регулювання живильної води парогенератора, сприяє підвищенню економічної роботи енергоблоку, його динамічної стійкості в перехідних режимах і надійної роботи регулюючих поживних клапанів.

Мета і завдання дослідження. Магістерська робота присвячена аналізу роботи системи подачі живильної води до парогенераторів АЕС з виявленням деяких недоліків в роботі системи керування насосами, таких як недоліки керування аварійними процесами, невелика надійність у керуванні системою при виконанні функцій тепловідвода, мала захищеність від аварій, з метою поліпшення вказаних якостей та підвищення показників безпеки блоків АЕС за рахунок модернізації системи керування електропривода насосного агрегату подачі живильної води.

Мета магістерської роботи полягає в оцінюванні динамічних властивостей та підвищенні точності системи автоматичного керування електропривода насосного агрегату (НА) подачі живильної води до парогенераторів АЕС.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- проаналізувати відомі методи керування електроприводом насосного агрегату, які призводять до зменшення споживання енергії при забезпеченні потрібного значення продуктивності насоса, та обрати економічно доцільний спосіб регулювання продуктивності насосного агрегата;
- сформулювати закон керування електроприводом регульованого насосного агрегату, який дозволить забезпечити потрібне значення продуктивності;
- розробити математичну модель технологічної схеми НА, на основі якої можуть вирішуватися задачі енергозберігаючого керування режимом роботи технологічного обладнання НА;
- провести розрахунок параметрів системи керування електропривода для наступного моделювання;
- виконати теоретичне і комп'ютерне дослідження значень основних показників якості роботи САК;
- провести аналіз динаміки системи керування насоса подачі живильної води в математичній програмі Simulink пакету Matlab;
- проаналізувати результати моделювання й обґрунтувати правильність вибору системи керування електропривода насосного агрегату подачі живильної води до парогенераторів АЕС.

Об'єкт дослідження - процес автоматизованого керування електричними приводами насосного агрегату подачі живильної води в умовах Південноукраїнської АЕС.

Предмет дослідження: динамічні характеристики системи, параметри, що забезпечують підвищення точності системи керування електроприводів насосного агрегату подачі живильної води, автоматизація процедур прийняття рішень і процесів керування режимами роботи насосного агрегату з метою зниження енергоємності процесів водопостачання.

Методи дослідження.

Методи базуються на положеннях і методах теорії гідравлічних мереж, теорії автоматизованого електропривода, методах оптимізації та імітаційного моделювання з використанням ЕОМ.

Для розв'язання поставлених завдань були проведені теоретичні дослідження на основі теорії автоматичного керування, теорії електропривода, використане математичне моделювання на основі диференційних рівнянь та структурних схем на основі теорії електропривода для визначення параметрів, які характеризують роботу системи в перехідних режимах роботи.

За допомогою програмного забезпечення для персональних комп'ютерів Simulink пакету MathLab були змодельовані математичні моделі системи керування, яка досліджувалася.

Практичне значення одержаних результатів мають математичні та імітаційні моделі систем керування, які є зручними інструментами для дослідження характеристик системи керування енергозберігаючого електропривода насосного агрегату подачі живильної води до парогенераторів АЕС.

Результати кваліфікаційної роботи магістра можуть бути використані у навчальному процесі кафедри автоматики Національного Університету Кораблебудування студентами очного та заочного відділень при вивченні дисципліни "Системи керування електроприводів".

РОЗДІЛ 1

ОПИС СИСТЕМИ ПОДАЧІ ЖИВИЛЬНОЇ ВОДИ ДО ПАРОГЕНЕРАТОРІВ АЕС

1.1 Огляд літератури та розробок за темою

Постановка проблеми. Безперервний зріст потреби в електричній енергії в усьому світі й економічні міркування, пов'язані із прямими витратами на виробництво цієї енергії й з непрямыми витратами, спрямованими на збереження навколишнього середовища, забезпечення безпеки виробництва і т.п., вимагають уважного підходу до раціонального використання наявних джерел енергії, включаючи ядерні.

Розвиток атомної енергетики на сучасному етапі можливий лише при розробці нових підходів до оцінки безпеки АЕС і при перегляді границь безпеки з технічної точки зору. Це неминуче веде до зростання капіталовкладень у забезпечення безпеки атомної енергетики й, відповідно, до подорожчання вироблюваної нею електроенергії.

Нарівні з нарощуванням нових потужностей на АЕС, в умовах інвестиційних труднощів в атомно-енергетичній галузі, досить важливим стає також більш ефективне використання й розвиток існуючого обладнання.

Основним технологічним обладнанням системи водопостачання є насоси з електроприводом. Насосні агрегати (НА) повинні працювати в нормальному режимі – це режим, при якому насосні агрегати працюють із ККД, близьким до максимального значення, а втрати електроенергії, води, тиску – мінімальні.

Однак в даній отрасли спостерігається ряд невирішених проблемних питань. Відповідно з метою дослідження доцільно провести ретроспективний аналіз наукової літератури та наукових напрацювань вітчизняних та зарубіжних авторів з питань розвитку та функціонування систем керування для насосних агрегатів.

Важливо робити огляд тільки новішої літератури, але на жаль, в останні роки суттєво зменшились видання фахових підручників та іншої навчальної літератури

з теорії електропривода. Обмаль такої літератури і на українській мові, тому до переліку посилань, розміщених у кінці роботи, увійшли також джерела минулих років видання.

Дослідженням та висвітленням актуальних питань в сфері ефективної роботи насосних агрегатів на АЕС присвячені роботи вітчизняних спеціалістів.

Вибір оптимальної роботи насосних агрегатів описаний у роботах Искендерова А. А. [15], де в якості цільової функції вибираються витрати на електроенергію; накладаються обмеження на забезпечення необхідної або не менше за необхідну подачу й ураховується тривалість безперервної роботи насоса.

Для забезпечення оптимальної роботи мережі водопостачання й насосного агрегата прибігають до регулювання продуктивності станції. Це може бути активне або пасивне регулювання. Використовуючи дроселювання як найбільш простий з погляду можливості реалізації спосіб регулювання, електрична енергія витрачається невиправдано, оскільки двигуни при цьому працюють у номінальному режимі, а продуктивність їх роботи може суттєво відрізнятись від номінальної. Крім того такий спосіб регулювання приводить до швидкого вичерпання ресурсу встаткування й, відповідно, до зменшення строку його експлуатації. Використання додаткових пристроїв для регулювання продуктивності НА також приводить до додаткових витрат. Найбільш ощадливий спосіб регулювання продуктивності НА зміною кількості його обертів наведений в роботі Лезнова Б. С. [18].

При виконанні систем керування НА у якості критерію вибору використовують рівномірне зношування ресурсу встаткування. Тобто включення або вимикання НА станції відбувається так, щоб вирівняти залишковий ресурс насосного обладнання (в основному самого насоса й електричного двигуна). Оскільки введення або виведення НА з роботи приводить до стрибкоподібної зміни продуктивності станції, яка, до речі, не завжди відповідає потрібному значенню продуктивності, то цей спосіб регулювання стає ефективніше при забезпеченні частотного керування електричними двигунами НА, які описувалися в роботі Грабко В.В, Мошноріза М.М [8].

Аналіз вітчизняного й закордонного досвіду експлуатації насосних агрегатів показав, що одним із імовірних варіантів зниження витрати електроенергії є частотне керування асинхронним двигуном, що приводить у рух робоче колесо відцентрового насоса. Тобто регулювання зміни подачі за допомогою різної частоти обертання, однак для цього необхідно мати регульований приводний двигун або перетворювач частоти обертання. При трансформації частоти обертання робочого колеса змінюється характеристика насосного агрегату, при цьому характеристика мережі залишається незмінною. Сьогодні усе актуальніше стає застосування частотно-регульованого електропривода, завдяки своїй економічності, можливості з високою надійністю й ефективністю вирішувати різні завдання автоматизації виробництва, простоті в обслуговуванні.

Частотно-регульований електропривод є одним з найбільше часто застосовуваних енергозберігаючих заходів у тих випадках, коли навантаження суттєво міняється в години максимального й мінімального водоспоживання. Керування роботою насосів багато в чому залежить від людського фактора. Частотно-регульований електропривод забезпечить регулювання частоти обертання двигуна, що дозволить установити оптимальне значення тиску води на виході насоса. Результати успішного застосування регульованого електропривода на цілому ряді насосних установок підтверджуються багаторічною практикою впровадження.

Незважаючи на явні переваги, частотно-регульований електропривод ще не одержав широкого поширення в насосних установках. Це обумовлене тим, що в технічній літературі недостатньо широко представлені обґрунтовані методи й рекомендації з визначення ефективності застосування частотно-регульованого електропривода, так само викликають сумніву цифри можливої економії електроенергії й строки його окупності, надавані організаціями - постачальниками. У той час як у західних країнах використання регульованих електроприводів є обов'язковою частиною будь-якої енергетичної системи, впровадження регульованих приводів у нашій країні лише в останні роки стало гострим завданням у зв'язку з необхідністю в сучасних економічних умовах знижувати

електропостачання й експлуатаційні витрати.

Метод підвищення енергоефективності насосних агрегатів (керування швидкості насоса за допомогою регульованого електропривода відповідно до змін технологічних параметрів) розглядається у роботах Лезнова Б. С., Фациленко В. Н., Загірняка М. В.

Підвищенню енергоефективності технічних комплексів і систем транспортування рідини, у тому числі асинхронних електроприводів насосних агрегатів, присвячені наукові праці багатьох вітчизняних учених і фахівців: Ільїнський М.Ф., Онищенко Г.Б., Лезнов Б.С., Гінзбург Я.Н. та інші.

В сучасній літературі [2, 26] в якості основного типу регульованого асинхронного електропривода з двигунами з короткозамкненим ротором розглядається частотно-регульований електропривод, який дозволяє задовольнити вимоги як по діапазону, так і по якості регулювання частоти обертання й відпрацьовувати задані закони руху.

У літературі [13,18] розглядаються питання енергозбереження засобами промислового електропривода.

Питання математичного моделювання електромеханічних систем наведені в [5,27].

Загальний стан розробки обраної теми показує, що вона відображена у великому масиві джерельного матеріалу.

Аналіз публікацій показує, що можливості модернізації насосних агрегатів парогенераторної системи АЕС далеко не вичерпані.

Сучасний стан питання вказує на необхідність подальших досліджень та пошуків шляхів енергозбереження засобами промислового електропривода.

Проведений літературний огляд показав, що рекомендується використовувати різні математичні моделі дослідження систем регулювання швидкості автоматизованого електропривода.

Огляд розробок сучасної приводної техніки в системах керування насосних агрегатів.

На сучасному етапі розвитку технології та інформатизації вже не можна собі

увести промисловий виробничий процес без участі інтелектуальної перетворювальної техніки. Різноманітність функцій та модельних ліній дають можливість підібрати оптимальний варіант для підвищення енергоефективності, надійності та інших показників будь-якого промислового технологічного процесу.

Найбільшою популярністю користується продукція таких виробників ПЧ: Siemens, ABB, Control Techniques, Schneider Electric, Danfoss, Lenze. До менш відомих європейських виробників ПЧ відносяться Vacon, Elettronica Santerno, Emotron.

До найбільш популярних американських виробників ПЧ відноситься General Electric. Серед азіатських компаній найбільш відома продукція таких виробників ПЧ: японські Mitsubishi Electric, Omron, Hitachi, Toshiba, Fuji Electric; корейські і тайваньські LG Hyundai Electronics, Long Shenq Electronic, Delta Electronics.

Одним із світових лідерів виробництва перетворювальної техніки є корпорація ABB [27]. Її лінія приводів ділиться на низьковольтні приводи змінного струму та середньої напруги потужністю від 0.18 кВт до 100 МВт та приводи постійного струму потужністю від 9 кВт до 18 МВт.

Danfoss - датська промислова компанія: ПЧ Danfoss VLT AQUA (наприклад, FC202) призначені для використання в системах водопостачання й водовідводу, Danfoss VLT, HVAC - у системах опалення, вентиляції й кондиціонування.

Широке розповсюдження також знайшли промислові приводи німецької фірми Lenze [28]. Німецька компанія Lenze - один з лідерів в області технології ПЧ для різних задач автоматизації технологічних процесів: від керуванням насосами і вентиляторами (серія Lenze 8200 SMD) до задач з підвищеною динамікою та точністю регулювання (серія Lenze 9300 Vector)

Фірма Mitsubishi Electric [29] пропонує перетворювачі серії FR-700, які також є потужним засобом автоматизації. Перетворювач FR-D700 окрім стандартних функцій керування, що описані вище, виробник пропонує скористатися функцією оптимального керування збудженням ОЕС (Optimum Excitation Control), що дозволяє оптимізувати споживання електроенергії та потужності двигуна. Також ця серія перетворювачів має потужну функцію самодіагностики, що визначає

старіння конденсаторів головного кола, обраховує години роботи для визначення терміну проведення технічного обслуговування, захищає від перевантажень та обриву фази та ін.

Перетворювачі частоти фірми Schneider Electric [30] розділені за функціональним призначенням на компактні, стандартні, спеціалізовані та комплектні потужністю від 0.18 кВт до 2 МВт. Для більш складних задач керування електроприводом розроблені серії Altivar 32, 71 та 71Q.

Таким чином, сучасна перетворювальна приводна техніка, робить великі кроки на шляху свого розвитку, постійно вдосконалюючись і цим підвищуючи якість технологічних процесів.

Проведений аналіз розробок та вітчизняної і зарубіжної наукової літератури за напрямом системи електропривода насосних агрегатів дає можливість стверджувати про необхідність здійснення подальших досліджень за даною тематикою з метою вдосконалення теоретичних та практичних засад.

Отже, обсяги вибірки та дослідження з питань надійної та ефективної роботи насосних агрегатів на АЕС свідчать про актуальність даної проблематики.

Тема магістерської роботи пов'язана із сучасною технікою, визнаним інструментом дослідження якої є математичне моделювання, тому і огляд розробок необхідно робити, сираючись на літературу по моделюванню, по теорії частотного керування та перетворювальної техніки.

Математичне моделювання пройшло довгий шлях свого розвитку. Починаючи від аналогових моделей, та закінчуючи прикладними пакетами із готовими моделями того чи іншого об'єкта. Так для електромеханіків зараз є визнаним в усьому світі пакет MatLab, версії якого постійно оновлюються. При виконанні даної магістерської роботи використовується версія MatLab 6.5.

1.2 Опис об'єкту дослідження. Насосний агрегат подачі живильної води

Призначення системи. Об'єктом модернізації є система керування електропривода насосного агрегата подачі аварійної живильної води до парогенераторів АЕС.

Реакторна установка з реактором ВВЭР-1000 є складовою частиною енергоблока Південноукраїнської АЕС і спільно з турбогенератором використовується для виробництва електроенергії у базовому режимі.

Призначення реакторної установки – вироблення сухої насиченої пари для установки турбогенератора, де теплова енергія пари перетвориться в електричну енергію [5].

Система аварійної живильної води парогенераторів (ПГ) призначена для подачі живильної води в парогенератори в аварійних режимах роботи блоку, пов'язаних зі знеструмленням блоку й порушенням нормальної подачі живильної води в парогенератори [20].

Система також застосовується для заповнення парогенераторів у період планово-попереджувальних робіт (ППР) при неможливості або небажаності заповнення ПГ із метою дорозхолодження корпусів ПГ до температури нижче 55°C у режимі розхолодження реакторної установки.

Система подачі аварійної живильної води в парогенератори є системою важливою для безпеки й відноситься до захисних систем безпеки.

Категорія сейсмостійкості – 1. Класифікаційне позначення – 23.

Електродвигуни аварійних живильних насосів (АЖН) і приводи оперативної арматури живляться від секцій надійного живлення II групи.

Згідно "Класифікації систем і елементів по діючій нормативно-технічній документації (НТД)" система подачі аварійної живильної води в парогенератори відноситься до 2 класу відповідно до НП 306.1.02/1.034-2000 (ОПБУ), групи В відповідно до ПНАЕ Г-7-008-89 ("Правила АЕУ...") [21].

1.2.1 Опис водо-водяного енергетичного реактора ВВЕР-1000

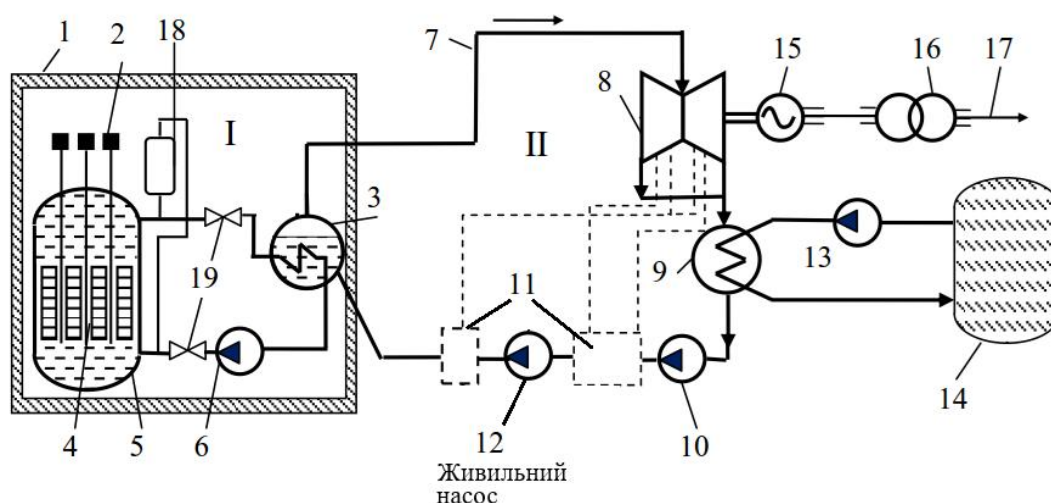
ВВЕР-1000 – ядерний реактор серії реакторів ВВЕР з номінальною електричною потужністю 1000 МВт, теплової – 3000 МВт.

Установка на АЕС водо-водяних корпусних реакторів типів ВВЕР-1000 передбачає застосування двоконтурної теплової схеми.

Реактор ВВЕР є реактором корпусного типу з водою під тиском. Вода виконує функції теплоносія і сповільнювача.

Розглянемо технологічну схему двоконтурної АЕС на прикладі АЕС з реакторами, в яких в якості теплоносія і сповільнювача використовується вода.

Схема блоку атомної електростанції з двоконтурним водоводяним енергетичним реактором (ВВЕР) представлена на рисунку 1.1 [20].



1 – захисна оболонка реактора (герметичний бокс); 2 – система управління і захисту (СУЗ); 3 – парогенератор; 4 – паливо; 5 – корпус реактора; 6 – головний циркуляційний насос (ГЦН); 7 – паропровід; 8 – парова турбіна; 9 – конденсатор;

10 – конденсатний насос; 11 – система водопідготовки і регенеративного підігрівання конденсату; 12 – живильний насос; 13 – циркуляційний насос; 14 – водосховище-охолоджувач; 15 – генератор електричного струму; 16 – блоковий трансформатор, що підвищує напругу; 17 – лінія електропередачі (ЛЕП) зв'язку з енергосистемою; 18 – паровий компенсатор тиску (ПКД); 19 – головні запірні засувки (ГЗЗ). I, II – перший та другий контури відповідно

Рисунок 1.1 - Спрощена технологічна схема енергоблоку АЕС з реактором ВВЕР-1000

До першого контуру відносять сам ядерний реактор з його установками по забезпеченню надійної та безперебійної експлуатації, головні циркуляційні насоси (ГЦН), парогенератори і зв'язуючі їх з реактором, водяні трубопроводи в вигляді самостійних петель, кількість яких зазвичай вибирають від трьох до шести. Другий контур живиться паром парогенераторів і включає турбогенератори установки з їх допоміжними елементами.

Перший контур – радіоактивний. Це контур (разом з системою компенсації тиску) по якому теплоносій під робочим тиском циркулює через активну зону.

Перший контур призначений для циркуляції теплоносія і передачі тепла, що виділяється в активній зоні реактора другого контуру в парогенераторах з метою генерації пари в другому контурі для турбогенераторної установки.

Другий контур – нерадіоактивний. Він включає в себе парогенератори, паропроводи, парові турбіни, сепаратори-пароперегрівачі, **живильні насоси** і трубопроводи, деаератори і регенеративні підігрівачі.

1.2.2 Насосний агрегат подачі живильної води

Аварійний живильний насос призначений для подачі хімічнознесоленої води з бака у парогенератори. Загальний вид живильного насосного агрегата з маркою АТ «СМНВО-Інжиніринг» наведений на рисунку 1.2 [19].

Аварійні живильні насоси АЖН ТХ10(20,30)D01, що відносяться до 2 класу безпеки, розташовані в приміщеннях А-038/1,2,3 відповідно, позначка мінус 4,2 м негерметичної частини РО, і призначені для подачі ХОВ з баків ТХ10,20,30В01 у парогенератори.

Насос ПЭА 150-85 - відцентровий, горизонтальний, однокорпусний, секційний, семиступінчастий, з гідравлічною п'ятою, підшипниками ковзання з кільцевим змащенням і кінцевими ущільненнями вала насоса чепцевого типу [19]. Напрямок обертання ротора – за годинниковою стрілкою, якщо дивитися з боку привода.



Рисунок 1.2 - Загальний вид насосного агрегата АТ «СМНВО-Інжиніринг»

Насосний агрегат ПЕА150-85 показано на рисунку 1.3.

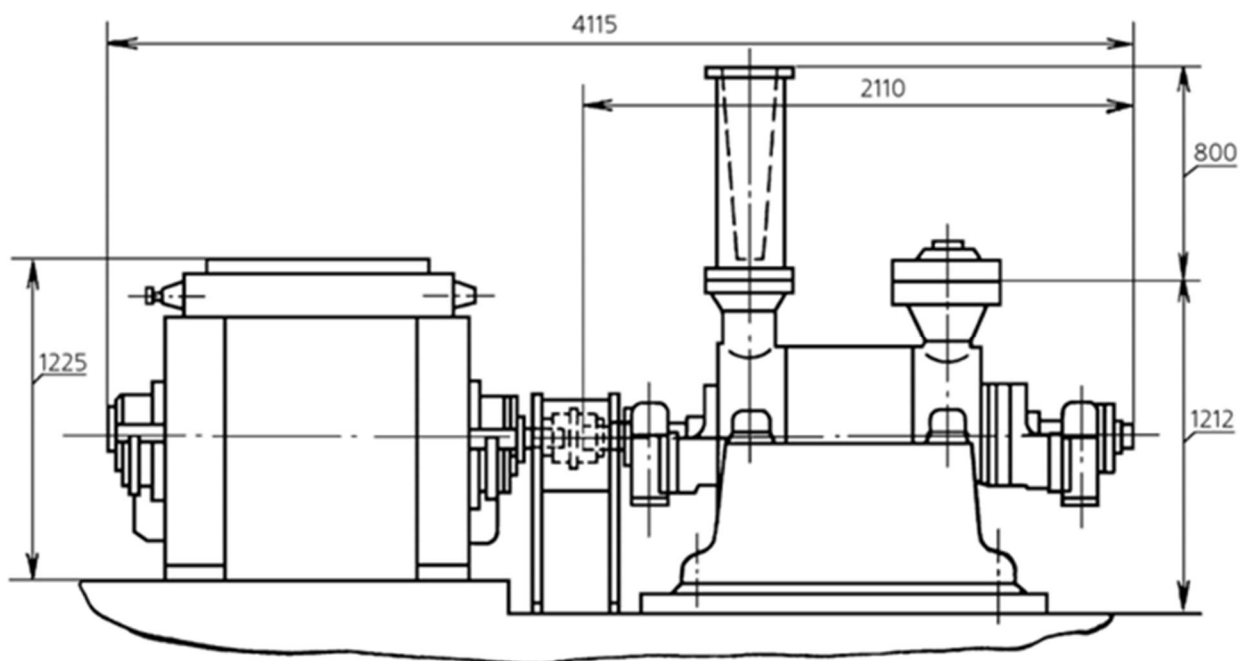


Рисунок 1.3 – Насосний агрегат ПЕА150-85

Технічна характеристика насоса наведена у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - Технічна характеристика насоса ПЕА 150-85

Найменування параметра	Одиниці вимірювання	Значення
Тиск на вході в насос	кгс/см ²	0,1 – 1,5
Напір	м	910±30
Номінальна електрична потужність	кВт	550
Номінальна подача	м ³ /год.	150
Припустимий кавітаційний запас	м	7,5
Температура води, що перекачується	°С	5 – 165
рН	од.	6,8 – 9,2
Радіоактивність, не більш	Бк/м ³	3,7х10 ⁻⁶
Припустимий розмір твердих часток, не більше	мм	0,1
Припустима концентрація твердих часток, не більше	мг/дм ³	5
Тип електродвигуна		2А3М 800/6000УХЛ4
- потужність	кВт	800
- напруга живильної мережі	кВ	6000
- номінальна частота обертання	об/хв.	2970

Гідравлічна характеристика насоса ПЕА 150-85 наведена на рисунку 1.4.

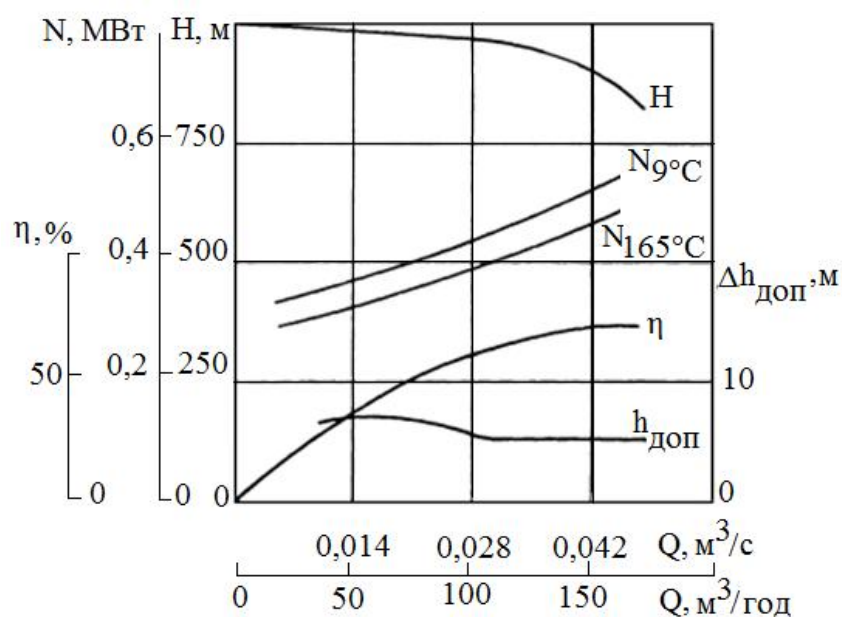


Рисунок 1.4 - Гідравлічна характеристика насоса ПЕА 150-85

1.2.3 Опис принципової електричної схеми силової частини електропривода насоса подачі живильної води

Керування потужностями компресорів здійснюється за допомогою частотного перетворювача. Сигнал на нього поступає з датчика, розташованого у колекторі. Електрична схема підключень насосів подачі аварійної живильної води зображена на рисунку 1.5.

Живлення шафи з електроустаткуванням здійснюється із зовнішньої сторони підведенням до клем А, В, С клемника ХТІ трьох фаз напруги 380В частотою 50 Гц, нульового проводу до клеми РЕ й заземлюючого проводу до клеми G. Клеми А, В, С підключаються до силового автоматичного вимикача QS1. Індикація наявності напруги усередині електрошафи здійснюється за допомогою лампи HL1, підключеної до однієї з фаз живлячої напруги за силовим автоматичним вимикачем QS1. Вона сигналізує обслуговуючому персоналу про те, що внутрішні ланцюги електрошафи перебувають під напругою.

Перетворювач частоти (ПЧ) UZ підключений до електричної мережі через автоматичний вимикач Q1. Вхідний реактор L1 захищає перетворювач від комутаційних надструмів. Вихідний реактор L2 обмежує ємнісні вихідні струми перетворювача й піки напруги на двигуні, обумовлені розподіленою потужністю кабелю.

Можливе підключення електродвигунів безпосередньо до мережі через автоматичні вимикачі Q2... Q4 і за допомогою контакторів K1...K3.

Вибір режиму роботи (ручного або автоматичного) здійснюється оператором насосної станції з поста оператора. Для пуску або останова системи в автоматичному режимі або виводу СК з аварійного режиму використовуються кнопки «Пуск» або «Стоп».

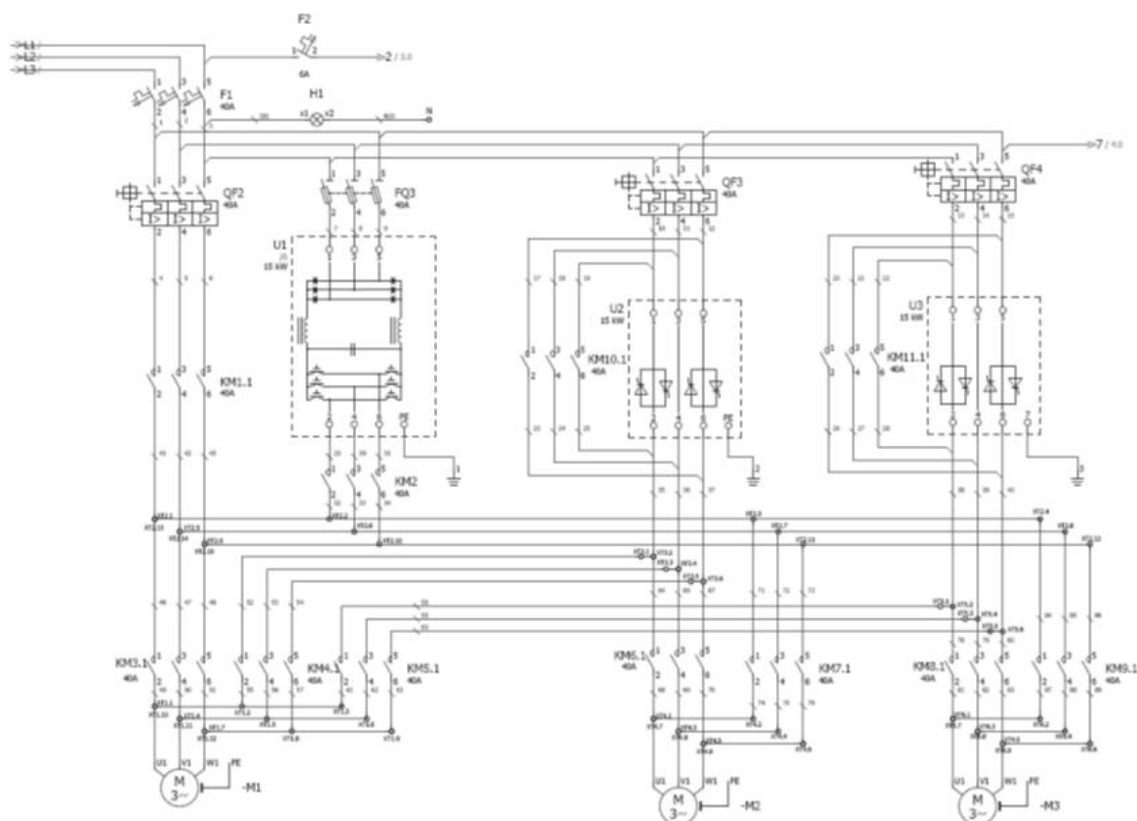


Рисунок 1.5 - Електрична схема підключень насосів подачі аварійної живильної води

Перетворювач частоти може підключатися до одного із трьох електродвигунів за допомогою вихідних клем {X1Y1Z1, X2Y2Z2, X3Y3Z3} клемника XT2 і контакторів K4...K6 відповідно.

1.3 Висновки до розділу 1:

- зроблений огляд літератури та розробок за темою;
- наведений огляд розробок сучасної приводної техніки в системах керування живильних насосів парогенераторів АЕС;
- наведений опис об'єкту дослідження: розглянутий опис водо-водяного енергетичного реактора ВВЕР–1000 та насосного агрегата подачі живильної води;
- наведений опис приципової електричної схеми силової частини електропривода насосного агрегату ПЭА150-85.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДОЛОГІЯ МАГІСТЕРСЬКОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Вибір та обґрунтування методу наукового дослідження

Наукове дослідження — це цілеспрямоване пізнання, результати якого виступають у вигляді системи понять, законів і теорій.

Мета, безпосередні завдання науково-теоретичного дослідження полягають у тому, щоб знайти загальне у ряду одиничних явищ, розкрити закони, за якими виникають, функціонують, розвиваються такого роду явища, тобто проникнути в їхню глибинну сутність.

Результати наукових досліджень втілюються в наукових працях (статтях, монографіях, підручниках, дисертаціях і т. д.) і лише потім після їх всебічної оцінки використовуються в практиці, враховуються в процесі практичного пізнання і в знятому, узагальненому вигляді включаються в керівні документи.

Метод (грец. — спосіб пізнання) — в самому широкому сенсі слова — «шлях до чого-небудь», спосіб діяльності суб'єкта в будь-якій її формі.

Поняття «методологія» має два основних значення: система визначених способів і прийомів, застосовуваних у тій або іншій сфері діяльності (в науці, політиці, мистецтві і т. п.); вчення про цю систему, загальна теорія методу, теорія в дії.

Методологія в широкому значенні являє собою систему принципів і способів організації й побудови теоретичної й практичної діяльності, а також вчення про цю систему. Існує інше визначення методології як «навчання про метод наукового пізнання і перетворення світу». Методологія науки дає характеристику компонентів наукового дослідження, його об'єкта, предмета, завдань, сукупності засобів, необхідних для вирішення завдань дослідження, а також формує уявлення про послідовності дій дослідника у процесі вирішення завдання [4].

Метод, або по-іншому, шлях дослідження являє собою спосіб досягнення певної мети, сукупність прийомів і операцій практичного або теоретичного освоєння дійсності. У галузі науки метод є шляхом пізнання, що прокладається дослідником до свого предмета. Таким чином, метод наукового дослідження - це спосіб пізнання об'єктивної дійсності.

До методів емпіричного рівня належать: спостереження, опис, порівняння, розрахунок, вимірювання, анкетне опитування, співбесіда, тестування, експеримент, моделювання і т.п.

До методів теоретичного рівня належать: аксіоматичний, гіпотетичний, формалізація, абстрагування, загальнологічні методи (аналіз, синтез, індукція, дедукція, аналогія) й інші.

Спосіб - це дія або система дій, що застосовуються під час виконання будь-якої роботи, при здійсненні чого-небудь.

Методику можна визначити як сукупність способів і прийомів пізнання. Будь-яке наукове дослідження здійснюється певними прийомами і способами, за певними правилами.

Дуже важливим етапом наукового дослідження є вибір методів проведення дослідження, які служать інструментом у здобутті фактичного матеріалу, будучи необхідною умовою досягнення поставленої мети.

Найважливіша методологічна позиція - побудова теорії дослідження.

У теоретичних пошуках перед автором стоїть задача розробити закінчену концепцію, право на існування якої варто довести шляхом її зіставлення з іншими точками зору, а також звертанням до практики.

Корисними для побудови теоретичних положень виявляються такі методи, які можуть бути взяті на озброєння.

Системний аналіз включає розгляд усієї сукупності прийомів, способів, процесів, видів обладнання, що використовується, методів вирішення завдання і т.п. Дотримуючись правил формальної логіки, створюються класифікації об'єктів аналізу. Ті, що не входять у предмет дослідження, критикуються й виключаються, розгорнуто доводяться переваги запропонованих об'єктів і положень, вказуються

моменти, які потрібно виконати для їхньої реалізації. Метод продуктивний для вироблення рекомендацій різного роду.

Другим, найпоширенішим і універсальним способом побудови теорії є моделювання процесу або явища на базі відомих моделей, яке має деякі істотні відмінності, досягнуті за рахунок знятих припущень, нових використаних ефектів, підходів до вирішення.

Наступний методологічний момент - єдність теорії і практики.

Єдність теорії й практики - ознака істинно наукового дослідження. Це досягається при побудові теорії (опис процесів і явищ, їхнє пояснення, прогнозування й видача рекомендацій) з орієнтацією її на практику, при дотриманні необхідних вимог системності, типовості й репрезентативності, а в необхідних випадках - переглядом концепцій у зв'язку з новими фактами і явищами у практиці.

У методології технічних наук використовуються різні методи, що враховують специфіку предмета й об'єкта вивчення. Найважливіші з них такі:

- системний підхід, що дозволяє розкрити різноманіття проявів досліджуваного об'єкта, визначити місце предмета дослідження в розроблювальній галузі науки;

- проектний метод, що визначає цілісність дослідження, стадії і порядок його розроблення;

- абстрактно-логічний метод, що використовується для побудови теорії, включає різноманітні прийоми й операції: аналіз і синтез, дедукцію й індукцію, сходження від конкретного до абстрактного, і навпаки, аналогію, формальну логіку, гіпотетичне припущення й ін.;

- моделювання як метод дослідження структури, основних властивостей, законів розвитку і взаємодії з навколишнім світом об'єкта моделювання;

- емпіричний метод, пов'язаний з постановкою експериментальних перевірок теорії і спостережень за еволюцією природних і технічних процесів;

- статистико-імовірнісний метод, що дає можливість реалізувати кількісний підхід до вивчення наукових даних у єдності з якісним аналізом;

- монографічний метод, що має переважно описовий характер, але є цінним при всебічному, повному, деталізованому вивченні об'єкта або явища.

Іще один важливий методологічний момент - тлумачення (інтерпретація) підстав дослідження й отриманих наукових результатів. Інтерпретація підстав дослідження (обраної проблеми, об'єкта й предмета дослідження, інформаційного масиву, методів дослідження, цілей і завдань), а також висновків і положень має насамперед світоглядний характер, базується на об'єктивній діалектиці розвитку, її законах і категоріях.

Візуальні, або графічні, методи – графи, схеми, діаграми, картограми та ін. дають змогу отримати синтезоване уявлення про досліджуваний об'єкт і водночас наочно показати його складові, їхню питому вагу, причинно-наслідкові зв'язки, інтенсивність розподілу компонентів у заданому об'ємі. Ці методи тісно пов'язані з комп'ютерними технологіями.

У прикладних аспектах гуманітарних наук доцільно використовувати математичні методи. Математичний апарат теорії ймовірностей дає можливість вивчати масові явища в соціології, лінгвістиці. Математичні методи відіграють важливу роль при обробці статистичних даних, моделюванні.

Сучасна методологія вкладає новий зміст у традиційне уявлення про теоретичні (математичні) та емпіричні (експериментальні) методи дослідження в природних і технічних науках.

Складовою частиною наукових досліджень є експеримент.

Експеримент представляє собою науково поставлений дослід або спостереження явища або процесу в точно врахованих умовах, що дозволяють стежити за ходом експерименту, керувати ним, відтворювати його щоразу при повторенні цих умов.

Серед відомих методів дослідження складних електромеханічних систем можна виділити фізичне, імітаційне, аналогове та математичне моделювання.

Метод фізичного моделювання передбачає дослідження на моделі, яка відтворює основні геометричні, фізичні, динамічні та функціональні характеристики та властивості оригіналу (але не обов'язково всі властивості) та має

великі можливості з визначення різноманітних якостей електромеханічних систем ті їх елементів.

Метод математичного моделювання ґрунтується на здатності математично описувати рівняннями різні за природою явища (процеси) та виявляти різні функціональні зв'язки між елементами системи.

Аналогове моделювання базується на однаковому для моделі та натури математичному описі та використовується для імітації на основі аналогової фізичної системи по її елементам. При цьому кожному з фізичних елементів натури в моделі відповідає певний еквівалент. У якості моделей використовуються електричні кола, складені з пасивних та активних елементів.

При математичному моделюванні застосовуються аналітичні та статистичні моделі. Аналітичні моделі більш грубі, враховують менше число факторів, завжди потребують деяких припущень та спрощень. Проте вони більше пристосовані для пошуку оптимальних рішень.

В цій роботі проводиться дослідження системи керування електроприводів насосних агрегатів живильної води парогенераторів АЕС. Тому для моделювання перехідних процесів використовується комп'ютерна модель.

Комп'ютерна модель (або чисельна) [6] – комп'ютерна програма, яка реалізує абстрактну модель деякої системи. Комп'ютерні моделі використовуються для отримання нових знань про об'єкт, що моделюється або для приблизної оцінки поведінки математичних систем, які досить складні для аналітичного дослідження. Комп'ютерне моделювання є одним з ефективних методів вивчення складних систем. Комп'ютерні моделі простіші та їх зручніше досліджувати в силу можливості проводити обчислювальні експерименти в тих випадках, коли реальні експерименти немає можливості проводити через фінансові труднощі або фізичні перешкоди. Для підтримки математичного моделювання розроблені системи комп'ютерної математики, наприклад, Maple, Mathematica, Mathcad, MATLAB, VisSim та інші. В даній роботі використовується програма Simulink пакету MATLAB.

2.2 Структурно-логічна схема магістерського дослідження

Алгоритм магістерського дослідження представлений структурно-логічною схемою у вигляді табличної інформаційної моделі (таблиця 2.1). Схема складена на підставі головних завдань магістерського дослідження.

Таблиця 2.1 – Структурно-логічна схема магістерського дослідження

Дослідження й розробка системи керування електропривода насосного агрегата подачі аварійної живильної води до парогенераторів АЕС	
Складання індивідуального календарного плану роботи	
Пошук літератури за темою, її аналіз, складання бібліографії	
Підготовка теоретичної частини	Аналіз сучасного стану теплоенергетики. Актуальність вирішення задачі енерго- і ресурсозбереження об'єктів насосного агрегата
	Опис, принцип дії, робота та технічні характеристики об'єкту модернізації
	Розгляд існуючої системи керування електропривода насосного агрегата, аналіз недоліків релейно-контакторної схеми керування електроприводами насосів
	Аналіз існуючих типів приводів
	Вибір економічно доцільного способу регулювання продуктивності насосного агрегата
	Вибір перспективного частотного перетворювача, структурно і функціонально рекомендованого для керування асинхронними електродвигунами живильних насосів
Опис процесу дослідження	Моделювання перехідних процесів та аналіз результатів
	Математичне моделювання
Узагальнення результатів моделювання	Інтерпретація отриманих результатів дослідження
	Формулювання висновків
Узагальнення науково-теоретичних результатів	
Розробка заходів з охорони праці, охорони навколишнього середовища	
Реалізація отриманих результатів у навчальний процес	

Данна схема складена на підставі головних завдань магістерського дослідження і наочно відображає його послідовність: мотивацію; формулювання проблеми дослідження; пошук теоретичної основи розв'язання проблеми; розв'язання проблеми. Вона показує процедуру (алгоритм) дослідження і установлює логічну послідовність виконання структурних розділів і підрозділів магістерської роботи.

Спочатку вибирається тема дослідження та обґрунтовується її актуальність, далі виконується вибір літератури за темою. Підготовка теоретичної частини роботи містить функціональний опис робототехнічної системи. Потім на основі аналізу двовірної математичної моделі руху руки робота-маніпулятора проводиться складання і дослідження математичної моделі.

Моделювання процесів у електроприводі насоса проводиться шляхом синтезу нелінійних систем САК за допомогою побудови алгоритмів керування.

Згідно зі структурно-логічною схемою за допомогою програми Simulink досліджуються перехідні характеристики системи при зміні задаючих параметрів.

На підставі виконаних розрахунків та отриманих характеристик проводиться узагальнення отриманих теоретичних результатів.

На заключному етапі роботи проводиться розробка заходів охорони праці та охорони навколишнього середовища, впровадження результатів магістерського дослідження у навчальний процес.

2.3 Вибір методу розрахунку поставленої задачі

Дана магістерська робота не передбачає проведення експериментальних досліджень, має теоретичний характер, тому основним методом для відображення отриманих результатів є моделювання.

Моделювання як метод наукового пізнання виникло в зв'язку з необхідністю вирішення завдань, які з тих чи інших причин не можуть бути вирішені безпосередньо. Вони виникають у випадках, коли об'єкт або недосяжний для дослідника, або він ще не існує і потрібно обрати оптимальний варіант його

створення, або дослідження реального об'єкта вимагає багато часу та економічно не вигідне тощо. Таким чином, модель виконує функцію проміжної ланки між дослідником та об'єктом пізнання. Метод моделювання передбачає, що об'єкт вивчається не безпосередньо, а шляхом дослідження іншого об'єкта, який є аналогом першого.

Модель (від лат. *modulus* – міра) – це певний умовний образ об'єкта дослідження, котрий замінює останній і перебуває з ним у такій відповідності, яка дозволяє отримати нове знання. Модель будується для того, щоб відобразити характеристики об'єкта (елементи, взаємозв'язки, структурні та функціональні властивості), суттєві з точки зору мети дослідження. Отже, моделювання пов'язане зі спрощенням, огрубленням прототипу, абстрагуванням від ряду його властивостей, ознак, сторін.

Процес дослідження реальних систем, що охоплює побудову моделі, дослідження її властивостей і перенесення одержаних відомостей на реальну систему, називають моделюванням.

Моделювання з точки зору наукового дослідження – це метод опосередкованого пізнання за допомогою штучних або природних систем, які зберігають певні особливості об'єкта і, таким чином, замінюючи його, дають змогу отримати нове знання про оригінал.

У системному аналізі моделі є дуже важливим компонентом дослідження та проектування нових систем. Не менш важливий і прагматичний аспект моделювання, при якому модель розглядається як засіб керування системою.

Основна функція моделі – це її використання як засобу пізнання. До конкретизованих (похідних від основної) функцій належать: засіб наукового осмислення дійсності, засіб спілкування, засіб навчання і тренування, інструмент прогнозування, засіб постановки та проведення експерименту.

Головними рівнями дослідження та моделювання систем є мікро- та макрорівень. Мікрорівневе моделювання системи пов'язане з детальним описом кожного компонента системи, дослідженням її структури, функцій, взаємозв'язків, тощо.

Макрорівневе моделювання полягає в ігноруванні детальної структури системи та вивченні лише загальної поведінки системи як єдиного цілого.

Для детальнішого опису систем використовують моделі складу та моделі структури. Модель складу системи відображає, з яких елементів і підсистем складається система, а модель структури застосовується для відображення відношень між елементами та зв'язків між ними.

Модель структури описує суттєві зв'язки між елементами та підсистемами. При використанні графічних моделей будову систем подають у вигляді так званих структурних схем. Структурні схеми наглядні та містять інформацію про велику кількість властивостей системи.

Залежно від форми подання об'єкта моделювання поділяють на реальне та абстрактне.

При реальному моделюванні використовують можливість дослідження характеристик на реальному об'єкті чи на його частині, а при натурному – проводять дослідження на реальному об'єкті з подальшим обробленням результатів експерименту на основі теорії подібності.

Метод фізичного моделювання передбачає дослідження на моделі, що відтворює основні геометричні, фізичні, динамічні і функціональні властивості "оригіналу" і володіє великими можливостями по визначенню різних якостей електромеханічних систем та їх елементів.

Абстрактне моделювання має різні види: наочне, символічне, математичне. Метод математичного моделювання заснований на здатності математично описувати рівняннями різноманітні за природою явища (процеси) і виявляти різні функціональні зв'язки між елементами системи [4].

При математичному моделюванні застосовують аналітичні та статистичні моделі. Аналітичні моделі більш грубі, враховують менше число чинників, завжди вимагають деяких припущень і спрощень, проте вони більш пристосовані для пошуку оптимальних рішень.

Дослідження математичної моделі дає змогу отримати характеристики реального об'єкта чи системи. Вигляд математичної моделі залежить як від

природи системи, так і від завдань дослідження. Математична модель системи містить, як правило, опис множини можливих станів системи та закон переходу з одного стану в інший. Математичне моделювання охоплює імітаційне, інформаційне, структурне, ситуаційне тощо.

На етапі вибору математичної моделі встановлюються: лінійність і не лінійність об'єкта, процесу або системи, динамічність або статичність, стаціонарність або не стаціонарність, а також ступінь детермінованості досліджуваного об'єкта чи процесу. При математичному моделюванні свідомо відволікаються від конкретної фізичної природи об'єктів, процесів або систем і, в основному, зосереджуються на вивченні кількісних залежностей між величинами, що описують ці процеси.

Розрахунок задач магістерського дослідження проводиться за допомогою електронної обчислювальної техніки за допомогою програми Mathcad. На базі складених диференціальних рівнянь проводиться математичне моделювання системи керування електропривода. За допомогою програми Simulink досліджуються перехідні характеристики системи при зміні задаючих параметрів.

Слід зазначити, що метод моделювання – вивчення явищ за допомогою моделей – сьогодні має особливе значення для вирішення складних фізичних завдань, чому значною мірою сприяє зростанню продуктивності комп'ютерної техніки. Саме тому в цьому магістерському дослідженні як основа використаний метод моделювання.

2.4 Висновки до розділу 2

- вибраний та обґрунтований метод наукового дослідження.;
- побудована структурно-логічна схема магістерського дослідження;
- обґрунтовано вибір методу розрахунку задачі і показано, що метод математичного моделювання дозволяє досліджувати перехідні режими в електроприводі насосної станції теплової мережі.

РОЗДІЛ 3

ВИБІР КОМПЛЕКТНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА ДЛЯ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОДВИГУНОМ ЖИВИЛЬНОГО НАСОСА

Насосний агрегат подачі аварійної живильної води ПЕА 150-85 укомплектований асинхронним двополюсним електродвигуном з коротко замкнутим ротором типу 2АЗМ 800/6000УХЛ4.

Основні технічні характеристики електродвигуна з термореактивною ізоляцією [10] наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Технічні характеристики електродвигуна типу 2АЗМ 800/6000УХЛ4

Параметр	Значення
Тип	2АЗМВ1-800/6000-У5
Потужність P_n , кВт	800
Напруга, В	6000
Частота обертання валу n_n , об./хв.	2979
Струм статора I_H , А (при $U=380В$)	90,5
Ковзання S_H , %	0,7
ККД, %	95,4
Коефіцієнт потужності $\cos\phi$	0,89
Число пар полюсів, $Z_p = 2p$	2
Кратність пускового обертового моменту $M_{пуск} / M_H$,	2,5
Кратність пускового максимального обертового моменту M_{max} / M_H	0,9
Кратність пускового струму $I_{пуск} / I_H$	6,0
Момент інерції J_o , кг·м ²	18,3
Маса, кг	5670

Застосовувана в цей час система керування приводом є релейно-контакторна. При цьому забезпечується прямий пуск електродвигуна, захист від довгострокового перевантаження й від короткого замикання.

Прямий пуск обумовлює наявність пускових струмів i , з огляду на потужність електронасосних агрегатів, значні кидки струмів у мережі споживачів власних потреб. Крім того, швидкий прямий пуск насосів приводить до швидкого (0,2 – 0,5 секунд) наростання тиску на фільтрах очищення продувної води що, у свою чергу, скорочує строк їхньої служби. Нерегульований привод не дозволяє врахувати поступову зміну гідравлічного опору фільтрів у процесі їхньої експлуатації – це приводить до зміни реальної витрати продувної води й, отже, до нерівномірної якості продувки на початку й наприкінці циклу роботи.

В роботі з метою модернізації системи керування необхідно провести заміну релейно-контакторної системи керування електроприводом насосного агрегату на систему, що буде забезпечувати:

- плавний пуск привода з можливістю завдання часу пуску;
- плавне перемикання з одного агрегату на другий при зміні робочих насосів;
- регулювання швидкості обертання залежно від зміни навантаження.

3.1 Способи керування електродвигунами живильних насосів

Для того, щоб подати воду до споживача, необхідно створити напір (H) на виході з колектору насосної станції. Його величина складається з двох складових:

- статичної (H_c) – рівній різниці абсолютних висот розташованого нижче інших споживача і насосної станції, плюс необхідний тиск у споживача
- динамічної – необхідної для подолання гідравлічного опору (S) системи трубопроводів току води, що залежить від величини водозабору (Q)

$$H = H_c + SQ^2.$$

Дана залежність характеризує систему водопостачання, однозначно визначаючи величину необхідного напору на виході насосної станції для

водопостачання найбільш далекого споживача в залежності від величини водозабору з системи.

Продуктивність насосу визначається з добутку величини напору, який він забезпечує, на відповідну величину подачі. Фактично, вона пропорційна швидкості обертання ротора насоса.

Насосний агрегат найчастіше вибирають по максимальному напору і продуктивності. Це призводить до того, що при величинах водозбору менше максимальних, насос створює надлишковий тиск в системі. Цей небезпечний для системи трубопроводів тиск може у декілька разів перевищувати необхідний напір.

Для боротьби з цим явищем використовується метод дросельного регулювання – надлишковий тиск знищується на вихідній засувці з насосної станції. При її прикритті з'являється опір току води. Характеристика системи при цьому змінюється таким чином, щоб необхідний напір на виході насосної станції, при даній величині водозабору, відповідав характеристиці насоса.

Більш ефективним методом є метод частотного регулювання. Пристрій частотного регулювання забезпечує підтримання такої швидкості обертання ротора насоса, яка достатня для створення необхідного напору при даній величині водорозбору. Це значить, що змінюється не характеристика системи водопостачання, а продуктивність насосного агрегата.

Для точного регулювання необхідно задати два параметри: тиск і витрату води на виході з насосної станції. Однак на практиці буває цілком достатньо підтримувати тиск на вибраному рівні.

Енергія, що споживається електродвигуном приводу від мережі, витрачається:

- при дросельному регулювання – як на водопостачання споживачів, так і на подолання гідравлічного опору, створюваного регулювальною засувкою;
- при частотному регулюванні – тільки на водопостачання споживачів.

Якщо середня величина водорозбору з системи водопостачання менше Q , впровадження частотного регулювання електроприводу насоса є економічно

обґрунтованим, оскільки дозволяє економити електроенергію, що при дросельному регулюванні витрачалась на подолання гідравлічного опору.

Принцип роботи частотного регулювання ґрунтується на стабілізації тиску води на виході насосної станції. В якості сигналу зворотного зв'язку можна застосовувати датчики тиску або витрати води [8].

Сигнал з датчика заводиться на аналоговий вхід частотного перетворювача, в параметрах частотного перетворювача відбувається налаштування аналогових вхідних даних А5..А8, що встановлюють відповідність значенню сигналу з датчика тиску зворотного зв'язку значень частоти, видаваної з перетворювача частоти.

При нерівномірному споживанні води підтримка оптимального тиску в мережах можлива за допомогою перекриття засувки на виході (метод дроселювання) або за рахунок зміни швидкості обертання насосного агрегату (зміна його продуктивності).

Потужність, що споживається насосом, знаходиться в кубічній залежності від швидкості обертання робочого колеса. $P = f(Q^3)$. Продуктивність насоса Q прямо пропорційна швидкості обертання робочого колеса. Тобто зменшення швидкості обертання робочого колеса насоса в 2 рази, призводять до зменшення споживаної потужності насоса у 8 разів.

Знаючи добові витрати води можна визначити добову економію електроенергії при застосуванні частотно-регульованого привода. Таким чином, видно, що частотно-регульований привод значно ефективніше, ніж регулювання дроселюванням.

Переваги застосування частотно-регульованого електропривода:

- економія електроенергії від 30 до 60%;
- відсутність випадків гідроударів, що дозволяє різко збільшити термін служби трубопроводів і запірної арматури;
- відсутність великих пускових струмів, повний захист електродвигунів насосних агрегатів, робота електродвигунів і пускової апаратури зі зниженою навантаженням, що значно збільшує термін служби електродвигунів;
- можливість повністю автоматизувати насосні агрегати.

3.2 Аналіз систем керування електроприводів перемінного струму та вибір комплектного електропривода

У регульованих електроприводах використовуються асинхронні електродвигуни з короткозамкненим чи фазним ротором, синхронні і вентильні електродвигуни. Застосовуються різні способи регулювання швидкості електродвигуна шляхом зміни: напруги статора, частоти і напруги статора, частоти і напруги ротора, додаткового опору в ланцюзі ротора й ін [1,2,24,25].

До промислового електропривода пред'являються наступні вимоги:

- висока експлуатаційна надійність, мінімальне технічне обслуговування при мінімумі персоналу, зайнятого ремонтом і налагодженням устаткування;
- можливість оперативного переналагодження (у тому числі автоматизованого) електроустаткування,
- забезпечення автоматизованого контролю функціонування устаткування за рахунок використання систем діагностики, індикації і захисту.

Складові частини електропривода, розташовуються в окремих шафах (оболонках), повинні допускати вібрацію з частотою від 1 до 30 Гц, а встановлювані на агрегаті – вібрацію до 60 Гц. Ступінь захисту основних вузлів електропривода, а також шаф – не менш IP54 (у деяких випадках допускається конструкція шаф із ступенем IP23). Ступінь захисту пульта керування – IP44, електродвигуна IP44.

Основними умовами вибору типу привода для розглянутої установки є:

- широкий діапазон регулювання кутової швидкості двигуна ;
- високі динамічні показники;
- високі показники надійності (довговічність, безвідмовність, ремонтпридатність);
- ступінь захисту двигуна IP44.

При виборі привода необхідно також враховувати, що привод працює в безупинному режимі, а також можливість довгострокової роботи привода на знижених обертах.

Найбільше поширення одержали наступні способи регулювання кутової швидкості асинхронного двигуна:

- параметричне регулювання;
- зміною частоти живильної напруги;
- переключенням числа полюсів;
- частотне регулювання;
- векторне керування.

Найбільш поширені два останніх способи.

3.2.1 Частотне регулювання швидкості асинхронних електроприводів

При частотному керуванні замість безпосередньої подачі на двигун стандартної змінної напруги з мережі (одно або трифазної) напруга спочатку проходить процес перетворення. При цьому міняються деякі її ключові параметри, зокрема:

- амплітуда напруги й струму;
- частота напруги й струму;
- кутова різниця між окремими фазами;
- вектор магнітного потоку усередині обмоток ротора й статора.

Процес такого перетворення здійснюється в особливому пристрої, який прийнято коротко називати частотним перетворювачем або перетворювачем частоти (ПЧ).

Розрізняють два основних способи частотного керування:

- частотне керування, при якому як керуючі впливи прийняті частоти і напруги статора;
- частотне керування, при якому як керуючі впливи прийняті частота і струм статора.

Принципова можливість регулювання кутової швидкості асинхронного двигуна зміною частоти живильної напруги впливає з формули

$$\omega_0 = \frac{2\pi \cdot f_1}{p}.$$

При регулюванні частоти також виникає необхідність регулювання амплітуди джерела напруги, що впливає з виразу

$$U1 \approx E1 = k \cdot \Phi \cdot f_1.$$

Якщо при незмінній напрузі змінювати частоту, то потік буде змінюватися зворотно пропорційно частоті. Так, при зменшенні частоти потік зросте і це приведе до насичення сталі ротора машини і як наслідок до різкого збільшення струму і перевищенню температури двигуна; при збільшенні частоти потік буде зменшуватися і як наслідок буде зменшуватися припустимий момент [26].

Для найкращого використання асинхронного двигуна при регулюванні кутової швидкості зміною частоти необхідно регулювати напругу, одночасно у функції частоти і навантаження, що реалізовано тільки в замкнених системах електропривода.

У розімкнутих системах напруга регулюється лише у функції частоти за деяким законом, що залежить від виду навантаження.

Частотне регулювання кутової швидкості електроприводів змінного струму з двигунами з короткозамкненим ротором знаходить все більше застосування в різних галузях техніки. Наприклад, в установках текстильної промисловості, де за допомогою одного перетворювача частоти, що живить групу асинхронних двигунів, що знаходяться в однакових умовах, плавно і одночасно регулюються їх кутові швидкості. Прикладом іншої установки з частотно-регульованими асинхронними двигунами з короткозамкненим ротором можуть служити транспортні рольганги в металургійній промисловості, деякі конвеєри та ін.

Частотне регулювання кутової швидкості асинхронних двигунів широко застосовується в індивідуальних установках, коли потрібне отримання досить високих кутових швидкостей (для приводу електрошпінделем в металорізальних верстатах з частотою обертання до 20 000 об /хв).

Економічні вигоди частотного регулювання особливо істотні для приводів, що працюють в повторно-короткочасному режимі, де має місце часта зміна напрямку обертання з інтенсивним гальмуванням.

У замкнутих системах частотного керування можуть бути отримані характеристики необхідної якості в діапазоні регулювання 10 000 : 1 і більш.

Частотне регулювання кутової швидкості є економічним, тому що керування двигуном виконується при малих ковзаннях. Крім того, у замкнутих системах можна керувати двигуном, досягаючи мінімуму втрат у ньому або мінімуму споживаного двигуном струму або екстремуму інших енергетичних показників, тому що є можливість регулювати напругу у функції навантаження.

Частотне регулювання кутової швидкості звичайно плавне, безступінчасте. Але воно вимагає застосування складного перетворювача.

3.2.2 Система частотно-струмового керування

У системах частотно-струмового керування двигун живиться від перетворювача частоти з автономним інвертором (AI). У такому випадку керований випрямляч (KB) разом з контуром регулювання струму випрямляча утворює джерело струму. Керування двигуном виконується шляхом завдання струму статора й частоти AI. Обидві величини, у свою чергу, залежать від загального сигналу завдання на систему, що визначає швидкість двигуна. Струм статора зв'язаний також з навантаженням двигуна.

Якщо при регулюванні швидкості задаватися умовою сталості потоку на рівні необхідного значення, наприклад $\Phi = \Phi_n = const$, то можна розрахувати залежність $\gamma = F(S_2)$, що реалізує ця умова.

У системах частотно-струмового керування для забезпечення необхідної жорсткості механічних характеристик можуть бути застосовані контури регулювання швидкості двигуна.

Прикладом такої системи є система, функціональна схема якої показана на рисунку 3.1 [26].

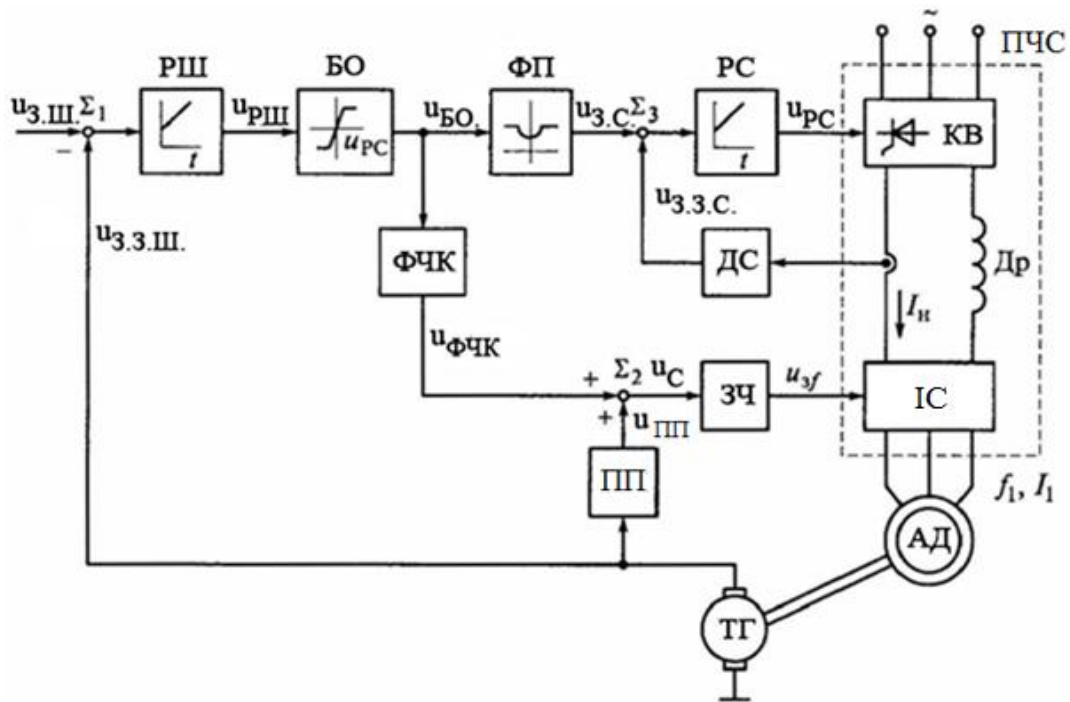


Рисунок 3.1 - Функціональна схема замкнутої системи ПЧ-АД з частотно-струмовим керуванням

Джерело струму реалізовано на основі керуючого випрямляча КВ, струм навантаження I_n якого задається вихідною напругою u_{PC} регулятора струму РС, пропорційним різниці напруг $u_{3.C.}$ на виході ФП і $u_{3.3.C.}$ датчика струму ДС. Стабілізація швидкості АД забезпечується за рахунок регулятора швидкості РШ, на вході якого порівнюються напруги завдання швидкості $u_{3.ш.}$ і зворотного зв'язку $u_{3.3.ш.}$ з вихода тахогенератора ТГ. Особливість схеми в тому, що тут автоматично формуються сигнали, пропорційні абсолютному ковзанню і завданню синхронної швидкості АД.

Сигнал, пропорційний s_a , формується на виході РШ, оскільки $u_{3.ш.}$ пропорційно завданню швидкості $\omega_{03.}$ ідеального холостого ходу АД, а $u_{3.3.ш.}$ – поточної швидкості ротора ω , тобто $u_{РШ} = (u_{3.ш.} - u_{3.3.ш.}) = (\omega_{03} - \omega) = s_a \cdot \omega_{0ном.}$ Якщо передатний коефіцієнт формувача частоти ковзання ФЧК вибрати таким чином, щоб з урахуванням $\omega_{0ном}$ його вихідний сигнал $u_{ФЧК}$ був пропорційний $(\omega_{03} - \omega)$, то після сумовування цього сигналу з вихідним сигналом $u_{ПП}$ погоджувачого пристрою ПП, пропорційний поточному значенню ω , на виході

суматора Σ_2 пристрою завдання частоти ЗЧ інвертора струму ІС перетворювача ПЧС буде сформований сигнал $u_C = u_{\Phi CK} + u_{III} \cong (\omega_{03} - \omega) + \omega = \omega_{03}$.

В результаті на вихід ЗЧ буде сигнал завдання частоти вихідного струму ПЧС $u_{3.f} \cong u_{3.III} \cong \omega_{03}$, що визначає завдання синхронної швидкості АД.

Оскільки електромагнітний момент двигуна пропорційний квадрату струму статорної обмотки ($M \cong I_1^2$), який, у свою чергу, пропорційний абсолютному ковзанню ($I_1^2 \cong s_a$), вихідний сигнал РШ пропорційний s_a і є сигналом завдання електромагнітного моменту АД. Тому вихідна напруга u_{BO} блоку обмеження БО на виході РШ можна впливати і на обмеження максимального моменту АД.

Перед пуском двигуна ($u_{3.III} = 0$, $u_{PШ} = 0$) сигнал завдання частоти перетворювача $u_{3.f} = 0$ і за рахунок характеристики ФП ($u_{3.III.min} \neq 0$) в АД задається постійний струм, який забезпечує потік намагнічення і режим динамічного гальмування АД.

Зі збільшенням $u_{3.III}$ зростає сигнал завдання частоти, струм статора стає змінним із заданою частотою і двигун починає обертання під дією максимального моменту, встановленого сигналом $u_{3.III}$. Збільшення швидкості буде відбуватися до тих пір, поки не зрівняються сигнали завдання і зворотного зв'язку по швидкості двигуна.

Після цього вихідний сигнал РШ при відсутності статичного навантаження на валу АД знову встановиться рівним нулю, але за рахунок позитивного зворотного зв'язку по швидкості вже при $u_{3.f} \neq 0$. Потік холостого ходу АД буде при цьому створюватися змінним струмом I_{1min} .

3.2.3 Система векторного керування

Роздільне керування швидкістю й потокозчепленням асинхронного короткозамкненого електродвигуна можна ефективно робити, використовуючи принцип векторного керування. Координати електропривода, обмірювані в

нерухомій системі координат, можуть бути перетворені до обертової системи координат, і з них можуть бути виділені постійні значення, пропорційні складовим векторів в обертовій системі координат. По цих координатах і виконується керування [23].

Вихідною інформацією для побудови системи векторного керування є інформація про миттєві значення й просторове положення вектора потокозчеплення в повітряному зазорі, миттєвих значеннях струмів або напруг статора й швидкості ротора двигуна. Обертова система координат приймається певним чином орієнтованою щодо вектора потокозчеплення двигуна. Зручні алгоритми керування мають місце при орієнтації координатної системи щодо вектора потокозчеплення ротора.

При векторному керуванні можна ефективно виконувати роздільне керування швидкістю й потокозчепленням асинхронного короткозамкненого електродвигуна. Координати електропривода, обмірювані в нерухомій системі координат, можуть бути перетворені до обертової системи координат, і з них можуть бути виділені постійні значення, пропорційні складовим векторів в обертовій системі координат. По цих координатах і виконується керування.

Динамічні характеристики системи векторного керування частотно-регульованим електроприводом аналогічні динамічним характеристикам системи керування електроприводом постійного струму.

Переваги векторного регулювання:

- точне відпрацьовування швидкості з компенсацією ковзання (навіть без зворотного зв'язку по швидкості);
- глибокий діапазон регулювання;
- в області малих частот двигун працює плавно й зберігає момент аж до нульової швидкості;
- швидка реакція на стрибки навантаження;
- при різких стрибках навантаження практично не відбувається стрибків швидкості, внаслідок високої динаміки регулювання;
- оптимізація ККД двигуна на низьких частотах;

- за рахунок регулювання струму намагнічування здійснюється оптимізація режиму роботи двигуна й зниження втрат.

Недоліком системи векторного керування є складність керуючих і функціональних пристроїв при реалізації перетворення координат і фаз, виконання компенсаційних зв'язків при широкому діапазоні регулювання швидкості й навантаження електропривода.

Більшість сучасних частотних перетворювачів підтримують роботу у режимі частотно-струмового керування асинхронним електродвигуном. Цей спосіб дозволяє змінювати швидкість обертання валу двигуна у широких межах.

На основі проведеного аналізу існуючих типів керування двигунів перемінного струму для керування електродвигуном насосного агрегата доцільно застосувати комплектний електропривод Altivar Process MV ATV6000 з частотним керуванням [23].

3.3 Розробка функціональної схеми системи керування

Функціональна схема повинна відображати функціональні керовані частини промислової установки, всі електричні елементи, пристрої, функціональні групи, вироби та зв'язки між ними.

Графічна побудова схеми повинна наочно відображати послідовність функціональних процесів, ілюструючи їх схемою. Дійсне розташування в установці елементів, пристроїв і виробів можна на схемі не враховувати.

Зв'язки між структурними частинами схеми показують лініями зі стрілкою в напрямку процесу керування, а на лініях зв'язку показують умовні позначення сигналів.

Для складання функціональної схеми необхідно розглянути склад та роботу системи керування електродвигуна насосного агрегата подачі живильної води.

Для забезпечення нормальної роботи системи водопостачання насоси повинні забезпечити відповідне значення подачі води для покриття потреб парогенераторів.

У режимі нормальної експлуатації блоку система перебуває в режимі очікування. Аварійні живильні насоси включаються в роботу автоматично по сигналу "Програма східчастого пуску" при проходженні захистів САОЗ (блокування YZS01) або імпульсу зниження рівня води в будь-якому парогенераторі.

При роботі системи в аварійному режимі регулятори підтримки заданого рівня й витрати води в ПГ повинні перебувати в автоматичному режимі керування.

Регулятори включаються в роботу при збільшенні витрати живильної води або при зниженні рівня котлової води ПГ.

Для цього прибігають до регулювання продуктивності насосного агрегату.

Режими роботи механізмів відцентрового типу визначаються трьома величинами: подачею Q , напором H и частотою обертання n . Ці величини визначають також момент опору й потужність на валу механізму.

Експлуатаційні властивості механізмів відцентрового типу визначаються Q - H характеристикою й залежністю ККД від подачі при $n = const$. Теоретичний розрахунок зазначених характеристик представляє великі труднощі, тому на практиці користуються експериментальними залежностями $H(Q)$ і $\eta(Q)$, які приводяться в каталогах насосів для незмінної номінальної швидкості.

Момент опору на валу двигуна, M_0 , Н·м, [8,]

$$M_0 = \frac{\rho g Q H}{\omega \eta_M}, \quad (3.6)$$

де ρ – щільність рідини, кг/м³ (для води = 1000 кг/м³);

g – прискорення вільного падіння, $g = 9,81$ м/с²;

Q – продуктивність турбомеханізму, м³/с;

H – тиск, м;

η_M – коефіцієнт корисної дії турбомеханізму;

ω – кутова швидкість робочого органу насоса, рад/с.

Зважаючи на те, що будь-яке регулювання приводить до зміни характеристики або насосного агрегата (НА), або самої мережі водопостачання, завдання досягнення рівності подачі із графіка водопостачання сумарній подачі НС

при певнім значенні тиску на її виході ускладнюються тим, що зі зміною значення подачі змінюється й значення тиску. Таким чином, для одержання значень подачі НА, сумарного значення подачі станції (Q) і тиску на виході (H), при яких забезпечується спільна робота НС і мережі водопостачання й покриваються потреби парогенератора у живильній воді, необхідно вирішити рівняння

$$H = \left(\frac{\omega}{\omega_{НОМ}} \right)^2 \cdot H_0 - R \cdot Q, \quad (3.7)$$

де H - напір;

ω – кутова швидкість робочого органа насоса;

H_0 – тиск, що розвиває насос при нульовій подачі;

R - внутрішній опір мережі водопостачання;

Q - подача НА.

Напір H на виході кожного насосного агрегата (НА) відповідає певному значенню напруги завдання ($U_{зад}$).

При подальшому використанні моделі вважаємо, що залежність моменту опору від обертів має вид

$$M_o(\omega) = M_H \left(\frac{\omega}{\omega_H} \right)^2.$$

Згідно з законом пропорційності насоса маємо

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{\omega_1}{\omega_2} \right)^2.$$

Тому що зміна подачі залежить від внутрішнього опору мережі водопостачання обираємо двоконтурну систему частотного керування з підлеглим контуром регулюванням струму. Функціональна схема такої системи керування зображена на рисунку 3.2 [26].

На схемі позначені: РТ – регулятор тиску; РС – регулятор струму; ПЧ – частотний перетворювач; АД – асинхронний двигун; Н – насос; ФП – функціональний перетворювач напруги; ФС - функціональний перетворювач

струму; ДТ – датчик тиску; u_y – напруга завдання; u, f – керовані напруга та частота живлення АД; H – напір води.

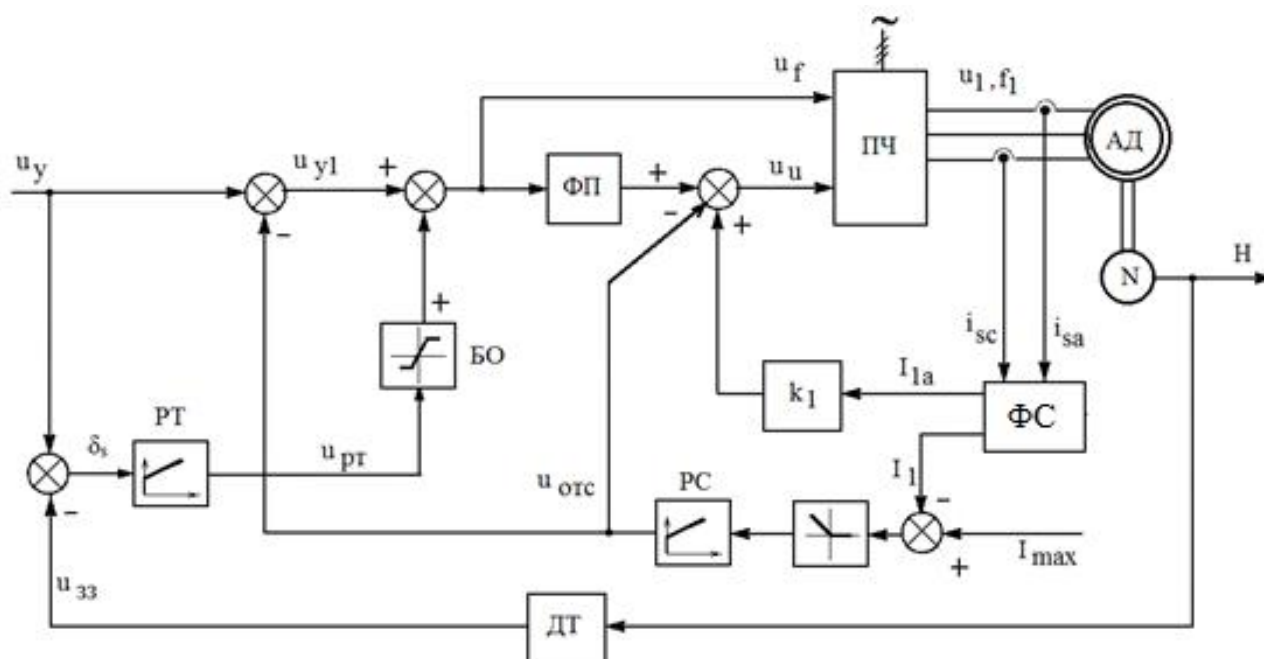


Рисунок 3.2 - Функціональна схема системи частотного регулювання ПЧ -АД зі зворотним зв'язком по швидкості

3.4 Електропривод на базі перетворювача серії Altivar Process MV ATV6000 для керування асинхронними двигунами

Основні принципи роботи перетворювача частоти. Велику роль в економії електроенергії й збільшенні ресурсу двигуна має правильний вибір режиму керування двигуном, що сильно залежить від типу навантаження. Залежність між швидкістю обертання й моментом опору неоднакова.

Багато навантажень мають постійний момент у всьому діапазоні швидкості обертання. У деяких споживана потужність залежить від швидкості обертання і теоретично зниження швидкості обертання на 10% приносить економію 30% від вихідної споживаної потужності.

Для зупинки чи для уповільнення двигуна крім механічних способів існують і електричні. Найпростіший — це вибіг, коли з двигуна знімають живлення, і він

зупиняється по інерції. У цьому випадку час зупинки залежить від багатьох факторів і не піддається регулюванню.

Для керування часом гальмування застосовують генераторний метод. Він полягає в тому, що частотний перетворювач зменшує вихідну частоту до необхідного значення (енергія повертається в первинну мережу).

При великому моменті або при швидкій зупинці, щоб уникнути перегріву й виходу з ладу внутрішнього контуру, використовують зовнішній навантажувальний опір, що є недоліком даного режиму.

При динамічному гальмуванні з однієї-двох фаз знімають змінну напругу та подають постійну – при цьому способі не потрібен зовнішній опір. Але ефективність гальмування складає від 30 до 40 % у порівнянні з генераторним способом і час гальмування не регулюється.

У частотних перетворювачах використовують комбінований метод, що включає в себе всі переваги вищеописаних методів.

Основні технічні характеристики та робота електропривода Altivar Process MV ATV6000.

Технічні характеристики перетворювача частоти ATV6000D890A6060 для номінальної напруги двигуна 6.0 кВ наведені в таблиці 3.2 [23].

Таблиця 3.2 - Технічні характеристики перетворювача Altivar 6000

Перетворювач частоти ATV6000D890A6060	Нормальний режим роботи	Важкий режим роботи	Осередок інвертора
Розрахункова потужність ЕД, кВт	710	670	
Тривалий вихідний струм, А	81,7	78	
Перевантаження 120%, 60 с кожні 10 хвилин	96	117	150
Ном. струм осередка, А			100
Номінальна напруга ЕД, В	6000		
Повна потужність, кВА	890		
Коефіцієнт потужності	0,88		
ККД	95%		

Можливості системи керування. Перетворювач частоти має наступні характеристики (таблиця 3.3).

Таблиця 3.3 - Характеристики перетворювача Altivar Process MV ATV6000

Закони керування	- U/f векторне керування в розімкнутій системі; - U/f векторне керування в замкнутій системі; - стандартний закон керування
Режими керування	- керуванні за швидкістю; - керуванні за моментом
Діапазон регулювання	2Q
Точність підтримки швидкості	у розімкнутій системі $\pm 0.5\%$; у замкнутій системі $\pm 0.1\%$
Функції моніторингу	Коротке замикання/перевантаження по струму, низька/висока напруга, несправність контролера, перевищення номінального струму, обрив фази двигуна, обрив фази мережі та інші
Комунікаційні можливості	- здвоєний порт Ethernet (Ethernet IP та Modbus TCP); - порт для підключення до шини Modbus; - опціонально - додаткові модулі зв'язку для підключення до шин та мереж Profibus, Profinet, EtherCAT, DeviceNet, CANopen
ПД-регулятор	вбудований параметризований ПД-регулятор
Входи та виходи	конфігуровані аналогові та дискретні входи та виходи з можливістю розширення
Режими керування	місцеве/дистанційне/HMI
Вбудована панель оператора	- 10-дюймова рідкокристалічна панель Magelis з графічним інтерфейсом; - Відображення поточних станів; - відображення поточних параметрів перетворювача частоти
Габарити (ширина-глибина-висота), мм	2760x1400x2617
Маса, кг	3681

Загальна структура електропривода з перетворювачем Altivar 6000 показана на рисунку 3.3.

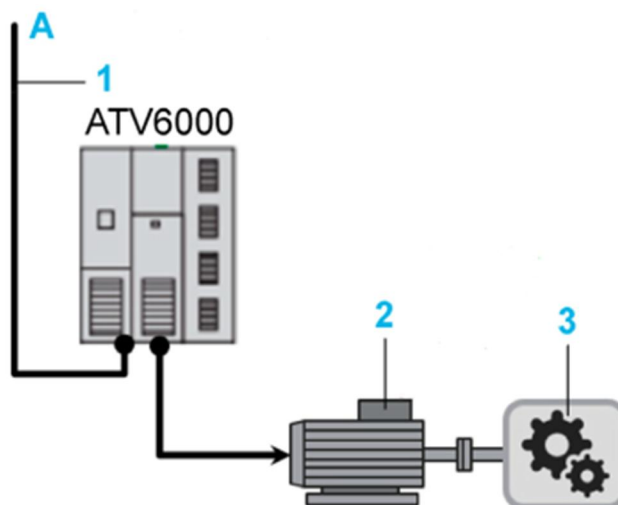


Рисунок 3.3 - Загальна структура електропривода

На рисунку 3.4 наведені позначення:

A - мережа живлення;

1 - перетворювач частоти (струм, напруга та потужність, споживані з мережі);

2 - електродвигун (струм, напруга, частота обертання, температура обмоток та підшипників, споживання електроенергії);

3 - механізм (для насоса - перевантаження та низьке навантаження, заклинювання, кавітація, витрата, тиск, точка максимального ККД)

3.5 Висновки до розділу 3:

- проаналізовані способи та системи керування електродвигунами живильних насосів;

- наведений аналіз систем керування електроприводів перемінного струму, а саме: частотне регулювання швидкості асинхронних електродвигунів, частотно-струмове керування, векторне керування;

- вибраний комплектний електропривод;

- приведений технічний опис електропривода серії Altivar Process MV ATV6000.

РОЗДІЛ 4

ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ТА ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ НАСТРОЮВАННЯ РЕГУЛЯТОРА НАПРУГИ

4.1 Математичний опис елементів системи керування електропривода

При виконанні розробки математичної моделі електропривода припустимо, що частотний перетворювач здатен виконувати плавне регулювання частоти струму двигуна таким чином, що двигун працює на практично лінійній частині характеристики (момент опору від 0 до номінального).

У якості приводного двигуна агрегату подачі аварійної живильної води ПЕА 150-85 використаний асинхронний дво полюсний електродвигун з коротко замкнутим ротором типу 2АЗМ 800/6000 [10].

Для розрахунку елементів системи керування необхідно привести деякі технічні дані електродвигуна з таблиці 3.1.

Таблиця 4.1 - Деякі технічні дані електродвигуна з таблиці 3.1.

Параметр	Значення
Потужність P_n , кВт	800
Напруга, В	6000
Частота обертання ротора номінальна n_n , об./хв. $n_n = n_c(1 - S_H)$	2979
Частота обертання ротора синхронна n_c , об./хв	3000
Струм статора I_H , А (при $U=380V$)	90,5
Ковзання S_H , %	0,7
ККД, %	95,4
Кратність пускового обертового моменту $M_{пуск} / M_H$,	2,5
Кратність максимального обертового моменту M_{max} / M_H	0,9
Момент інерції J_∂ , кг·м ²	18,3

Вважаємо, що для насоса залежність моменту опору від частоти обертання має квадратичний вид [8,16].

$$M_0(\omega) = K_{M0} \cdot \omega^2,$$

де K_{M0} - передатний коефіцієнт моменту опору.

Приймаємо $K_{M0} = 1 \cdot 10^{-4} \text{ Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^2$

Параметр M_d , - жорсткість робочої частки механічної характеристики, розраховується по формулі

$$M_d = M_H / (\omega_0 - \omega_H),$$

де ω_0 синхронна швидкість;

ω_H – номінальна швидкість.

Параметр J – приведений момент інерції. Вважаючи, що момент інерції насоса і інших приєднаних мас J_m ураховується коефіцієнтом 0,75, отримуємо

$$J = J_0 + J_m = J_0 + 0,75J_0$$

$$J = 18,3 + 0,75 \cdot 18,3 = 32 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Перетворюючи значення частоти обертання з об/хв. на с^{-1} отримуємо:

- номінальна частота обертання ротора

$$\omega_0 = 2\pi \cdot 3000 / 60 = 314 \text{ с}^{-1},$$

- синхронна частота обертання ротора

$$\omega_H = 2\pi \cdot 2979 / 60 = 311,8 \text{ с}^{-1}.$$

Номінальний момент двигуна M_H , Н·м,

$$M_H = \frac{9550 \cdot P_H}{n_H},$$

Підставляючи необхідні дані отримаємо

$$M_H = \frac{9550 \cdot 800}{2979} = 2565 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Параметр M_d , Н·м·с.,

$$M_d = 2565 \cdot (314 - 311,8) = 5643 \text{ Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с}.$$

Постійна часу двигуна T_d , с,

$$T_d = \frac{1}{\omega_H \cdot S_{кр}},$$

де $S_{кр}$ - критичне ковзання.

Критичне ковзання $S_{кр} = S_H (\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1})$,

де $\lambda = \frac{M_{кр}}{M_H}$ - перевантажувальна здатність двигуна по моменту.

Критичний момент $M_{кр}$, Н·м

$$M_{кр} = 1,2 M_{пуск} \quad M_{пуск} = 2,5 \cdot M_H, \quad M_{кр} = 1,2 \cdot 2,5 \cdot M_H,$$

$$M_{кр} = 1,2 \cdot 2,5 \cdot 2565 = 7695 \text{ Н·м.}$$

$$\lambda = \frac{7695}{2565} = 3.$$

$$S_{кр} = 0,7(3 + \sqrt{3^2 - 1}) = 4,07 \%$$

Тоді

$$T_d = \frac{1}{311,8 \cdot 0,0407} = 0,079 \text{ с.}$$

Таким чином отримали наступні дані лінеаризованої моделі двигуна:

- жорсткість робочої частки механічної характеристики $M_d = 5643 \text{ Н·м·с}$;
- постійна часу двигуна $T_d = 0,079 \text{ с}$;
- приведений момент інерції $J = 32 \text{ кг·м}^2$.

На рисунку 4.1 наведена структурна схема насосного агрегата (лінеаризована модель двигуна і модель насоса відповідно до формули (4.1)), складена відповідно до опису функціональної схеми рисунок 3.4. Вважаємо, що система керування забезпечує роботу двигуна на відрізку характеристики від 0 до номінального моменту (лінійний відрізок).

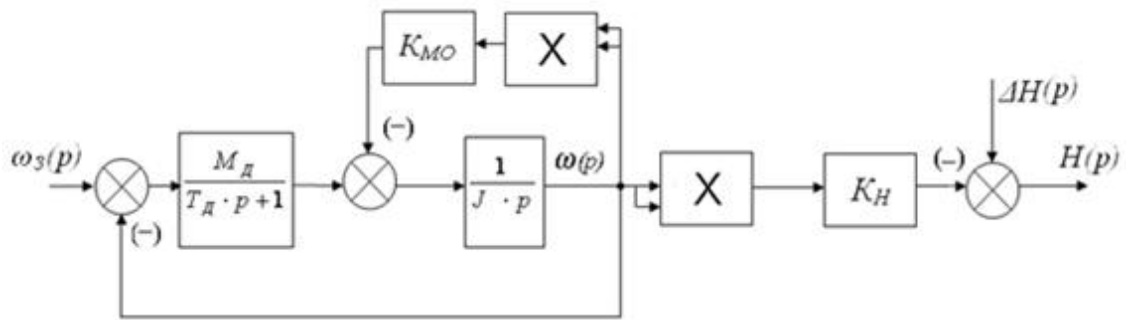


Рисунок 4.1 - Схема лінеаризованої моделі насосного агрегата

До складу системи керування входять автономний інвертор (перетворювач частоти), регулятори тиску і струму з передатними функціями $W_{AI}(p)$, $W_{PT}(p)$ і $W_{PC}(p)$ відповідно.

Інвертор вважаємо аперіодичною ланкою з передатною функцією

$$W_{AI}(p) = \frac{K_{AI}}{T_{AI} p + 1},$$

де K_{AI} – коефіцієнт підсилення інвертора;

T_{AI} – постійна часу інвертора.

Приймаємо вид регуляторів тиску і струму як пропорційно-інтегральні з коефіцієнтами передачі K_{PT} і K_{PC} та постійними часу T_{PT} і T_{PC} відповідно:

$$W_{PT}(p) = K_{PT} + \frac{1}{T_{PT} \cdot p},$$

$$W_{PC}(p) = K_{PC} + \frac{1}{T_{PC} \cdot p}.$$

У якості ланок, що відповідають датчикам струму та тиску, застосуємо пропорційні ланки з коефіцієнтами $K_{дт}$ і $K_{дс}$.

В документації приводів функціональні та структурні схеми відсутні. Тому складаємо структурну схему (для подальшого моделювання), виходячи з припущень, що система керування із частотним перетворювачем у складі замкненої системи керування відповідає по структурі двоконтурній системі підлеглого керування із внутрішнім контуром струму та зовнішнім контуром тиску.

На рисунку 4.2. наведена структурна схема такого привода. .

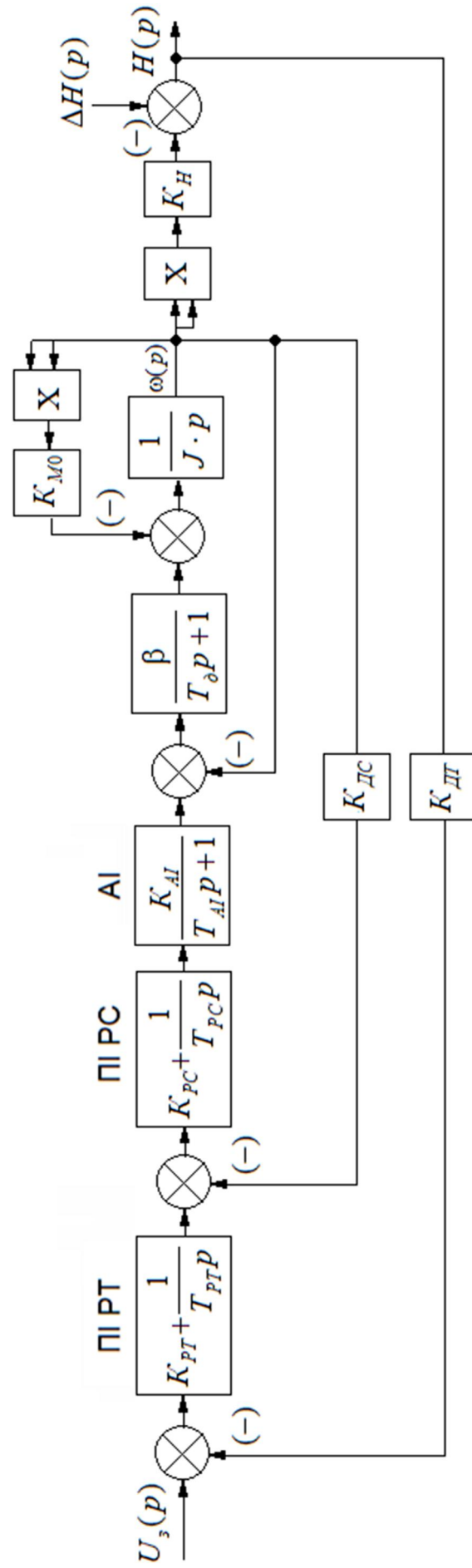


Рисунок 4.2 - Структурна схема електропривода

4.2 Розрахунок параметрів структурної схеми та аналіз перехідних процесів

Сучасні виробники техніки для автоматизації виробництва не приводять даних по внутрішній структурі та параметрам своїх виробів. Розрахуємо параметри моделі, виходячи з загальних положень побудови систем керування електроприводами.

Вважаємо інвертор транзисторним з ШІМ регулятором частоти і напруги двигуна і робочою частотою комутації транзисторів 5 кГц та номінальною частотою сформованого струму 50 Гц. Тоді постійна часу інвертора, T_{AI} , с,

$$T_{AI} = \frac{1}{2 \cdot m \cdot f},$$

де m – фазність інвертора,

f – частота струму, Гц.

У нашому випадку маємо $m = 3$, $f = 50$ Гц.

Остаточню $T_{AI} = 0,0033$ с.

Приймаємо коефіцієнт передачі інвертора $K_{AI} = 20$.

Приймаємо тип регуляторів тиску і струму як пропорційно-інтегральні з коефіцієнтами передачі регуляторів тиску та струму K_{PT} і K_{PC} та постійними часу T_{PT} і T_{PC} .

Для первинних розрахунків приймаємо, що величина постійної часу регулятора тиску T_{PT} дорівнює величині постійної часу двигуна T_d , а регулятора струму T_{PC} – постійної часу інвертора T_{AI} .

Номінальному тиску $H_{НОМ} = 70$ м відповідає напруга $U_3 = 10$ В.

Таким чином, вважаючи у сталому режимі похибку рівній 0, коефіцієнт датчика тиску, $K_{ДТ}$, В/м,

$$K_{ДТ} = \frac{U_3}{H_{НОМ}}, \quad K_{ДТ} = \frac{10}{70} = 0,143 \text{ В/м.}$$

Вважаючи у сталому режимі похибку рівній 0, маємо при розрахунку

коефіцієнта підсилювання зворотного зв'язку за струмом $K_{ДС}, \frac{B \cdot A}{H \cdot m},$

$$K_{ДС} = \frac{U_{РС}}{M_H / I_H}; \quad K_{ДС} = \frac{10}{2565/90,5} = 0,35 \frac{B \cdot A}{H \cdot m}.$$

Коефіцієнти підсилювання регуляторів вважаємо рівними 10.

Використовуючи отримані раніш дані ($\omega_H = 311,8 \text{ с}^{-1}$, $M_H = 2565 \text{ Н}\cdot\text{м}$) і вважаючи, що в сталому режимі рушійний момент відповідає навантаженню, при $K_{МО} = 1 \cdot 10^{-4} \text{ Н}\cdot\text{м}\cdot\text{с}^2$ функція навантаження згідно з приймає загальний вид

$$M_O(\omega) = 1 \cdot 10^{-4} \cdot \omega^2.$$

Отримані для елементів структурної схеми дані зводимо до таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 - Вихідні дані для розрахунку перехідних процесів

Параметр	Одиниці виміру	Значення
Жорсткість робочої частки механічної характеристики	Н·м·с	$M_D = 5643$
Постійна часу двигуна	с	$T_D = 0,079$
Приведений момент інерції	кг·м ²	$J = 32$
Постійна часу інвертора	с	$T_{AI} = 0,0033$
Постійна часу ПІ-регулятора тиску	с	$T_{PT} = 0,079$
Коефіцієнт передачі інвертора	—	$K_{AI} = 20$
Коефіцієнт підсилення ПІ-регулятора тиску	—	$K_{PT} = 10$
Постійна часу ПІ-регулятора струму	с	$T_{PC} = 0,0033$
Коефіцієнт підсилення ПІ-регулятора струму	—	$K_{PC} = 10$
Передатний коефіцієнт по тиску	В/м	$K_{DT} = 0,143$
Передатний коефіцієнт по струму	$\frac{B \cdot A}{H \cdot m}$	$K_{ДС} = 0,35$
Передатний коефіцієнт моменту опору	Н·м·с ²	$K_{МО} = 0,0001$

Передатні функції ланок:

- перетворювача частоти (автономного інвертора)

$$W_{AI}(p) = \frac{K_{AI}}{T_{AI}p + 1};$$

$$W_{ПЧ}(p) = \frac{20}{0,0033 \cdot p + 1};$$

- регулятора струму

$$W_{PC}(p) = K_{PC} + \frac{1}{T_{PC} \cdot p};$$

$$W_{PC}(p) = 10 + \frac{1}{0,0033 \cdot p};$$

- регулятора тиску

$$W_{PT}(p) = K_{PT} + \frac{1}{T_{PT} \cdot p};$$

$$W_{PT}(p) = 10 + \frac{1}{0,079 \cdot p}.$$

Відповідно до структурної схеми (рисунок 4.2) та по даним, отриманим у результаті розрахунку параметрів ланок структурної схеми (таблиця 4.2), була складена розрахункова схема для дослідження динаміки системи керування електропривода насосного агрегата. Моделювання виконувалося у середовищі програми Simulink пакету MathLab версії 6.5.0 [6].

На рисунку 4.3 приведений вид моделі для розрахованих раніше параметрів. Від структурної схеми на рисунку 4.2 вона відрізняється наявністю блоків для формування задаючих і збурюючих впливів та блоків для фіксації результатів.

На вході використовуємо блок "Step" – джерело східчастого впливу величиною 10 В. Блоки "Gain1" та "Gain2" реалізують пропорційну складову ПІ–регуляторів тиску та струму відповідно. Інтегральну складову реалізують блоки "Transfer Fcn1" та "Transfer Fcn2". Блок "Transfer Fcn3" реалізує передатну функцію інвертора, а блоки "Transfer Fcn4", "Transfer Fcn5" – лінеаризовану модель двигуна. Блоки "Gain4" та "Gain5" відповідають датчикам струму та тиску відповідно. За допомогою блоків "Gain6", "Gain8" та "Gain9" виконується перерахування отриманих даних у відносні одиниці (для спрощення подальшого порівняння).

Блок "Score Н" використовується для отримання графіку перехідного процесу та сталого режиму по тиску, блок "Score ω" по частоті обертання а блок "Score 2 " – по струму.

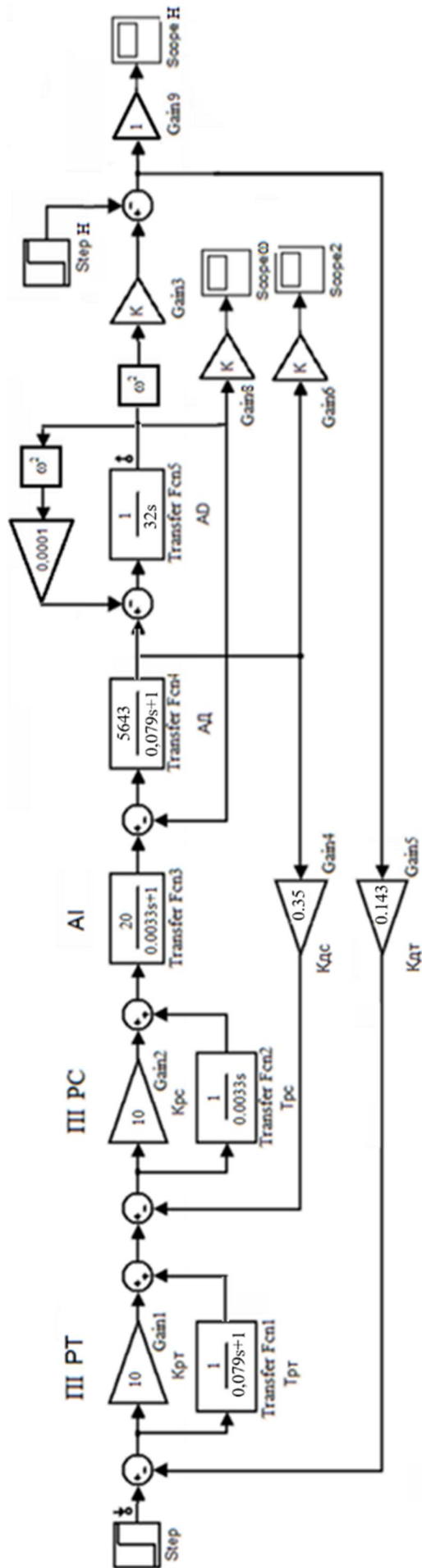


Рис. 4.3 - Розрахункова структурна схема

З метою поліпшення динамічних властивостей системи керування електропривода у каналі керування швидкістю треба визначити параметри налагодження ПІ-регулятора, які будуть забезпечувати необхідні показники якості перехідного процесу.

Визначення параметрів (параметричний синтез) здійснюється за допомогою перехідних характеристик системи частотного керування асинхронним двигуном.

У роботі був проведений параметричний синтез при варіації параметрами ПІ-регулятора.

У роботі був проведений параметричний синтез при варіації параметрами ПІ-регулятора з передатною функцією

$$W(p) = K_{PT} \frac{T_{PT} p + 1}{T_{PT} p}.$$

Перехідні характеристики при зміні K_{PT} від 10 до 2,5 представлені на рисунках 3.3 - 3.6, а характеристики при зміні T_{PT} від 0,2 с до 0,8 с представлені на рисунках 3.8 - 3.11. На рисунку 3.7 представлена залежність $\sigma_{\max}(K_{PT})$ і $T(K_{PT})$, а на рисунку 3.12 – залежність $\sigma_{\max}(T_{PT})$ і $T(T_{PT})$.

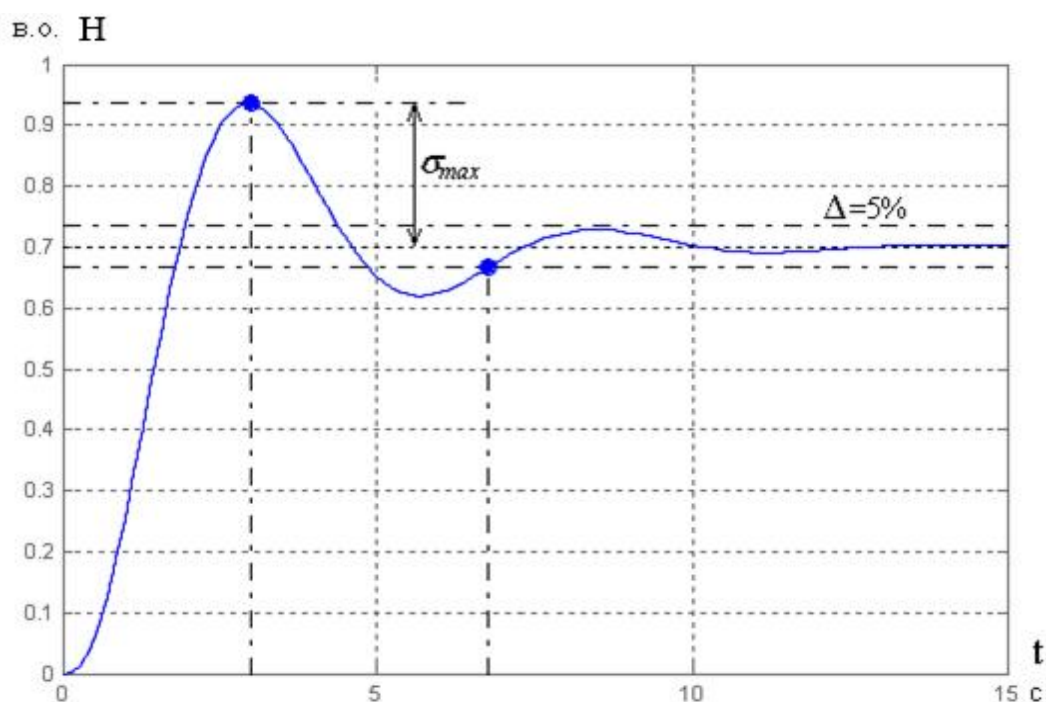


Рисунок 3.3 - Перехідна характеристика при $T_{PT} = 0,079$ с і $K_{PT} = 10$

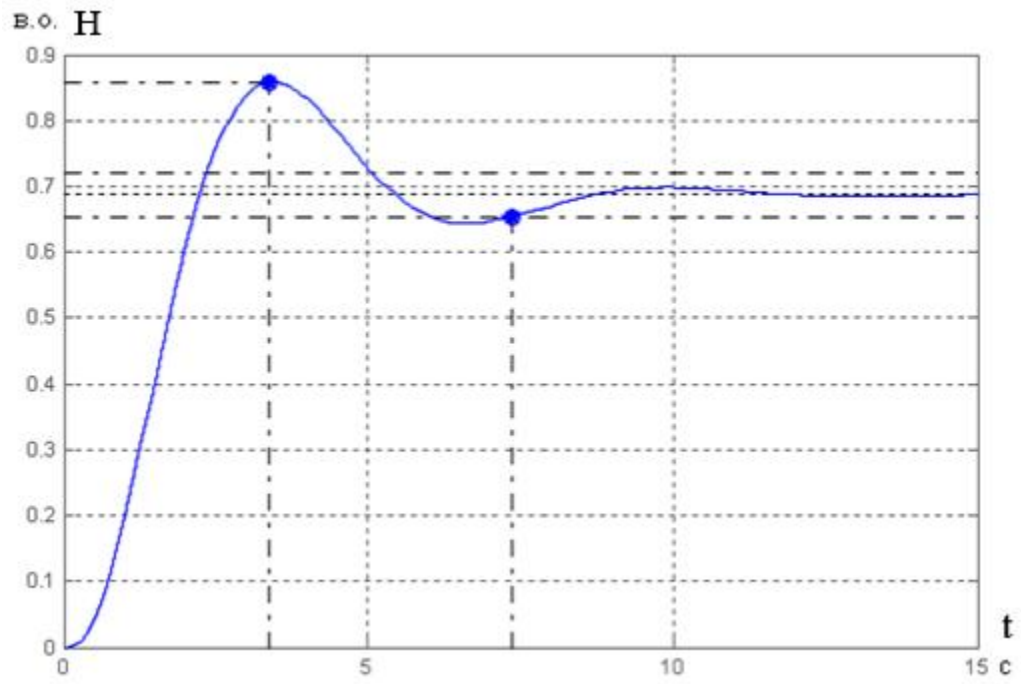


Рисунок 3.4 - Перехідна характеристика при $T_{PT} = 0,079$ с і $K_{PT} = 7,5$

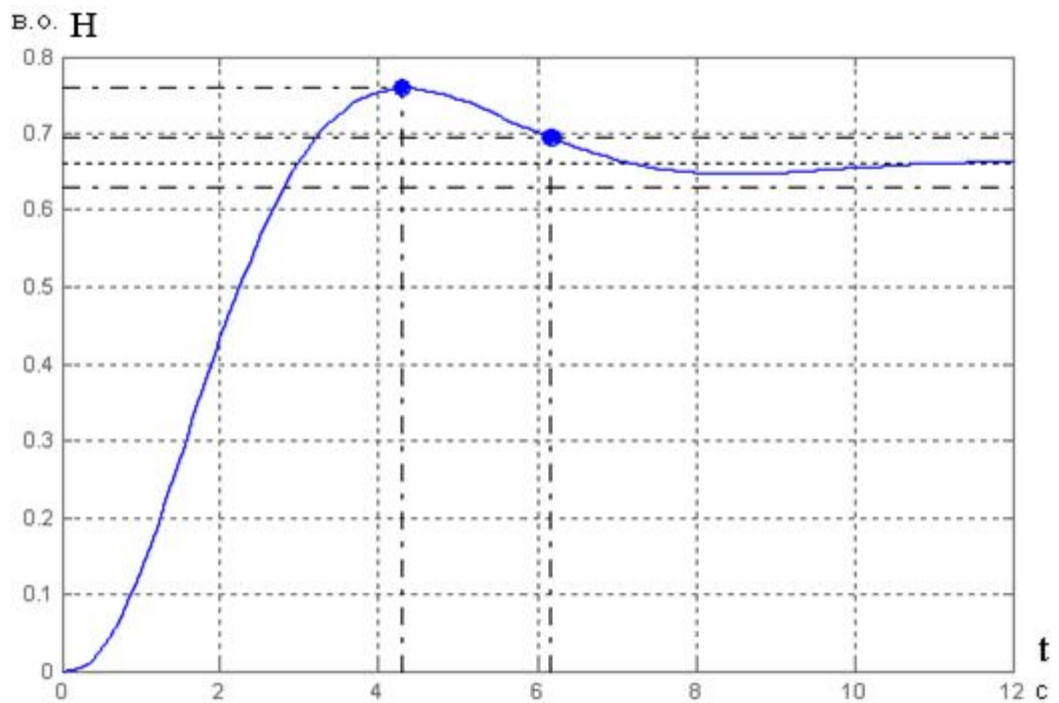


Рисунок 3.5 - Перехідна характеристика при $T_{PT} = 0,079$ с і $K_{PT} = 5$

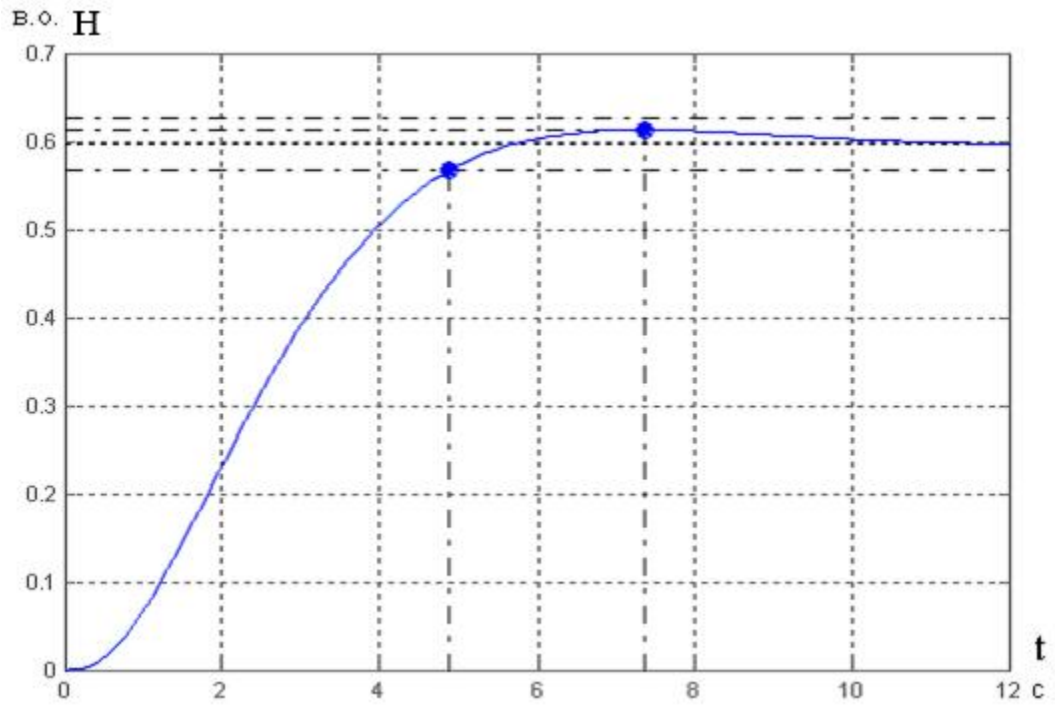


Рисунок 3.6 - Перехідна характеристика при $T_{PT} = 0,079$ с і $K_{PT} = 2,5$

Залежність величини перерегулювання системи і часу перехідного процесу при $T_{PT} = \text{const}$, $K_{PT} = \text{var}$ представлена на рисунку 3.7.

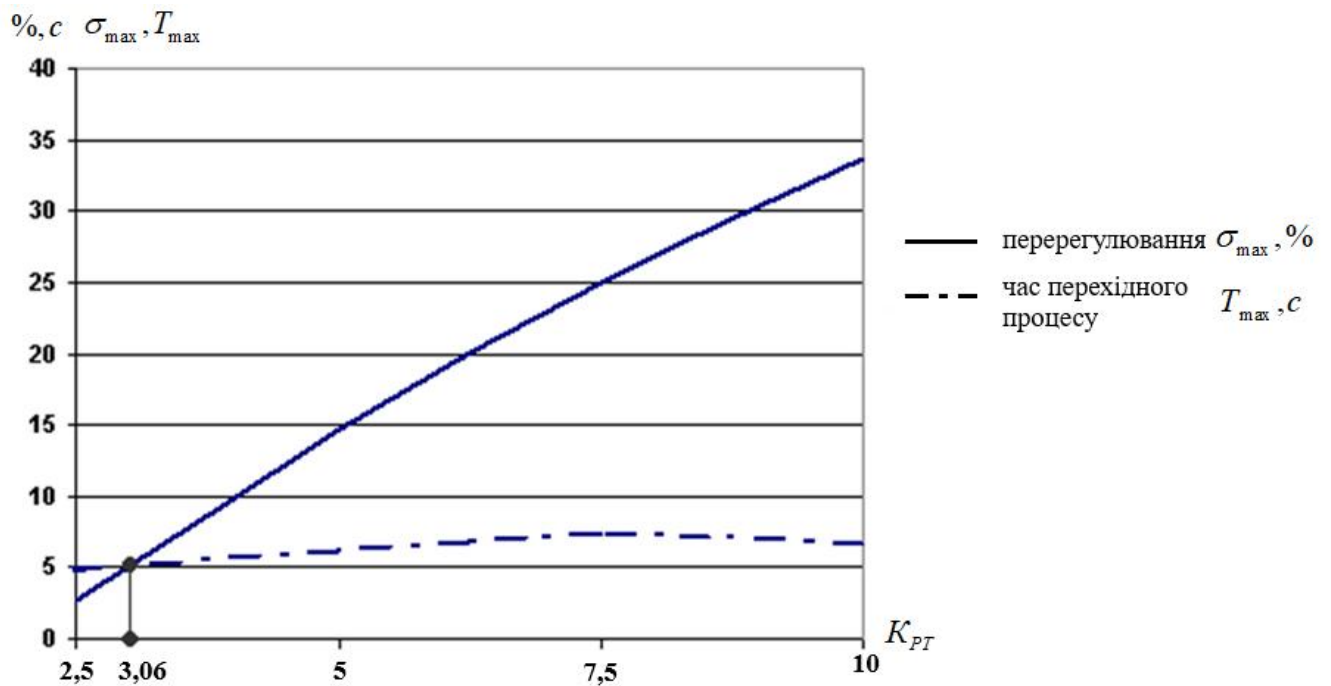


Рисунок 3.7 - Залежність $\sigma_{\max}(K_{PT})$ і $T(K_{PT})$ при $T_{PT} = \text{const}$

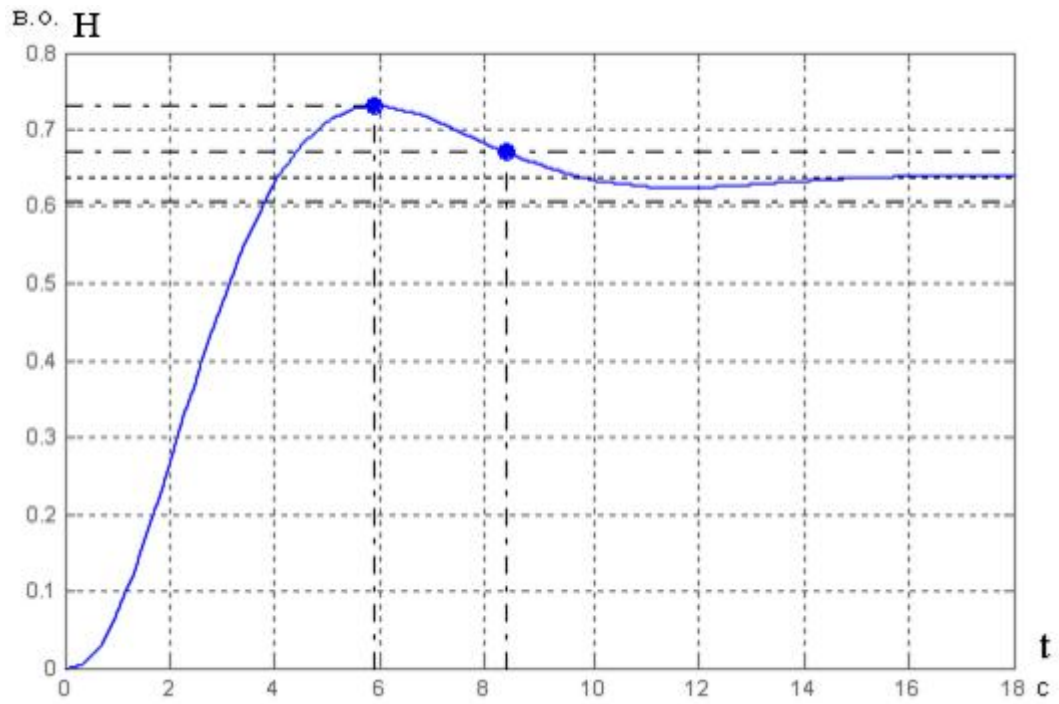


Рисунок 3.8 - Перехідна характеристика при $T_{PT} = 0,02$ с і $K_{PT} = 3,06$

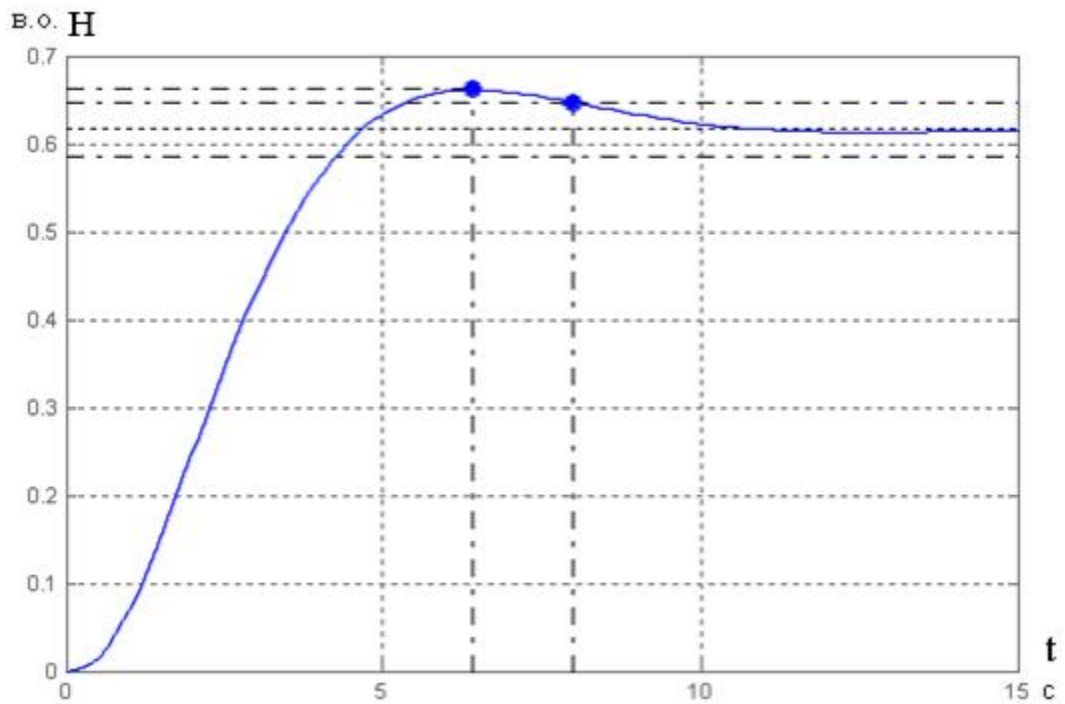


Рисунок 3.9 - Перехідна характеристика при $T_{PT} = 0,04$ с і $K_{PT} = 3,06$

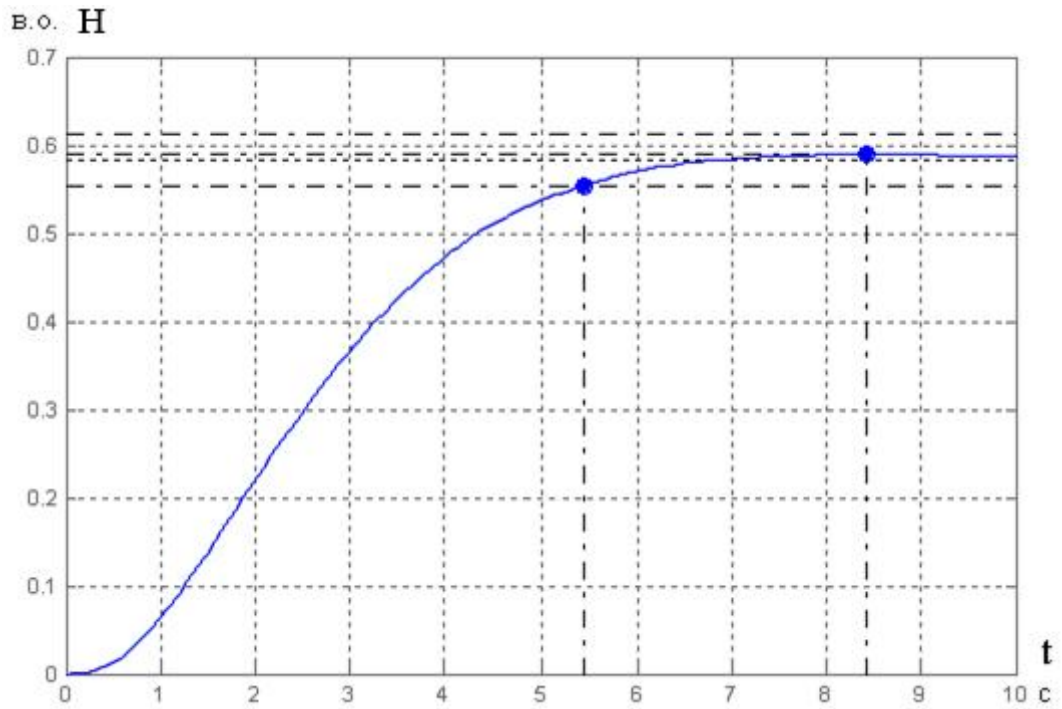


Рисунок 3.10 - Перехідна характеристика при $T_{pT} = 0,06$ с і $K_{pT} = 3,06$

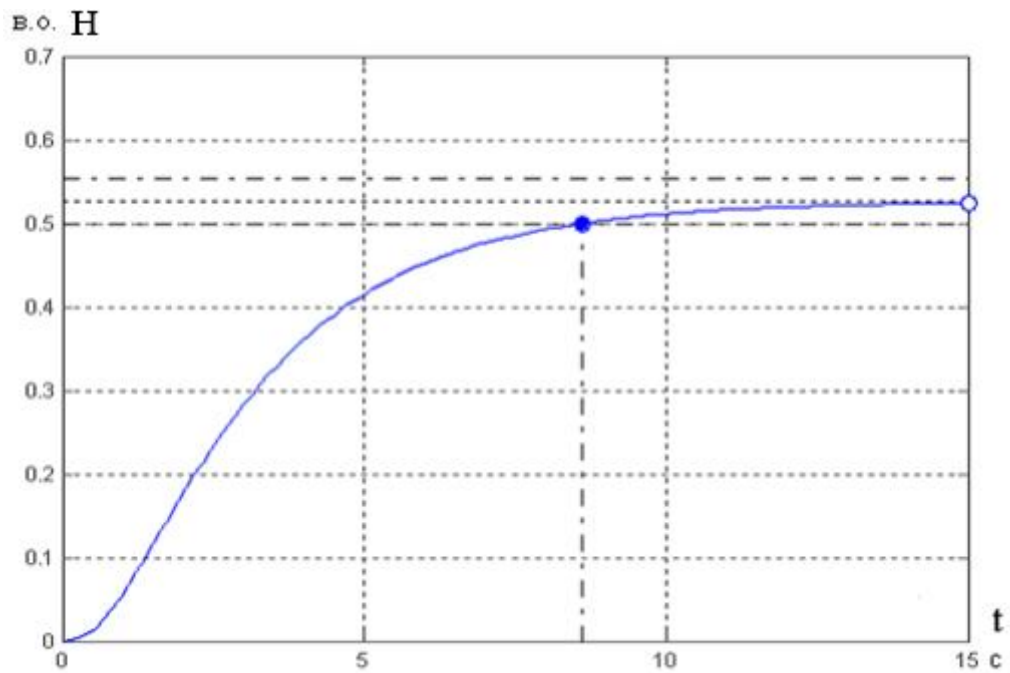


Рисунок 3.11 - Перехідна характеристика при $T_{pT} = 0,08$ с і $K_{pT} = 3,06$

Залежність величини перерегулювання системи і часу перехідного процесу при $T_{pT} = \text{var}$, $K_i = \text{const}$ представлена на рисунку 3.12.

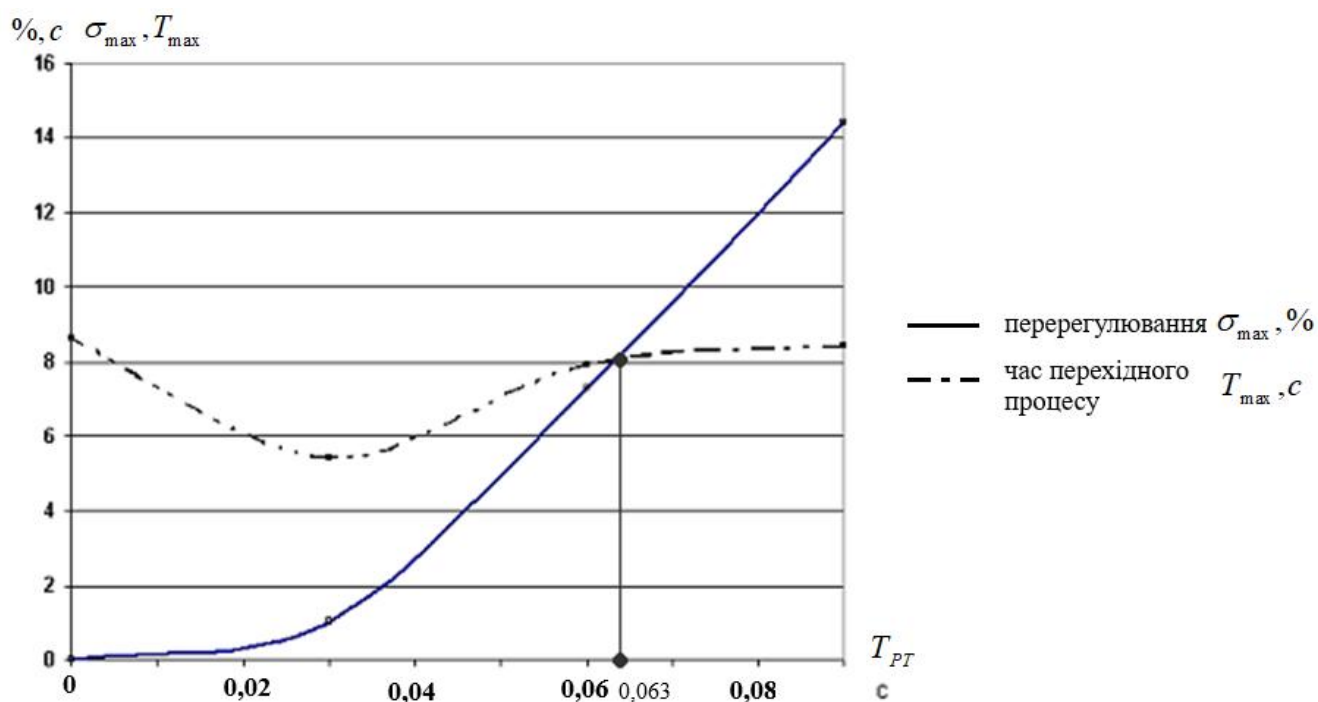


Рисунок 3.12 - Залежність $\sigma_{\max}(T_{PT})$ і $T(T_{PT})$ при $K_{PT} = \text{const}$

Проведений аналіз отриманих перехідних процесів показав, що при збільшенні K_{PT} з 2,5 до 10 максимальне перерегулювання системи збільшується з 2,8 % до 33,6 % . Час перехідного процесу збільшується з 4,9 с до 7,4 с при збільшенні K_{PT} з 2,5 до 7,5 і зменшується до 6,7 с при подальшому збільшенні коефіцієнта K_{PT} до 10.

При збільшенні T_{PT} з 0 с до 0,08 с перерегулювання системи збільшується з 0 % до 12 %. Час перехідного процесу при цьому зменшується з 8,6 с до 5,4 с при зростанні T_{PT} з 0 с до 0,03 с. При збільшенні T_{PT} з 0,03 с до 0,08 с час перехідного процесу зростає до 8,4 с.

В результаті аналізу були вибрані такі параметри настроювання регулятора: $T_{PT} = 0,063$ с; $K_{PT} = 3,06$. Перехідний процес з вибраними параметрами представлений на рисунку 3.13.

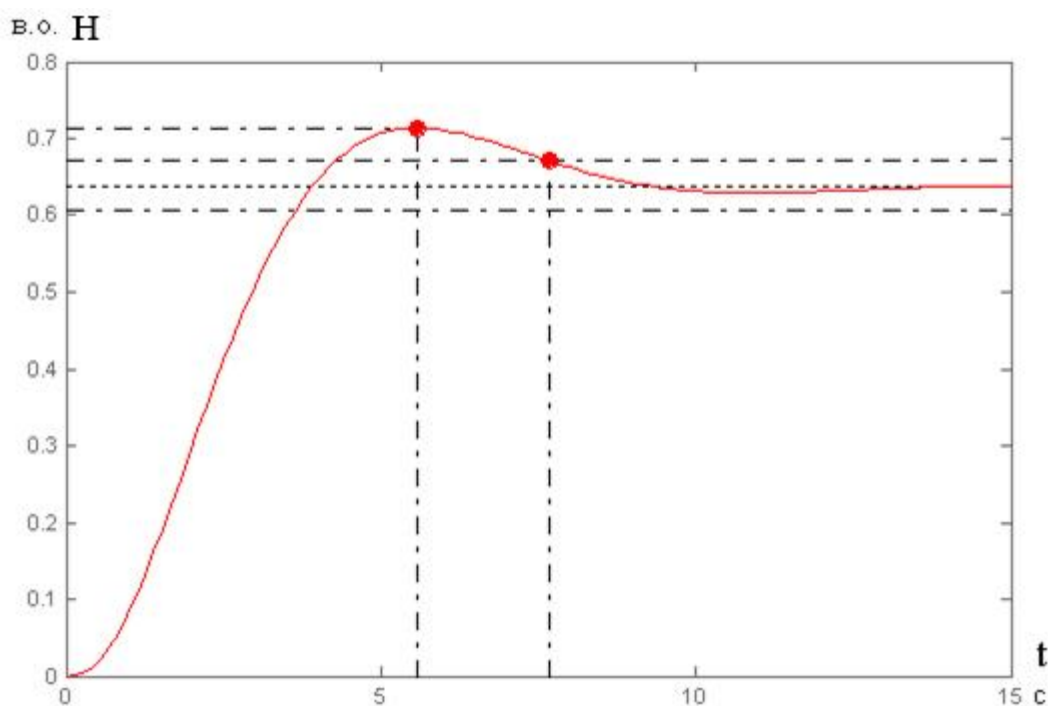


Рисунок 3.13 - Перехідна характеристика з вибраними параметрами

$$T_{PT} = 0,063 \text{ с і } K_{PT} = 3,06$$

Основні показники якості перехідного процесу складають:

$$\sigma_{\max} = 11,8 \, \%$$

$$T_{\max} = 7,7 \text{ с.}$$

Такі показники забезпечать плавність ходу електропривода, та його безаварійну роботу.

4.3 Висновки до розділу 4:

- наведений математичний опис елементів системи керування електропривода, складена розрахункова структурна схема системи керування;
- на основі математичного опису та розрахунків елементів системи складена розрахункова динамічна модель системи керування та проведений аналіз динамічних властивостей (параметричний синтез) дослідженої системи керування.

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ РОБОТІ З ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯМ НАСОСНИХ АГРЕГАТІВ

Охорона праці – система законодавчих актів, соціально-економічних, організаційних, технічних, гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів і засобів, що забезпечують безпеку, збереження здоров'я й працездатності людини в процесі праці.

Повністю безпечних і нешкідливих виробництв не існує. Завдання охорони праці – звести до мінімуму ймовірність нещасного випадку або захворювання працюючого з одночасним забезпеченням комфортних умов при максимальній продуктивності праці. Створення нормальних умов праці полягає в забезпеченні сприятливої обставини на робочому місці – усунення важких фізичних робіт, небезпечних і шкідливих виробничих факторів, зниження монотонності праці, нервової напруженості працюючих.

Україна знаходиться в першій десятці країн, що мають атомні електричні станції. Виробіток електроенергії на АЕС становить близько 50% усього виробітку. На території України знаходиться найбільша в Європі Запорізька АЕС, на якій експлуатуються 6 енергоблоків ВВЭР-1000, а загальна чисельність персоналу складає більше 10 тисяч людей. Усього на всіх АЕС України працює більше 30 тисяч людей, чисельність ліцензійного персоналу становить більше 400 людей. Відповідно до концепції розвитку енергетики України до 2030 року, яка затверджена урядом, передбачається подальший розвиток атомної енергетики, будівництво й введення нових енергоблоків сумарною потужністю більш 20 ГВт.

Відповідно до Закону України " Про використання ядерної енергії й радіаційної безпеки" на ДП НАЕК "Енергоатом" покладені функції експлуатуючої організації, відповідальної за безпеку всіх АЕС країни. Підкоряється ДП НАЕК «Енергоатом» Міністерству палива й енергетики України. Головним завданням ГП НАЕК "Енергоатом" було й залишається збільшення виробництва електроенергії на

атомних електростанціях за умови постійного підвищення рівня безпеки їх експлуатації [22].

Безпека АС - властивість АС при нормальній експлуатації й у випадку аварій обмежувати радіаційний вплив на персонал, населення й навколишнє середовище встановленими межами.

У посібниках по безпеці АС видань Міжнародної агенції по атомній енергії МАГАТЕ приводиться наступне формулювання:

Ядерна безпека (або просто безпека) - досягнення належних експлуатаційних умов, запобігання аварій або ослаблення наслідків аварій, завдяки чому забезпечується захист персоналу майданчика, населення й навколишнього середовища від неприпустимої радіаційної небезпеки.

Ядерна енергетика являє собою одно з новітніх досягнень людства, що приносить значну користь. По рівнях ризиків (безпеки) атомні станції значно менше інших сучасних технічних об'єктів. Значне скупчення енергії в невеликому просторі вимагає постійного розвитку й удосконалювання складних технологічних процесів, спеціальної підготовки персоналу, формування у всій галузі відповідальних відносин між персоналом. Культура безпеки, як новітній спосіб керування безпекою, сприяє підтримці необхідного рівня безпеки.

Культура безпеки – головна складова частина організаційної культури, в основі якої лежить цінність безпеки виробництва виробітку електричної енергії. Вона є головним компонентом організаційної культури АЕС, оскільки забезпечує основний принцип функціонування організації.

До правових і організаційних документів, що визначають вимоги до безпеки праці і охорони навколишнього середовища на АЕС слід в першу чергу віднести:

- Закон України «Про використанні ядерної енергії і радіаційну безпеку» 1995 р.;
- Закон України «Про охорону праці» 1992 р.;
- Закон України «Про поводженні з радіоактивними відходами» 1995 р.;
- Правила безпечної експлуатації електроустановок. К. 1998 р.
- Норми радіаційної безпеки. НРБУ-97 МОЗУ, 1997 р.

- Правила устрою й безпечної експлуатації устаткування і трубопроводів атомних енергетичних установок;
- Правила устрою й безпечної експлуатації судин, що працюють під тиском;
- Правила пожежної безпеки в Україні;
- Правила радіаційної безпеки при експлуатації атомних станцій.
- ГОСТ 12.1. 006-84 ССВТ. Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля;
- ГОСТ 12.3. 032-84 ССВТ. Работы электромонтажные. Загальні вимоги безпеки;
- СНиП 11-12 77 Защита от шума.

5.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів при експлуатації електропривода насоса подачі живильної води парогенераторів

Як відомо, між людиною й навколишнім середовищем існує тісний взаємозв'язок. Багато виробничих процесів супроводжуються виділенням великої кількості шкідливих газів, пилу, диму, надлишкового тепла. Пов'язані із цими явищами зміни зовнішнього середовища можуть завдати непоправної шкоди здоров'ю людей. Існують шкідливості трьох видів:

- шкідливості, пов'язані з особливостями виробництва, устаткування й оброблюваних матеріалів;
- шкідливості, пов'язані з порушенням санітарного благоустрою;
- шкідливості, обумовлені особливостями трудового процесу і його режиму.

Основною причиною травматизму є нещасні випадки.

Травма – зовнішнє ушкодження людського організму або порушення правильного його функціонування, що настигло раптово в результаті нещасного випадку. До них належать забити місця, переломи, поранення, хімічні або теплові опіки, поразки електричним струмом, обмороження й т.д. Сукупність травм,

отриманих на виробництві, називають виробничим травматизмом на відміну від побутового травматизму.

Частини обладнання, що рухаються, також можуть травмувати людину. Це може, наприклад, відбутися при збої в системі керування. Людина може також одержати травми у випадку відсутності огороження частин, що рухаються, обладнання, при випадковому зіткненні з ними.

При обслуговуванні обладнання існує ймовірність одержання травм або професійних захворювань персоналу через: виробничий шум і вібрацію, погане освітлення, незадовільний мікроклімат й поразки електричним струмом при налагодженні або ремонті.

Виробничий шум не тільки підвищує стомлюваність і знижує працездатність і увагу до небезпек, але може бути причиною поступового розвитку глухоти й нервових розладів, що впливають на діяльність серцево – судинної системи, органів травлення [12].

Вібрація, як і шум, виникає при роботі обладнання. Вібруючим обладнанням вважають пристрої, інструмент і оброблювані деталі, при роботі з якими вібрації перевищують 20% від припустимих [12].

Під впливом вібрації може уражатися нервова й серцево-судинна система, спостерігається схильність до неприємностей, гіпертонія, зміни в крові, загальна слабкість. Особливо шкідливо діють вібрація й струси на організм жінки.

Освітлення у виробничій діяльності людини як фактор охорони праці має величезне значення. Так, незадовільне освітлення (недостатнє або неправильно влаштоване) не тільки погіршує зір працюючих, але викликає загальне стомлення й навіть може з'явитися причиною прямого травматизму.

Мікроклімат у робочій зоні визначається діючими на організм людини сполученнями температури, вологості й швидкості руху повітря, а також температурою навколишніх поверхонь.

Оптимальними є такі сполучення параметрів мікроклімату, які при тривалому й систематичному впливі на людину забезпечують збереження нормального функціонального й теплового стану організму без напруги його

фізіологічних здібностей до терморегуляції, що створює відчуття теплового комфорту і є передумовою для високої працездатності.

Небезпека поразки електричним струмом серед інших небезпек відрізняється тим, що людина не в змозі без спеціальних приладів виявити наявність напруги дистанційно, як, наприклад, частин що рухаються, розпечені об'єкти, відкриті люки й т.д. Воно виявляється занадто пізно - коли людина вже уражена.

Загальним для всіх нещасних випадків є те, що вони відбуваються, в основному, через порушення правил технічної експлуатації електроустановок:

- недотримання відстані від струмоведучих частин;
- незамокнені двері електроприміщень і дверцята силових щитів;
- несвоєчасний або неякісний ремонт електроустаткування.

Тому варто приділити особливу увагу захисту від поразки електричним струмом.

5.2 Правила безпечної експлуатації засобів автоматизації при експлуатації насоса подачі живильної води парогенераторів

Основним негативним фактором, що негативно впливає на усіх працівників АЕС, є радіаційне випромінювання. Тому основну увагу приділено організації радіаційного захисту а також іншим видам захисту.

АС є безпечною по визначенню, якщо:

- радіаційний вплив від неї на персонал, населення й навколишнє середовище при нормальній експлуатації й при проектних аваріях не приводить до перевищення встановлених величин;
- радіаційний вплив обмежується до прийнятних значень при важких (запроектних) аваріях.

Основні напрямки підвищення безпеки енергоблоків:

- керування течею теплоносія з першого контуру в другий еквівалентним діаметром до 100 мм;

- обмеження залежних відмов устаткування й відмов по загальній причині, викликаних внутрішніми подіями;
- підвищення надійності виконання функцій тепловідводу від реакторної установки через другий контур;
- підвищення надійності захисту першого контуру від високого тиску в холодному стані й від термічного удару;
- підвищення надійності виконання функцій тепловідводу й керування тиском першого контуру.

Безпека у всіх випадках життя в сучасному суспільстві оцінюється ризиком. Ступінь ризику для людини є єдиний універсальний показник безпеки, визнаний повсюдно в усьому світі.

При кількісних оцінках безпеки АЕС повинні враховуватися всі джерела радіоактивності, залежно від інтенсивності яких визначається режим доступу й час перебування у відповідних приміщеннях: полімерні будівельні матеріали, вироби й конструкції; електромагнітні поля; ультразвукове випромінювання; небезпеки споруд з великими прольотами від лавинонебезпечного (прогресуючого) обвалення при аварійних впливах; біологічна небезпека; вибухобезпечність; сейсмічна небезпека; вібраційна небезпека; електробезпечність; склад атмосферного повітря в зоні впливу підприємств, розташованих у міських поселеннях, у тому числі інгредієнти: оксиди азоту, аміак, пил, формальдегід, оксид вуглецю, сірчистий ангідрид, фенол, солі важких металів, хлористий водень.

Розглядаючи список можливих небезпек, бачимо, що частина з них представляє постійно діючі (шум, електромагнітні поля), а інша частина списку може проявитися як результат якихось несправностей або відмов, тобто має випадковий характер.

Для персоналу АЕС важливе значення мають радіаційно-небезпечні роботи (РНР).

Виходячи з досвіду практичної діяльності, встановлюються наступні критерії необхідності розробки програм виконання радіаційно-небезпечних робіт:

- очікувана колективна доза для даної роботи перевищує 0,2 люд.-Зв (людино-зіверт);

- потужність дози від устаткування або матеріалів при виконанні робіт складає не більше $1\text{м}^3/\text{год}$.

Призначенням систем радіаційного захисту є зниження сумарної дози від всіх джерел зовнішнього і внутрішнього опромінювання до рівня, що не перевищує граничнодопустимої дози (ГДД) або межі дози для відповідної категорії населення і персоналу.

Захист персоналу і населення забезпечується рядом таких технічних і організаційних рішень як:

- створення екранів біологічного захисту;
- створення замкнутих контурів з радіоактивними середовищами;
- створення проміжних контурів охолоджуючої води;
- створення організованого збору і очищення радіоактивних протікань;
- підтримка радіаційно-кліматичних умов у виробничих приміщеннях системами вентиляції;
- використання індивідуального устаткування для захисту експлуатаційного персоналу;
- розділення виробничих приміщень на зони строгого і вільного режиму;
- створення герметичної частини в апаратному відділенні для утримування активності, що виділилася, при виникненні аварійних ситуацій;
- створення санітарно-захисної зони навколо АЕС;
- організація радіаційного контролю.

Комплекс систем радіаційного захисту включає: екран біологічного захисту; герметичні приміщення зони строгого режиму; припливно-витяжні вентиляційні системи; фільтри установок спец-водоочищення і спец-вентиляції; спецсховища сухих і рідких радіоактивних відходів; санпропускники; система радіаційного контролю; системи безпеки АЕС (надійне електропостачання, устаткування САОЗ, спринклерна система, герметична оболонка і т.д.); вентиляційна труба.

Технічні засоби контролю небезпечних і шкідливих чинників.

Контроль радіаційної обстановки в обслуговуваних і не обслуговуючих приміщеннях реакторного відділення і спец-корпусу здійснюється персоналом цеху радіаційної безпеки за допомогою системи радіаційного контролю. Ця система складається з датчиків дозиметричного контролю, встановлених в приміщеннях, повітропроводах системи вентиляції, вентиляційних трубах, контрольних баках очищених дебалансних вод і т.д. Інформація з цих датчиків виводиться на центральний щит контролю, що дозволяє оцінити радіаційну обстановку в контрольованій зоні, здійснювати допуск персоналу для виконання тих або інших робіт.

Контроль радіаційної обстановки в 30-ти кілометровій зоні здійснюється лабораторією зовнішньої дозиметрії шляхом відбору проб ґрунту, повітря, води, рослинного і тваринного світу з подальшими дослідженнями цих проб лабораторними методами [3,20,21].

Доза іонізуючого випромінювання, одержана кожним працівником при знаходженні його в зоні «строного» режиму, контролюється за допомогою індивідуальних дозиметрів.

Контроль за вмістом шкідливих речовин у воді ставка-охолоджувача, продувальній воді в районі випуску її в р. Південний Буг, деяких колодязях зливової каналізації на території АЕС ведеться шляхом систематичного відбору проб і аналізу їх в лабораторії відділу охорони навколишнього середовища.

Індивідуальні і колективні засоби захисту персоналу АЕС.

Індивідуальні засоби захисту вибираються виходячи з чинників, що впливають на організм людини. Для захисту органів дихання застосовуються респіратори, протигази, що фільтрують, ізолюючі кисневі прилади, пневмокостюми, марлеві пов'язки.

Для захисту шкірного покриву тіла від шкідливої дії хімічних і радіоактивних речовин застосовується спеціальний одяг: халати, куртки з брюками, комбінезони, фартухи із спеціальних тканин, рукавички. На шкіру рук перед роботою з шкідливими речовинами наноситься спеціальна захисна паста або крем, які перешкоджають всмоктуванню через шкіру цих речовин.

Для захисту від шуму застосовуються спеціальні проти-шумні навушники або беруші – м'які вкладиші у вигляді тампонів з ультра-тонкого волокна.

Для захисту від шкідливої дії електричної дуги електрозварники застосовують захисні щитки, рукавиці, спеціальний одяг і взуття.

До колективних засобів захисту персоналу АЕС слід віднести:

- пристрій спеціальних захисних щитів в місці виконання ремонтних робіт для захисту від гамма-випромінювання і нейтронного потоку;
- пристрій додаткової вентиляції в місці виконання робіт;
- розміщення робочих місць експлуатаційного персоналу в спеціальних захисних приміщеннях, проти-шумних кабінах;
- пристрій звукопоглинальних кожухів на могутніх джерелах шуму.

Для захисту персоналу на випадок аварії з викидом радіоактивних речовин на АЕС є сховище.

Як бачимо, відносно охорони праці на АЕС також діє принцип мінімізації ризиків, називаний принципом ALARA, тобто всі сфери безпеки перетинаються через спільність цілей – захисту людини (працівника) від небезпечних і шкідливих факторів виробництва.

5.3 Вимоги до безпеки технічного комплексу системи автоматичного регулювання

Технічний комплекс системи автоматичного регулювання (ТК САР) повинен відповідати вимогам ДСТУ «Автоматизовані системи управління. Загальні вимоги».

Приміщення для установки ТК САР повинні бути обладнані системами електроживлення 36 В і 220 В змінного струму.

Розміщення обладнання в приміщенні ТК САР має проводитися таким чином, щоб ширина проходу була не менше 1,5 м.

Система за вимогами захисту людини від уражень електричним струмом відносяться до I-го класу безпеки.

Конструкція і розміщення шаф повинні задовольняти вимогам електробезпеки відповідно до «Правил технічної експлуатації електричних станцій і мереж», вимогам правил пожежної безпеки.

У приміщенні установки ТК САР повинна бути передбачена система пожежогасіння та сигналізації.

Для захисту обслуговуючого персоналу і ТК САР від виникнення різниці потенціалів на контурі заземлення в місцях установки рознесеного обладнання, викликані короткими замиканнями в електричній частині, атмосферними розрядами, протіканням зрівняльних струмів по контуру заземлення і т.п. повинні передбачатися такі заходи:

Апаратура ТК САР повинна бути стійкою до прояву зовнішніх атмосферних, кліматичних та сейсмічних впливів.

Апаратура ТК САР повинна зберігати працездатність і бути стійкою до впливу електромагнітних зовнішніх чинників.

Рівень випромінюваних апаратурою ТК САР перешкод по ланцюгах первинного живлення не повинні перевищувати встановлених нормами значень.

Імовірність пожежі - $1 \cdot 10^{-6}$ на рік.

Рівень шуму - менше 80 дБ.

5.4 Висновки до розділу 5:

- проаналізовані небезпечні і шкідливі виробничі фактори при експлуатації електропривода насосного агрегата подачі живильної води;
- наведені правила безпечної експлуатації засобів автоматизації при експлуатації насосного агрегата подачі живильної води парогенераторів.

ВИСНОВКИ

Кваліфікаційна робота магістра присвячена аналізу роботи системи керування електропривода насосного агрегату подачі аварійної живильної води до парогенераторів АЕС.

У відповідності з поставленою метою в роботі проведений літературний огляд джерел за темою, виконаний аналіз сучасного стану перетворювальної приводної техніки, обґрунтована актуальність задач модернізації електроприводів систем забезпечення власних потреб енергоблоків АЕС.

Побудована структурно-логічна схема магістерського дослідження, як метод розрахунку задачі дослідження вибраний метод математичного моделювання, який дозволяє досліджувати перехідні режими в електроприводі.

В якості об'єкту дослідження вибраний електропривод насосного агрегата ПЭА150-85 подачі живильної води до парогенераторів, наведені його дані.

Проаналізовані відомі методи керування електричними приводами насосних агрегатів, які призводять до зменшення споживаної ними енергії при забезпеченні потрібного значення продуктивності насосів.

В результаті вибраний економічно доцільний частотний спосіб регулювання продуктивності живильного насосу.

На основі проведеного аналізу для керування асинхронними електродвигунами насосів вибраний частотний перетворювач серії Altivar 6000 .

Для вдосконалення динаміки системи керування складена структурна схема, побудована її розрахункова динамічна модель та проведений аналіз динамічних властивостей дослідженої системи керування.

Проведений аналіз отриманих перехідних процесів показав, що при збільшенні K_{PT} з 2,5 до 10 максимальне перерегулювання системи збільшується з 2,8 % до 33,6 % . Час перехідного процесу збільшується з 4,9 с до 7,4 с при збільшенні K_{PT} з 2,5 до 7,5 і зменшується до 6,7 с при подальшому збільшенні коефіцієнта K_{PT} до 10.

При збільшенні T_{PT} з 0 с до 0,08 с перегулювання системи збільшується з 0 % до 12 %. Час перехідного процесу при цьому зменшується з 8,6 с до 5,4 с при зростанні T_{PT} з 0 с до 0,03 с. При збільшенні T_{PT} з 0,03 с до 0,08 с час перехідного процесу зростає до 8,4 с.

В результаті аналізу були вибрані такі параметри налаштування регулятора:
 $T_{PT} = 0,063$ с; $K_{PT} = 3,06$.

Основні показники якості перехідного процесу складають:

- перерегулювання $\sigma_{\max} = 11,8$ %
- час перехідного процесу $T_{\max} = 7,7$ с.

Такі показники забезпечать плавність ходу електропривода, та його безаварійну роботу.

В роботі проведено аналіз потенційно небезпечних та шкідливих факторів при експлуатації електрообладнання насосного агрегата, наведені заходи щодо їх усунення або зниження відповідно до нормативних вимог.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. **Абраменко, І. Г.** Теорія автоматичного керування: конспект лекцій / І.Г. Абраменко, Д.І. Абраменко. - Харків : ХНАМГ, 2008. - 178 с.
2. **Башарин А. В.** Управление электроприводами / А. В. Башарин, В. А. Новиков, Г. Г. Соколовский – Л. : Энергия, 1982. – 440 с.
3. **Бегун В. В.** Безпека життєдіяльності (забезпечення соціальної, техногенної та природної безпеки), / В. В. Бегун, І. М. Науменко. - Київ, 2004, 328 стор.
4. **Бірта Г. О.** Методологія і організація наукових досліджень. навч. посіб. / Г. О. Бірта, Ю. Г. Бургу – К. : «Центр учбової літератури», 2014. – 142 с.
5. ВВЕР-1000 [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%92%D0%95%D0%A0-1000>
6. **Гераїмчук М. Д.** Моделювання систем у середовищі MATLAB-SIMULINK: Комп'ютерний практикум / М.Д. Гераїмчук, Ю.Ф. Лазарєв, Т.О. Толочко. – К.:, 2006. – 175с.
7. **Горелик А. Х.** Автоматизированные системы управления технологическими процессами ТЭС и АЭС/ А. Х. Горелик. – Харьков.: НТУ ХПИ, 2005.– 244 с.
8. **Грабко, В. В.** Метод та засоби оптимізації роботи електроприводів насосної станції водопостачання: монографія / В. В. Грабко, М. М. Мошноріз. – Вінниця : ВНТУ, 2011. - 138 с.
9. Датчик тиску. - Режим доступу: <http://www.advprocess.com/> Pasport MBS3000.pdf.
10. Двухполюсные асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором с воздуховоздушным охлаждением типа 2АЗМВ1. Каталог электродвигателей предприятия ОАО "Научно-производственное объединение ЭЛСИБ". [Електронний ресурс]: Режим доступу: http://electromotor.com.ua/documentation/Elsib_katalog.pdf.
11. **Дуэль М. А.** Автоматизированное управление объектами и технологическими процессами ТЭС и АЭС / М. А. Дуэль. – Харьков.: ЧП «КиК», 2010. – 448с.

12. **Жидецкий, В. Ц.** Основы охорони праці [Текст] : підручник / В. Ц. Жидецкий. – Львів : Афіша, 2002. – 318 с.

13. **Закладной А. Н.** Энергосбережение средствами промышленного электропривода / А. Н. Закладной, А. В. Праховник, А. И. Соловей. – К. : «ДИЯ», 2001. – 343 с.

14. **Ильинский Н. Ф.** Энергосберегающий электропривод насосов / Ильинский Н. Ф. // Электротехника. – 1995. – № 7. – С. 3–8.

15. **Искендеров А. А.** Задачи выбора оптимальных режимов работы НС // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2004. – №5. – С. 62-64.

16. **Ключев В. И.** Теория электропривода : учебник для студ. вузов. 3–е изд., переаб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 2001. – 714 с.

17. Культура безпеки в ядерній енергетиці: Підручник. / В.В. Бегун, С.В. Широков, С.В. Бегун, Є.М. Письменний, В.В. Литвинов, І.В. Казачков. – К., 2012. 563 с.- Рос. мовою.

18. **Лезнов Б. С.** Энергосбережение и регулируемый электропривод в насосных установках / Б. С. Лезнов. - М.: ИК «Ягорба» - «Биоинформ-сервис», 1998.

19. Насоси для атомних станцій. Живильні насоси / АТ «СМНВО-Інжиніринг» [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://frunze.com.ua/produkcija-3/energetichne-obladnannya/> .

20. Описание систем, важных для безопасности АЭС с реактором ВВЭР-1000: Уч. Пособие для студентов технических вузов Украины/ В.В.Бегун, В.А.Кондратюк, А.В.Лысенко и др.- К.: ТЭФ НТУУ «КПИ», 2009.-297 с..

21. ПНАЭ Г-7-008-89. Правила устройства и безопасной эксплуатации оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок. 2-е изд., испр. и доп. Госатомэнергонадзор СССР.- М.: Энергоатомиздат, 1990.-168 с

22. Положение о системе управления охраной труда в ОП "Южно-Украинская АЭС" (СУОТ) ПЛ.0.0029.0020.

23. Преобразователи частоты Altivar Process MV ATV6000. Каталог. 03/2019. [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://www.electrocentr.com.ua/produ.../products/motion-controls/schneider->

[electric/altivar/atv6000.html#documentation](http://electric.altivar/atv6000.html#documentation) .

24. Регульований електродпривод: Підручник / **І.М. Голодний**, Ю.М. Лавріненко, В.В. Козирський, Л.С. Червінський, Д.А. Абдураманов, А.В. Торопов, О.В. Санченко; За ред. І.М. Голодного. – К.: ТОВ "ЦП "Компринт", 2015. – 509 с.

25. Сучасні перетворювачі частоти в системах електродпривода : навч. посібник / **М. В. Загірняк**, Т. В. Коренькова, А. П. Калінов, А. І. Гладир, В. Г. Ковальчук. – 2-ге вид., переробл. і доповн. – Харків: Видавництво «Точка», 2017. – 206 с.

26. **Терехов В. М.** Системы управления электродприводов: учебник для студ. высш. учеб. Заведений / В. М. Терехов, О. И. Осипов; под ред. В. М. Терехова. - 2 - е изд., стер. - М. : Издательский центр "Академия", 2006. – 304 с.

27. [Електронний ресурс]: Режим доступу:
<http://www.abb.ua/product/ru/9AAC100211.aspx?country=UA>

28. [Електронний ресурс]: Режим доступу:
http://www.lenze.org.ua/?inc=inverters/01_inv/01a_privod_Lenze

29. [Електронний ресурс]: Режим доступу: <http://www.mitsubishi-automation.ru/>

30. [Електронний ресурс]: Режим доступу: <http://www.schneider-electric.ua/ukraine/ua/products-services/automation-control> .

ДОДАТОК А

Мультимедійна презентація

Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки

Кирпа Олексій Миколайович

Кваліфікаційна робота магістра на тему:

"Дослідження частотної системи керування електропривода
насосного агрегату подачі аварійної живильної води до
парогенераторів АЕС"

Керівник роботи – Васильєв О.Г.

Слайд 1 мультимедійної презентації

АКТУАЛЬНІСТЬ, МЕТА І ЗАДАЧІ РОБОТИ

Актуальність теми. В Україні атомні електричні станції, забезпечують промисловість, сільське господарство, соціально-побутовий сектор економіки та населення електричною енергією.

Ресурси органічного палива обмежені, вартість його імпорту висока, тому велика роль у виробленні енергоресурсу країни припадає на енергетику АЕС, а використання ядерних джерел енергії стає економічно й екологічно виправданим.

В якості електроприводів насосів для перекачування рідин і газів енергоблоків АЕС в основному застосовуються нерегульовані приводи, що не дозволяє забезпечити сталість роботи устаткування та надійність у керуванні системою.

Актуальність теми магістерської роботи обумовлена гостротою проблеми сталості продуктивності нагнітачів та збільшення ресурсу фільтрів.

Тому модернізація системи керування з метою заміни релейно-контакторної системи керування електроприводом насосного агрегату на регульований електропривод є актуальною темою

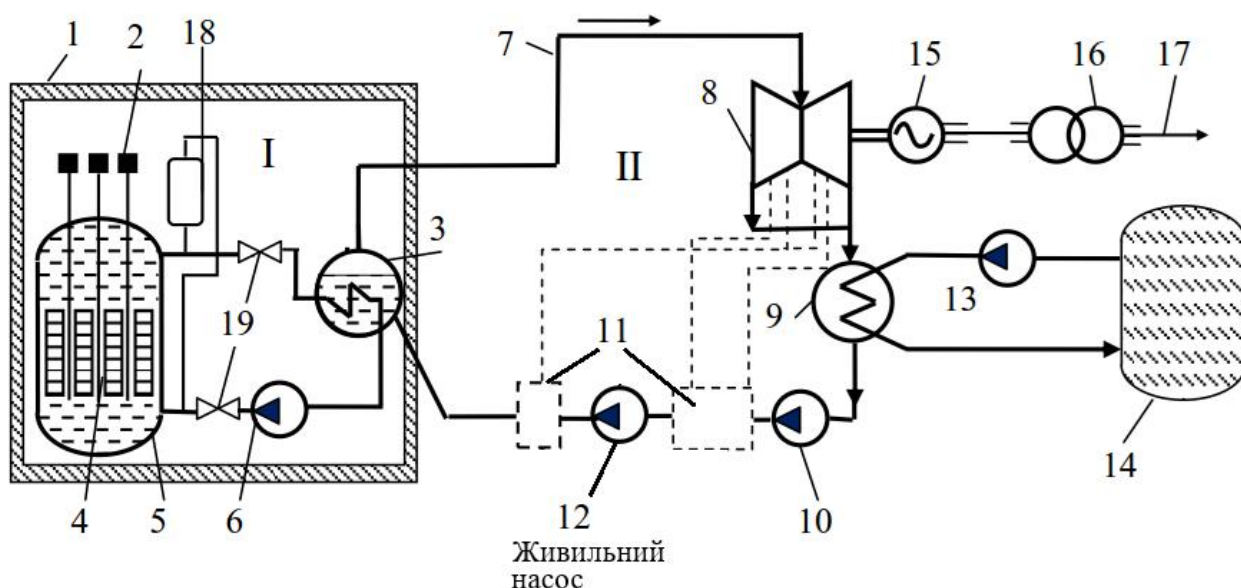
Мета роботи – удосконалення автоматизованого електропривода насосного агрегату подачі аварійної живильної води до парогенераторів АЕС.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- сформулювати закон керування електроприводом регульованого насосного агрегату, який дозволить забезпечити потрібне значення продуктивності;
- розробити математичну модель технологічної схеми НА, на основі якої можуть вирішуватися задачі енергозберігаючого керування режимом роботи технологічного обладнання НА;
- виконати теоретичне і комп'ютерне дослідження значень основних показників якості роботи САК;
- проаналізувати результати моделювання й обґрунтувати правильність вибору системи керування електропривода насосного агрегату подачі живильної води до парогенераторів АЕС.

Об'єкт дослідження - процес автоматизованого керування електричними приводами насосного агрегату подачі живильної води в умовах Південноукраїнської АЕС.

СПРОЩЕНА ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА ЕНЕРГОБЛОКА АЕС З РЕАКТОРОМ ВВЕР-1000

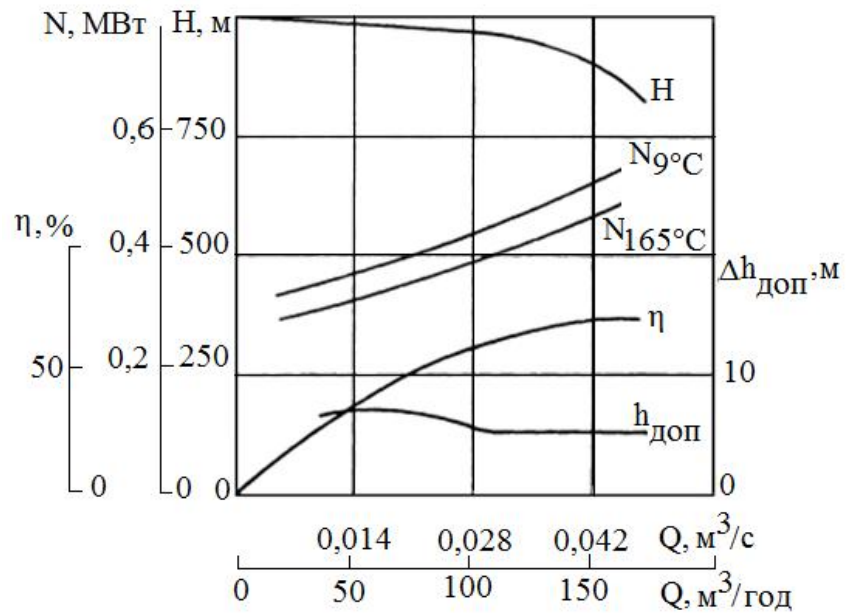
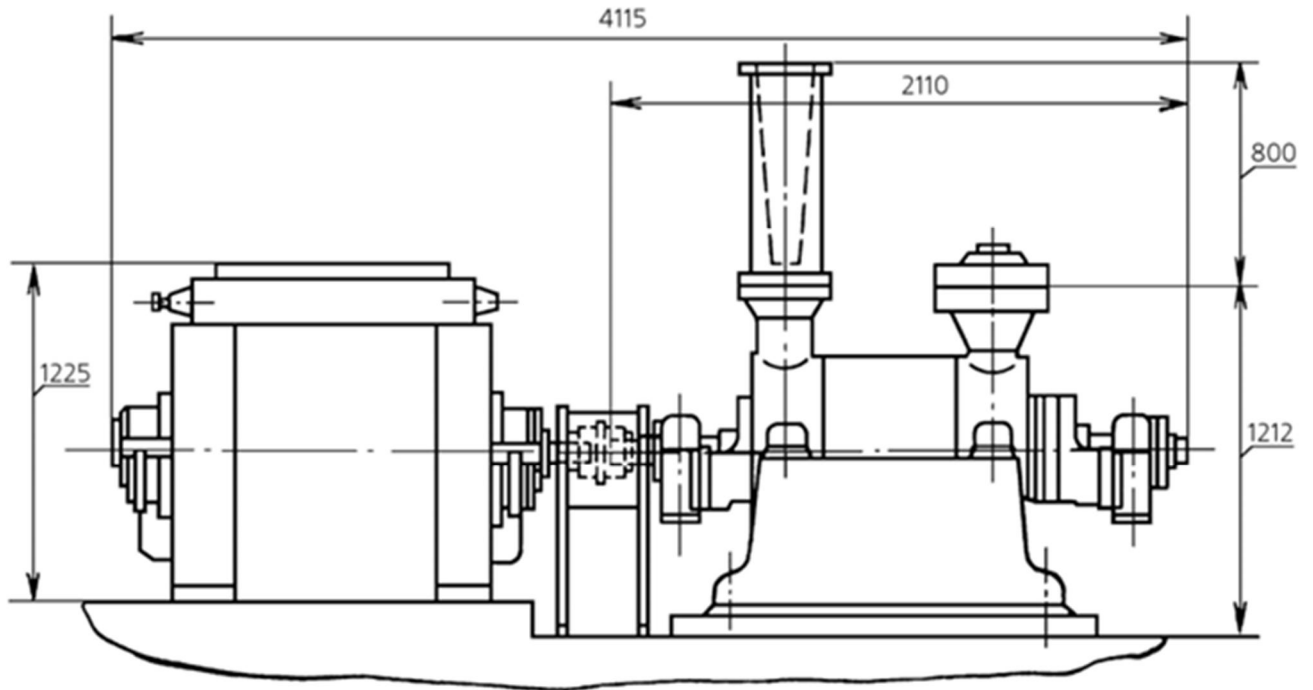


1 – захисна оболонка реактора (герметичний бокс); 2 – система управління і захисту (СУЗ); 3 – **ПАРОГЕНЕРАТОР**; 4 – паливо; 5 – корпус реактора; 6 – головний циркуляційний насос (ГЦН); 7 – паропровід; 8 – парова турбіна; 9 – конденсатор; 10 – конденсатний насос; 11 – система водопідготовки і регенеративного підігрівання конденсату; 12 – **ЖИВИЛЬНИЙ НАСОС**; 13 – циркуляційний насос; 14 – водосховище-охолоджувач; 15 – генератор електричного струму; 16 – блоковий трансформатор, що підвищує напругу; 17 – лінія електропередачі (ЛЕП) зв'язку з енергосистемою; 18 – паровий компенсатор тиску (ПКД); 19 – головні запірні засувки (ГЗЗ);
I, II – перший та другий контури відповідно



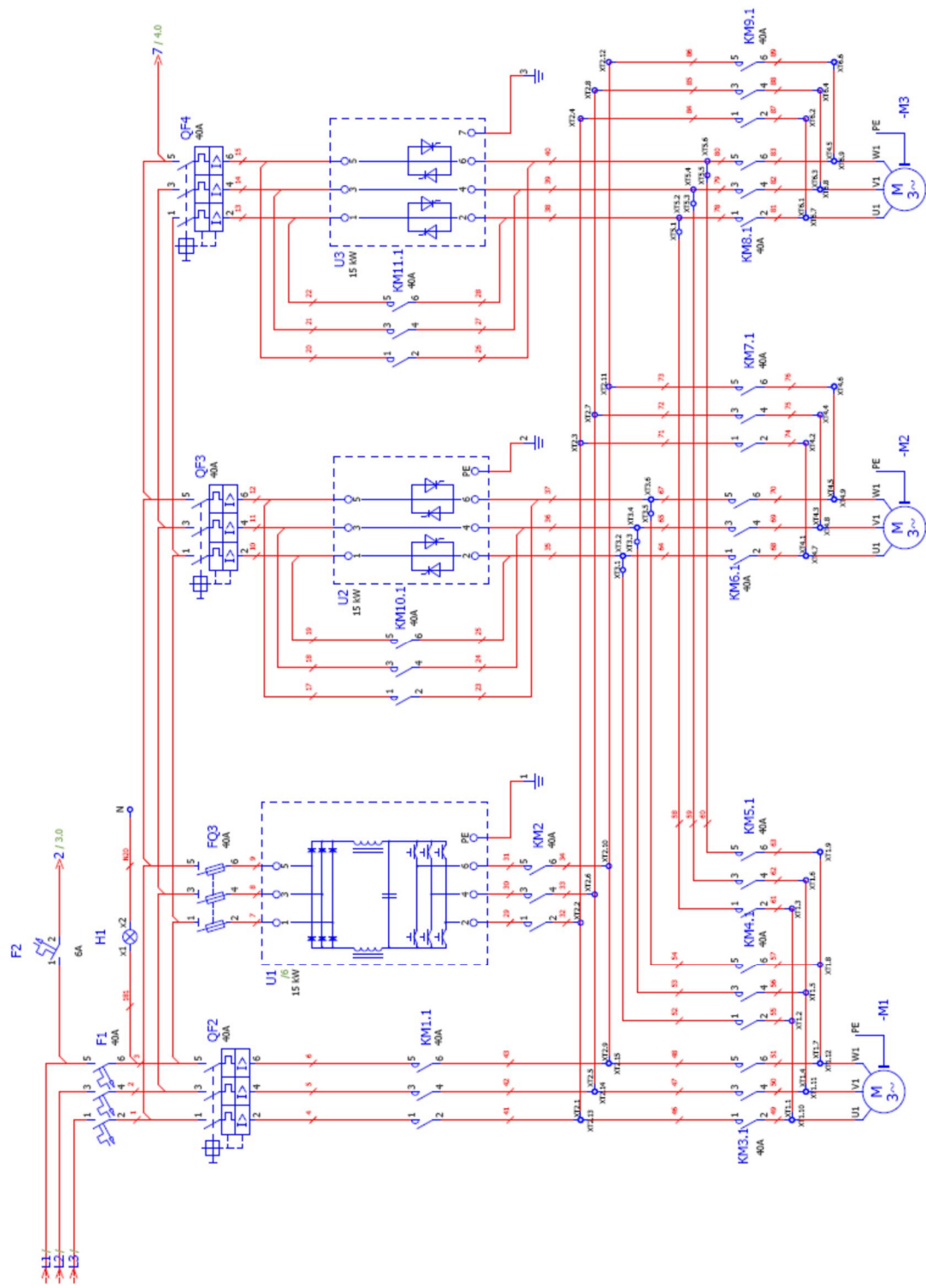
Загальний вид насосного агрегата

НАСОСНИЙ АГРЕГАТ ПЭА150-85 ПОДАЧІ ЖИВИЛЬНОЇ ВОДИ ДО ПАРОГЕНЕРАТОРІВ АЕС



Гідравлічна характеристика насоса ПЭА 150-85

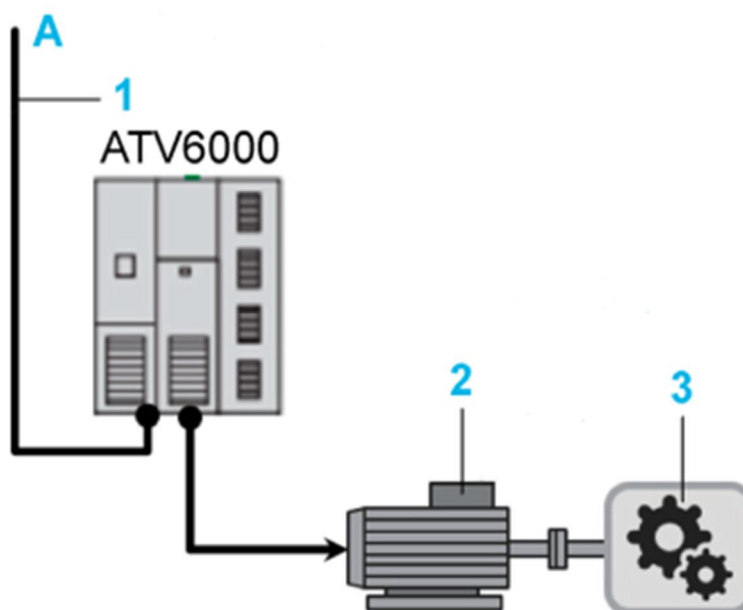
ЕЛЕКТРИЧНА СХЕМА ПІДКЛЮЧЕНЬ НАСОСІВ ПОДАЧІ ЖИВИЛЬНОЇ ВОДИ ДО ПАРОГЕНЕРАТОРІВ АЕС



СТРУКТУРНО-ЛОГІЧНА СХЕМА МАГІСТЕРСЬКОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

Дослідження й розробка системи керування електропривода насосного агрегата подачі живильної води до парогенераторів АЕС	
Складання індивідуального календарного плану роботи	
Пошук літератури за темою, її аналіз, складання бібліографії	
Підготовка теоретичної частини	Аналіз сучасного стану теплоенергетики. Актуальність вирішення задачі енерго- і ресурсозбереження об'єктів насосного агрегата
	Опис, принцип дії, робота та технічні характеристики об'єкту модернізації
	Розгляд існуючої системи керування електропривода насосного агрегата, аналіз недоліків релейно-контакторної схеми керування електроприводами насосів
	Аналіз існуючих типів приводів
	Вибір економічно доцільного способу регулювання продуктивності насосного агрегата
	Вибір перспективного частотного перетворювача, структурно і функціонально рекомендованого для керування асинхронними електродвигунами живильних насосів
Опис процесу дослідження	Моделювання перехідних процесів та аналіз результатів
	Математичне моделювання
Узагальнення результатів моделювання	Інтерпретація отриманих результатів дослідження
	Формулювання висновків
Узагальнення науково-теоретичних результатів	
Розробка заходів з охорони праці, охорони навколишнього середовища	
Реалізація отриманих результатів у навчальний процес	

ПЕРЕТВОРЮВАЧ ЧАСТОТИ ALTIVAR PROCESS MV ATV6000



Структура електропривода з перетворювачем Altivar 6000

A - мережа живлення;

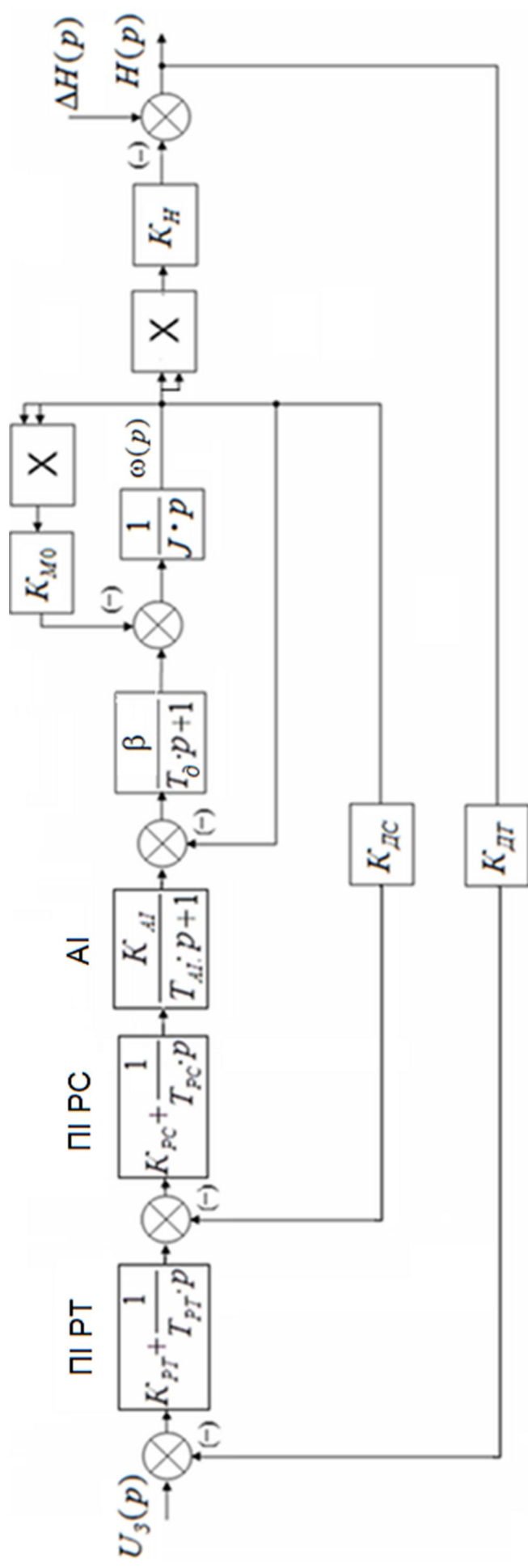
1 - перетворювач частоти (струм, напруга та потужність, споживані з мережі);

2 - електродвигун (струм, напруга, частота обертання, температура обмоток та підшипників, споживання електроенергії);

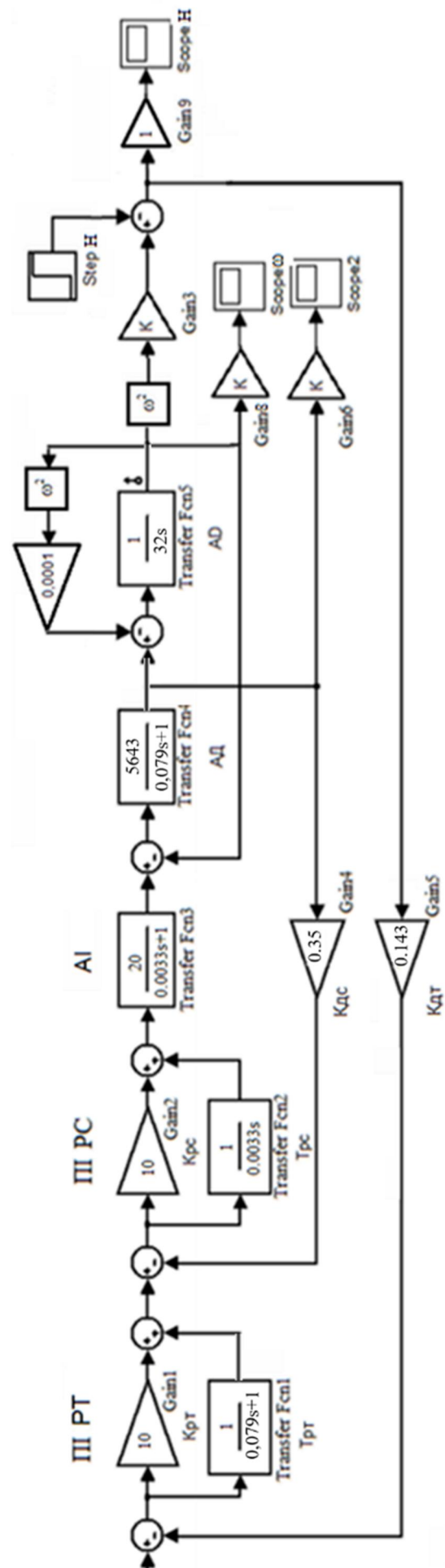
3 - механізм (для насоса - перевантаження та низьке навантаження, заклинювання, кавітація, витрата, тиск, точка максимального ККД)

Перетворювач частоти ATV6000D890A6060	Нормальний режим роботи	Важкий режим роботи
Розрахункова потужність ЕД, кВт	710	670
Тривалий вихідний струм, А	81,7	78
Номінальна напруга ЕД, В	6000	
Повна потужність, кВА	890	
Закони керування	- U/f векторне керування в розімкнутій та замкнутій системі; - стандартний закон керування	

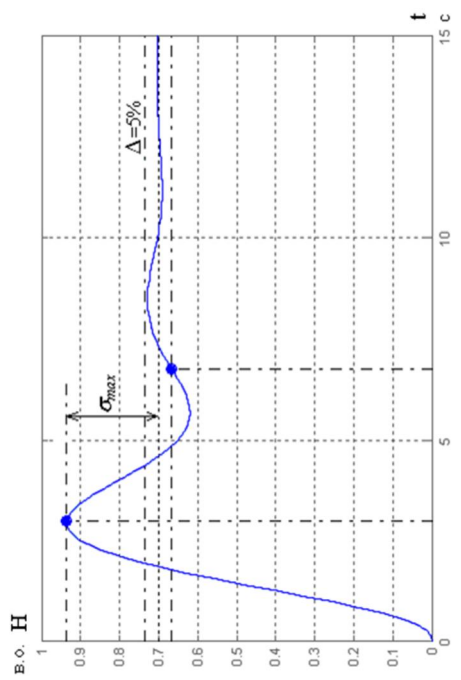
СТРУКТУРНА СХЕМА ДВОКОНТУРНОЇ СИСТЕМИ ПІДЛЕГЛОГО КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ІЗ ВНУТРІШНІМ КОНТУРОМ СТРУМУ ТА ЗОВНІШНІМ КОНТУРОМ ТИСКУ



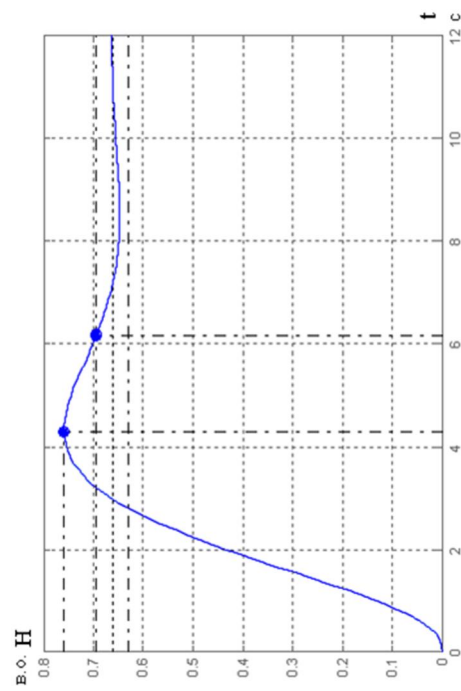
РОЗРАХУНКОВА СТРУКТУРНА СХЕМА



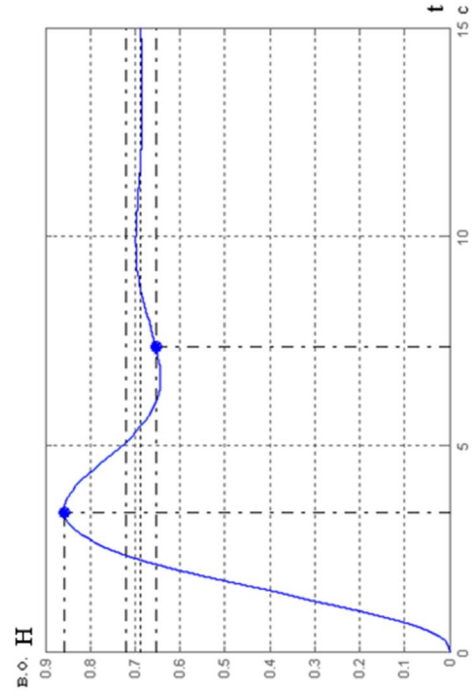
АНАЛІЗ ДИНАМІКИ САК



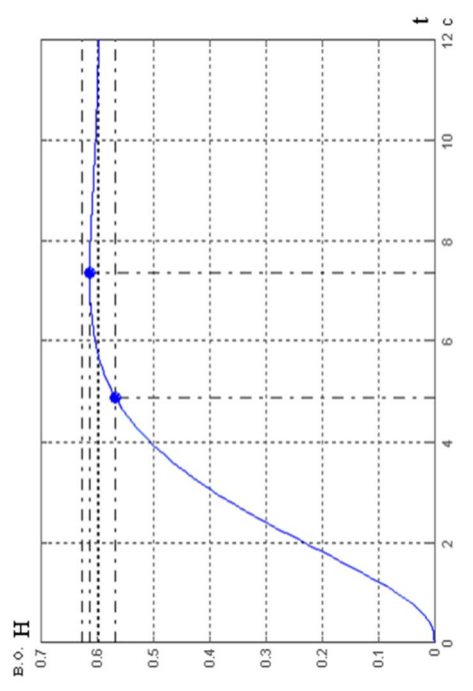
Перехідна характеристика при $T_{PT} = 0,079 \text{ c}$ і $K_{PT} = 10$



Перехідна характеристика при $T_{PT} = 0,079 \text{ c}$ і $K_{PT} = 5$

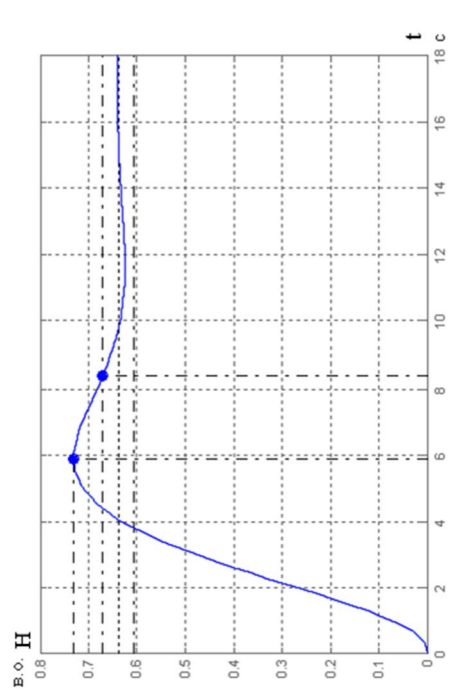


Перехідна характеристика при $T_{PT} = 0,079 \text{ c}$ і $K_{PT} = 7,5$

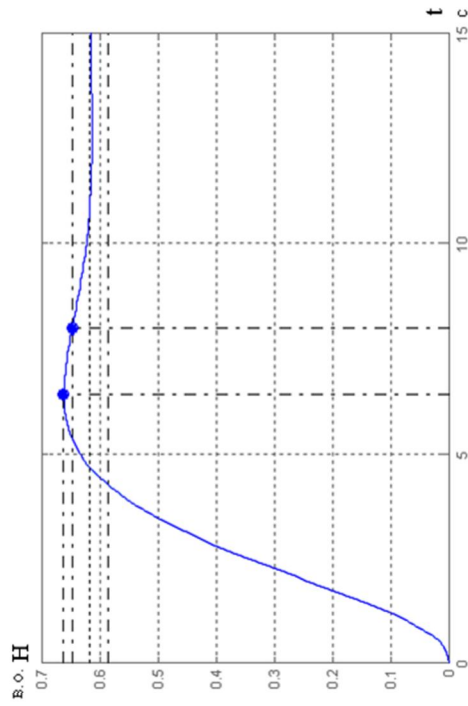


Перехідна характеристика при $T_{PT} = 0,079 \text{ c}$ і $K_{PT} = 2$,

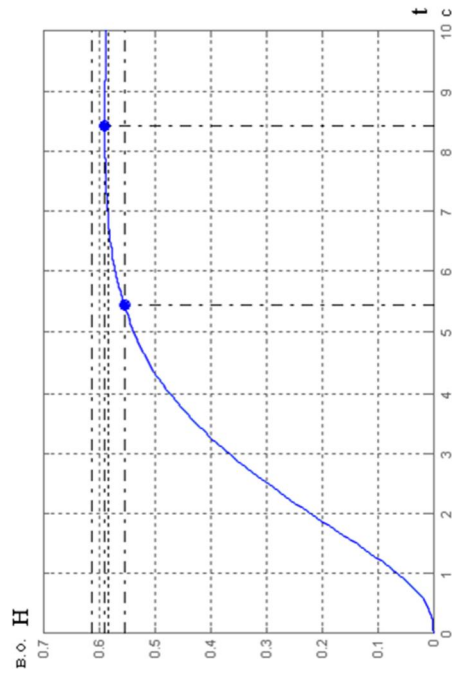
АНАЛІЗ ДИНАМІКИ САК



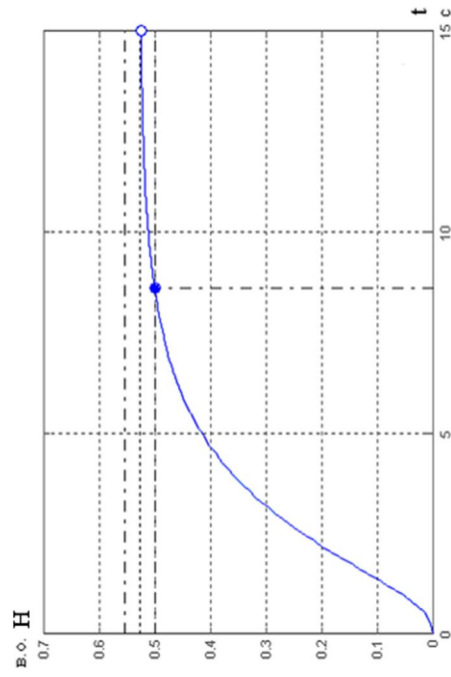
Перехідна характеристика при $T_{PT} = 0,02 \cdot c \cdot i \cdot K_{PT} = 3,06$



Перехідна характеристика при $T_{PT} = 0,04 \cdot c \cdot i \cdot K_{PT} = 3,06$

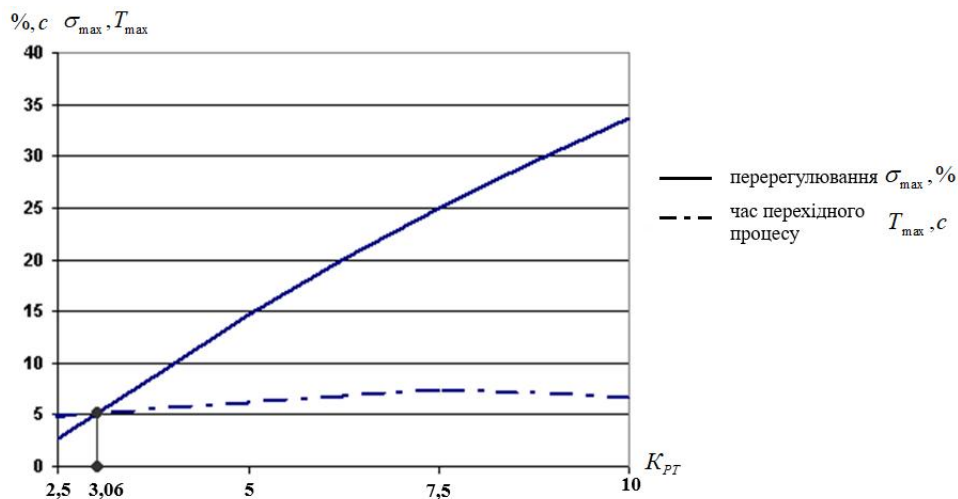


Перехідна характеристика при $T_{PT} = 0,06 \cdot c \cdot i \cdot K_{PT} = 3,06$

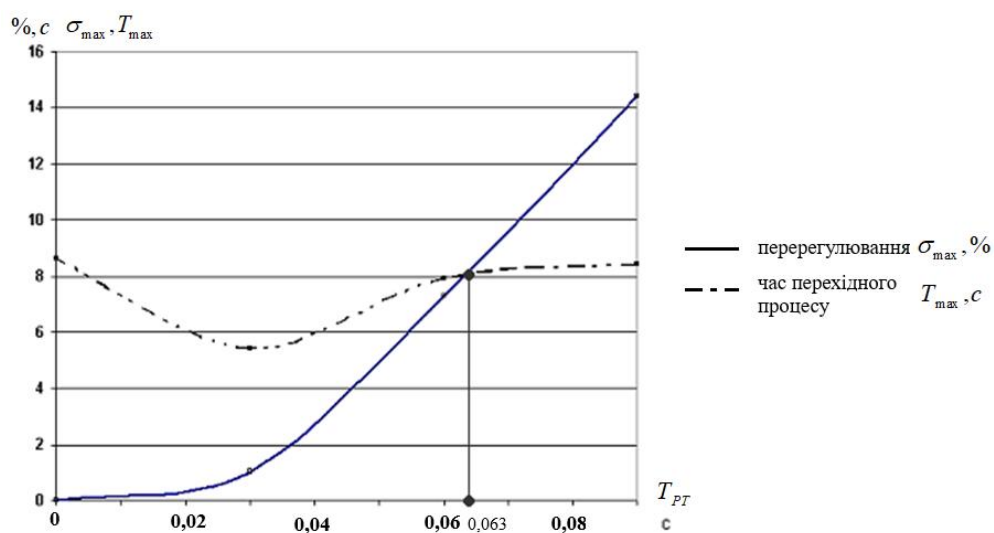


Перехідна характеристика при $T_{PT} = 0,08 \cdot c \cdot i \cdot K_{PT} = 3,06$

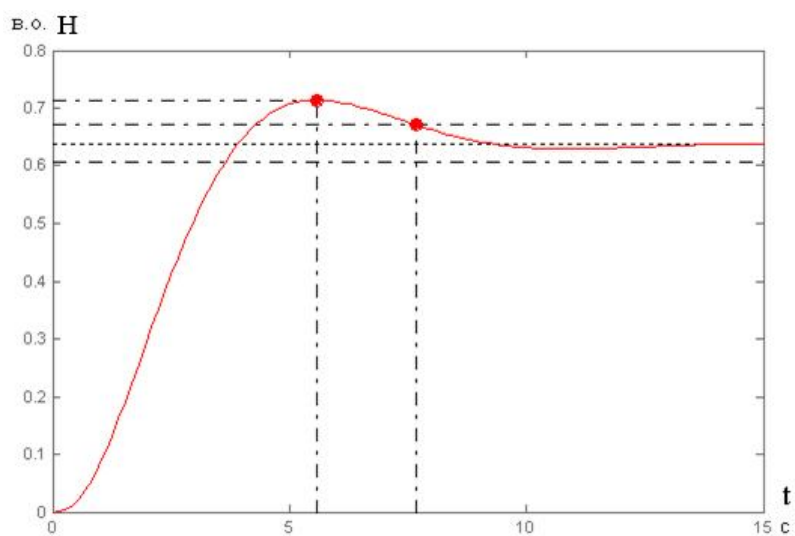
АНАЛІЗ ДИНАМІКИ САК



Залежність $\sigma_{\max}(K_{PT})$ і $T(K_{PT})$ при $T_{PT} = \text{const}$



Залежність $\sigma_{\max}(T_{PT})$ і $T(T_{PT})$ при $K_{PT} = \text{const}$



Перехідна характеристика з вибраними параметрами $T_{PT} = 0,063$ с і $K_{PT} = 3,06$

Слайд 13 мультимедійної презентації

ВИСНОВКИ

Магістерська робота присвячена аналізу роботи системи подачі живильної води до парогенераторів АЕС.

У відповідності з поставленою метою в роботі проведений літературний огляд джерел за темою, виконаний аналіз сучасного стану перетворювальної приводної техніки, обґрунтована актуальність задач модернізації електроприводів систем забезпечення власних потреб енергоблоків АЕС.

Побудована структурно-логічна схема магістерського дослідження, як метод розрахунку задачі дослідження вибраний метод математичного моделювання, який дозволяє досліджувати перехідні режими в електроприводі.

В якості об'єкту дослідження вибраний електропривод насосного агрегата ПЭА150-85 подачі живильної води до парогенераторів, наведені його дані.

Проаналізовані відомі методи керування електричними приводами насосних агрегатів, які призводять до зменшення споживаної ними енергії при забезпеченні потрібного значення продуктивності насосів.

В результаті вибраний економічно доцільний частотно-струмовий спосіб регулювання продуктивності живильного насосу.

На основі проведеного аналізу для керування асинхронними електродвигунами насосів вибраний частотний перетворювач серії Altivar 6000 .

Для вдосконалення динаміки системи керування складена структурна схема, побудована її розрахункова динамічна модель та проведений аналіз динамічних властивостей (параметричний синтез) дослідженої системи керування.

Проведений аналіз отриманих перехідних процесів показав, що при збільшенні K_{PT} з 2,5 до 10 максимальне перерегулювання системи збільшується з 2,8 % до 33,6 % . Час перехідного процесу збільшується з 4,9 с до 7,4 с при збільшенні K_{PT} з 2,5 до 7,5 і зменшується до 6,7 с при подальшому збільшенні коефіцієнта K_{PT} до 10.

При збільшенні T_{PT} з 0 с до 0,08 с перерегулювання системи збільшується з 0 % до 12 %. Час перехідного процесу при цьому зменшується з 8,6 с до 5,4 с при зростанні T_{PT} з 0 с до 0,03 с. При збільшенні T_{PT} з 0,03 с до 0,08 с час перехідного процесу зростає до 8,4 с.

В результаті аналізу були вибрані такі параметри налаштування регулятора тиску: $T_{PT} = 0,063$ с; $K_{PT} = 3,06$.

Основні показники якості перехідного процесу складають:

- перерегулювання $\sigma_{\max} = 11,8$ %
- час перехідного процесу $T_{\max} = 7,7$ с.

Такі показники забезпечать плавність ходу електропривода, та його безаварійну роботу.

В роботі розглянуті питання охорони праці.

Слайд 14 мультимедійної презентації