НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ОДЕСЬКА МОРСЬКА АКАДЕМІЯ»
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ АВТОМАТИКИ ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКИ

Кафедра електричної інженерії та електроніки

ДИПЛОМНА РОБОТА МАГІСТРА

на тему:

«ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ ТАНКЕРУ ДЕДВЕЙТОМ 112 ТИСЯЧ ТОН»

Виконав: студент 6 курсу, групи 3601
спеціальності:
271 – «Річковий та морський транспорт»
Спеціалізація: «Експлуатація суднового електрообладнання і засобів автоматики»
Цибух А.О.

допущений до захисту 17.12.2021

Завідувач кафедри Муха Н.Й.

Керівник Муха Н.Й.

Нормоконтроль Самонов С.Ф.

Рецензент Гвоздева І.М.

Одеса – 2021

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ОДЕСЬКА МОРСЬКА АКАДЕМІЯ»

Навчально-науковий інститут автоматики та електромеханіки

Спеціалізація: Експлуатація суднового електрообладнання і засобів автоматики

Кафедра електричної інженерії та електроніки

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедрою СЕМ і ЕТ

_____ Муха Н.Й.

«01» 10 2021 р.

ЗАВДАННЯ

До дипломної роботи магістра

Цибух Андрій Олексійович

Тема магістерської роботи

1. «Енергоефективність системи охолодження танкеру дедвейтом 112 тисяч тон».
   Керівник роботи Муха Н.Й.,
   затверджена наказом ректора академії від «07» 12 2021 р. № 1913
2. Термін здачі курсантом закінченої роботи до 17.12 2021 р.
3. Вихідні дані до роботи: суднова документація та нормативні документи.
4. Зміст дипломної роботи (перелік питань, що підлягають розробці) освітньо-кваліфікаційного рівня «магістр», спеціальності 271 річковий та морський транспорт:
   4.1. аналіз існуючих суднових систем охолодження і методів їх управління;
   4.2. розробка алгоритму управління електродвигунами насосів забортної води, оснащених ЧРЕП, що підвищують їх експлуатаційні характеристики;
   4.3. обґрунтування і вибір частотно-регульованого електроприводу насосів забортної води з функцією енергозбереження;

4.4. аналіз експериментальних даних;

5. Консультанти по роботі, з вказівками розділів роботи, що до них відносяться

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис і дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1. Аналіз суднової системи охолодження, основні методи регулювання.	Муха Н.Й. д.т.н., професор	01.11.2021	12.11.2021
2. Розробка моделі системи автоматичного регулювання електродвигуна насосного агрегату	Муха Н.Й. д.т.н., професор	22.11.2021	03.12.2021
3.Обгрунтуваняя і вибір системи для частотно-регульованого електроприводу насосів забортної води з функцією енергозбереження.	Муха Н.Й. д.т.н., професор	04.12.2021	18.12.2021

Дата видачі завдання: “ 1 ” 11 2021 року

Керівник _____

Завдання прийняв до виконання Индус А.О.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітки
1	Аналіз основних проблем енергоефективності та методів її покращення.	19.10.2021-29.10.2021	
2	Аналіз суднової системи охолодження.	02.11.2021-16.11.2021	
3	Розробка моделі системи ЧРЕП.	23.11.2021-26.11.2021	
4	Обґрунтування і вибір системи для ЧРЕП.	26.11.2021-29.11.2021	
5	Аналіз експериментальних даних.	29.11.2021-30.11.2021	

Курсант-дипломник_____ Цибух А.О.

Керівник роботи_____ Муха Н.Й.

РЕФЕРАТ

Енергоефективність системи охолодження танкеру дедвейтом 112 тисяч тон

Дипломна робота магістра: стр., рис., табл., додаток , джерел

Основна мета даної роботи – розглянути методи модернізації систем електроприводу насосів забортної води, розробки і впровадження алгоритму енергоефективного керування асинхронними двигунами насосів з використання частотно-регульованого електроприводу(ЧРЕП).

Для досягнення цієї мети був розглянутий сучасний стан проблем енергоефективності , та вплив енергоефективності на екологію. Розглянуті основні системи охолодження судна, усі проблеми в методах їх регулювання. Обґрунтована доцільність використання частотно регульованого електроприводу. Розрахована математична модель АД і проведено моделювання з використанням засобів моделювання системи Matlab і інструментальних засобів цієї системи: програмного пакету Simulink. Для керування ЧРЕП була обрана система ESS(Energy saving system) , яка за допомогою ПЛК і набору датчиків контролює параметри системи охолодження. З аналізу практичних даних що система ESS зберігає до 75% електроенергії , що повністю задовольняє усі цілі цієї роботи.

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, ПРИВОД НАСОСУ, ЧАСТОТНЕ УПРАВЛІННЯ, ЧАСТОТНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ, ВЕКТОРНЕ УПРАВЛІННЯ

ABSTRACT

Energy efficiency of the cooling system of a tanker with a deadweight of 112 thousand tons

Master's thesis: pages, figures, tables, appendix, sources

The main goal of this work is to consider the methods of modernization of electric drive systems for seawater pumps, development and implementation of an algorithm for energy-efficient control of asynchronous pump motors using a frequency-controlled electric drive VFD.

To achieve this goal, the current state of energy efficiency problems and the impact of energy efficiency on the environment were considered. The main cooling systems of the ship, all the problems in the methods of their regulation are considered. The expediency of using a frequency-controlled electric drive has been substantiated. A mathematical model of blood pressure was calculated and modeling was performed using the modeling tools of the Matlab system and the instrumentalities of this system: the Simulink software package. To control the VFD, the ESS (Energy saving system) system was chosen, which, using a PLC and a set of sensors, controls the parameters of the cooling system. From the analysis of practical data, the ESS system stores up to 75% of the electricity, which fully satisfies all the goals of this work.

ENERGY EFFICIENCY, PUMP DRIVE, FREQUENCY CONTROL, FREQUENCY CONVERTER, VECTOR CONTROL

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АД – асинхронний двигун

ККД – коефіцієнт корисної дії

ПЧ – перетворювач частоти

ЧРЕП – частотно-регульований електропривод

ДПС – двигун постійного струму

NOx – оксиди азоту

SOx – оксиди сірки

CO2 – діоксид вуглецю

VFD - variable frequency drive

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....**Ошибка! Закладка не определена.**

ВСТУП .....**Ошибка! Закладка не определена.**

1 СУЧАСНИЙ СТАН ПРОБЛЕМИ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ І ЕКОЛОГІЇ В МОРЬСКОМУ ТРАНСПОРТІ , ТЕХНІЧНО-ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СУДНА.. **Ошибка! Закладка не определена.**

1.1 Актуальність підвищення енергоефективності морського транспорту .....**Ошибка! Закладка не определена.**

1.2 Техніко-експлуатаційні характеристики судна…….**Ошибка! Закладка не определена.**

2 СУЧАСНИЙ СТАН ПРОБЛЕМИ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ І ЕКОЛОГІЇ В МОРЬСКОМУ ТРАНСПОРТІ , ТЕХНІЧНО-ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СУДНА .....**Ошибка! Закладка не определена.**

2.1 Типові системи охолодження.....**Ошибка! Закладка не определена.**

2.2 Методи регулювання …….. **Ошибка! Закладка не определена.** .....**Ошибка! Закладка не определена.**

3. РОЗРОБКА МОДЕЛІ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОДВИГУНА НАСОСНОГО АГРЕГАТУ .....**Ошибка! Закладка не определена.**

3.1 Модель асинхронного електродвигуна, підтримуюча реалізацію різних алгоритмів управління…… **Ошибка! Закладка не определена.**

3.2 Модель векторного керування АД .....**Ошибка! Закладка не определена.**

Висновки до розділу 3.....**Ошибка! Закладка не определена.**

4.ОБҐРУНТУВАННЯ І ВИБІР СИСТЕМИ ДЛЯ ЧАСТОТНО-РЕГУЛЬОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ НАСОСІВ ЗАБОРТНОЇ ВОДИ З ФУНКЦІЄЮ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ .....**Ошибка! Закладка не определена.**

4.1. Енергозберігаюча комп’ютерна система оптимізації центральної установки охолодження судна

4.2 Режим інвертора

4.3 Ручний режим інвертора

4.4 Режим обходу Автоматична зміна та автоматичний запуск (By-pass Mode Auto Change & Auto Start)

4.5 Блок-діаграма ESS

4.6.Захист системи охолодження системи морської води (Cooling Seawater System Protection)

4.7 Робота системи енергозбереження ESS

4.8. Дані реального моніторингу

4.2 Методи визначення (ідентифікації) статичних (дросельних) характеристик ДГУ**Ошибка! Закладка не определена.**

Висновки до розділу 4.....**Ошибка! Закладка не определена.**

ВИСНОВКИ..... 55

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....**Ошибка! Закладка не определена.**

ВСТУП

Енергоефективність можна визначити як зниження енергоспоживання без зниження кількості та якості продукції або послуг. В цьому відношенні енергоефективність у промисловості розглядається як запобігання витрат енергії в системах опалення і охолодження, насосних і компресорних установках.

Донедавна енергоефективність суднових допоміжних систем не розглядалася у процесі проектування чи будівництва морських суден. З цієї причини системи на існуючих судах не є енергоефективними та не були повністю оптимізовані для мінімізації загальної витрати палива. Багато судів, що у цей час у виробництві, продовжують будуватися без особливої уваги до енергоефективним рішенням. Крім того, верфі зазвичай не фокусуються на довгостроковій вартості володіння судном. Якщо тільки власники не визначать технології, які мають бути включені до специфікації, можливості енергоефективності судна будуть обмежені.

Дослідження показує, що насоси берегових енергоустановок споживають 20% усієї виробленої енергії. Показано, що 20-30% енергії, що споживається насосами може бути заощаджена тільки при деяких незначних змінах в конструкції систем [1]. Таким чином, модернізація насосів та насосних систем має велике значення з точки зору енергоефективності в різних промислових секторах.

Суднові насоси входять майже до усіх систем машинного відділення. За останніми розрахунками насоси та насосні установки споживають майже 50% електроенергії, що виробляється на борту судна. Це дуже велика частина загальної потужності. Порівнюючи з береговими установками (споживання яких становлять 20%, від всієї), важливість модернізації і оптимізації керування насосних установок на судах очевидна.

Близько 80% всіх насосів на борту суден є відцентровими насосами. Цей вид насоса має ті ж робочі характеристики, що й вентилятор. Вентилятори використовуються для вентиляції в машинному відділенні, на автомобільній палубі, в вантажних приміщеннях і інших місцях, де необхідна примусова вентиляція.

При роботі з відцентровим насосом або вентилятором можна добитися досить значного зниження енергоспоживання навіть при невеликому зниженні оборотів насоса.

Кавітації - ще одна важлива проблема, коли мова йде про насоси і розміри насосів. Якщо насос занадто великий, усмоктувальна здатність дуже низька, а ризик кавітації дуже високий. Кавітації з'являються в результаті випаровування рідини, коли статичний тиск падає нижче фактичного тиску пару всередині насоса. Кавітації всередині насоса завдають реальної шкоди матеріалу, особливо робочим колесам, яке часто сильно пошкоджуються. Пошкодження крильчатки в деяких випадках може привести до виходу насоса з ладу протягом декількох місяців. При використанні ЧРЕП для зменшення швидкості насоса ви зменшуєте ймовірність кавітації і ризик пошкодження насоса.

Безумовно, найбільш часто використовувані регулятори продуктивності в насосах - це регулятори дросельної заслінки і перепускні контури для контролю температури. Як наслідок, насоси працюють при 100% - ому навантаженні безперервно, навіть при тому, що вимога в дійсності буде в середньому близько 40%. Використання цих застарілих методів управління настільки ж малоефективно, як і управління швидкістю автомобіля за допомогою гальм при русі на повній швидкості. Іншими словами, ми не тільки витрачаємо енергію, а й посилюємо знос устаткування.

Актуальність досліджень обумовлена масовим переоснащенням і модернізацією електроприводів в системах водопостачання на основі використання алгоритмів частотного регулювання і необхідністю підтримання експлуатаційних показників надійності електродвигунів на високому рівні [2].

Однак при цьому виникають додаткові втрати від вищих гармонік напруги, відбувається зниження допустимого моменту через підвищене нагрівання, з'являються пульсації моменту, взаємодія магнітних полів викликає додатковий шум, знижується довговічність ізоляції, виникають підшипникові струми, знижується ККД електродвигуна.

Економія на електроенергії виливається в підвищену аварійність обладнання і може привести до ще більших фінансових витрат.

В такому випадку виникає питання: встановлювати або не встановлювати частотний перетворювач для управління електродвигунами?

Необхідно знайти компромісне рішення, прийняття якого дозволить знизити споживання енергії та при цьому не призведе до зниження експлуатаційних характеристик електродвигунів.

Крім розв'язання прямої задачі енергозбереження запропоновані в роботі алгоритми вирішують задачу оптимального управління приводами насосів. В результаті може бути отриманий додатковий ефект економії коштів від підвищення експлуатаційних характеристик технологічного обладнання.

Мета магістерської роботи полягає в підвищені енергоефективності танкера дедвейтом 112 тисяч тон шляхом удосконалення систем електроприводу насосів, розробки і впровадження алгоритму енергоефективного керування асинхронними двигунами насосів в умовах використання частотно-регульованого електроприводу(ЧРЕП).

Для досягнення поставленої мети в дипломній роботі були вирішені такі **завдання**:

– аналіз існуючих суднових систем охолодження і методів їх управління;

– розробка алгоритму управління електродвигунами насосів забортної води, оснащених ЧРЕП, що підвищують їх експлуатаційні характеристики;

– обґрунтування і вибір частотно-регульованого електроприводу насосів забортної води з функцією енергозбереження;

– аналіз експериментальних даних.

Об'єктом дослідження в роботі є асинхронний електропривод відцентрових насосів, призначених для роботи в суднових системах охолодження ГД і ДГ.

Методи дослідження: теоретичні дослідження виконані із залученням теорії електроприводу, теорії автоматичного управління, методу передавальних функцій, методу імітаційного моделювання з використанням засобів моделювання системи

Matlab і інструментальних засобів цієї системи: програмного пакету Simulink. Також використані фізичні методи дослідження із застосуванням лабораторних установок, практичних даних.

Гіпотеза – запропонована модернізація електроприводу відцентрованих насосів забортної води значно підвищить енергоефективність системи охолодження судна .

Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному:

- аналіз отриманих даних підвищення енергоефективності на судні після модернізації електроприводу відцентрованих насосів забортної води.

1. СУЧАСНИЙ СТАН ПРОБЛЕМИ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ І ЕКОЛОГІЇ В МОРЬСКОМУ ТРАНСПОРТІ , ТЕХНІЧНО-ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СУДНА

1.1 Актуальність підвищення енергоефективності морського транспорту

Енергоефективність можна визначити як зниження енергоспоживання без зниження кількості та якості продукції або послуг. В цьому відношенні енергоефективність у промисловості розглядається як запобігання витрат енергії в системах опалення і охолодження, насосних і компресорних установках.

Донедавна енергоефективність суднових допоміжних систем не розглядалася у процесі проектування чи будівництва морських суден. З цієї причини системи на існуючих судах не є енергоефективними та не були повністю оптимізовані для мінімізації загальної витрати палива. Багато судів, що у цей час у виробництві, продовжують будуватися без особливої уваги до енергоефективним рішенням. Крім того, верфі зазвичай не фокусуються на довгостроковій вартості володіння судном. Якщо тільки власники не визначать технології, які мають бути включені до специфікації, можливості енергоефективності судна будуть обмежені.

Дослідження показує, що насоси берегових енергоустановок споживають 20% усієї виробленої енергії. Показано, що 20-30% енергії, що споживається насосами може бути заощаджена тільки при деяких незначних змінах в конструкції систем [. Таким чином, модернізація насосів та насосних систем має велике значення з точки зору енергоефективності в різних промислових секторах.

Суднові насоси входять майже до усіх систем машинного відділення. За останніми розрахунками насоси та насосні установки споживають майже 50% електроенергії, що виробляється на борту судна. Це дуже велика частина загальної потужності. Порівнюючи з береговими установками (споживання яких становлять 20%, від всієї), важливість модернізації і оптимізації керування насосних установок на судах очевидна.

Бортові суднові системи, що найбільше підходять для підвищення енергоефективності, - це системи з великими насосами та вентиляторами, які не

повинні працювати постійно або на повну потужність. Там, де це застосовано, електродвигуни можуть бути оснащені ЧРП для більш ефективної роботи насосів та вентиляторів при частковому навантаженні, наприклад, під час зниження температури забортної води або зниження потреби до вентиляції.

1.2. Енергоефективність з точку зору екології

Одним із основних аспектів важливості енергоефективності є екологічні проблеми. Сектор морських перевезень є одним із причин глобального забруднення повітря. Суднові викиди впливають на якість повітря у світі, здоров'я людей, морську екологію та глобальне потепління.

У зв'язку з розвитком економіки та зростаючими масштабами господарської діяльності людини збільшуються перевезення різних вантажів водним транспортом, які становлять 60-67% світового вантажообігу. При цьому відбувається негативний вплив на навколишнє середовище, його забруднення, наслідки якого позначаються як на існуючому поколінні, так і можуть вплинути на майбутнє. Тому вплив водного транспорту на екологію — актуальна та нагальна проблема сьогодення.

Загальні викиди з суднів (міжнародне судноплавство, внутрішнє судноплавство та рибальство) коливалися від 3,5% або 1100 мільйонів тон у 2007 році до 2,6% або 932 мільйонів тон у 2015 році . Викиди з суднів становили приблизно 13% загальних викидів EU GHG[2] , від транспортного сектору у 2015 році , тому подальше зниження викидів судноплавства є обов'язковим у зелено налаштованій Європі.

Двоокис вуглецю (CO2), чадний газ (CO), тверді частинки, оксиди азоту (NOx) та оксиди сірки (SOx) є найбільш значними забруднювальними речовинами, що викидаються з суднових дизельних двигунів. У всьому світі майже 15% викидів NOx та 5-8% викидів SOx виробляються океанськими судами [3].

Year	Global CO_2	Total shipping	% of global	International shipping	% of global
2007	31,409	1100	3.50	885	2.80
2008	32,204	1135	3.50	921	2.90
2009	32,047	978	3.10	855	2.70
2010	33,612	915	2.70	771	2.30
2011	34,723	1022	2.90	850	2.40
2012	35,640	938	2.60	796	2.20
Average	33,273	1015	3.10	846	2.60

Рисунок 1.1 – Викиди судноплавної галузі CO2 у порівнянні з глобальними викидами CO2 (значення у млн. тон CO2)

Викиди CO2 мають велике на глобальне потепління завдяки своєму парниковому ефекту. 3,1% загального обсягу світових викидів CO2 припадає на морські перевезення. Детальні результати порівняння викидів за роками наведено в таблиці 1. За оцінками зростання світового флоту та обсягів вантажоперевезень, прогнозується, що згадані викиди збільшяться на 50-250% до 2050 року[4] .

1.2 Техніко-експлуатаційні характеристики судна

В даній магістерській роботі розглядається тип судна – танкер з дедвейтом 112 тисяч тон.

Таблиця 1.1 – Загальна характеристика корпусу судна

Довжина судна	274.2 м
Ширина судна	48 м
Висота борту	23.1 м
Надводний борт	5.969 м
Осідання до літньої вантажної марки	17.168
Валова місткість	81 361 т

Літній дедвейт	113 850Т

На судні також встановлені система генерування прісної води, установка для очищення і знезараження стічних вод, система кондиціонування, протипожежна система. Судно має два брашпилі, два якоря Холла і чотири швартовні лебідки.

Судно оснащене протипожежною системою, яка складається з двох пожежних насосів, одного аварійного пожежного насоса, системи трубопроводів, CO2 системи пожежогасіння, і вогнегасників місцевого використання.

Судно приводиться в рух за допомогою мало обертового двигуна внутрішнього згоряння типу Hyundai-Wartsila W572. Двигун шестициліндровий, прямоточно-клапанний з постійним наддувом. При роботі двигуна на малих обертах, включається допоміжний електричний наддув, за допомогою якого двигун працює ефективно у всьому діапазоні обертів.

Таблиця 1.2 – Загальні характеристики головного двигуна

Число головних двигунів	1
Виробник	HYUNDAI-WARTSILA
Тип	W572
Рік побудови	2015
Потужність	14320 кВт
Число обертів	73,5 об/хв
Діаметр циліндра	720 мм
Хід поршня	3086 мм
Тип палива	HFO – RMG 380
Витрата палива	30 т/добу

Тип передачі на гребний гвинт - пряма.

У складі електроенергетичного комплексу три основних дизель-генератори і один аварійний дизель-генератор. Основні дизелі потужністю 1080 кВт, аварійний 250 кВт. Даний варіант установки таких дизель-генераторів дозволяє отримати оптимальну завантаженість електроенергетичного комплексу, виконується завдяки комбінуванню генераторів різної потужності на паралельну роботу.

Таблиця 1.3 – Характеристики Дизель-генераторів

Виробник двигуна	HIMSEN
Тип двигуна	H12/32
Кількість дизель-генераторів	3
Потужність двигуна	1080 кВт
Число обертів	900 об/хв
Діаметр циліндра	0,210 м
Хід поршня	0,310 м
Максимальний тиск стиснення	200 бар
Тип палива	HFO – RMG 380
Витрата палива	3 т

Таблиця 1.24- Загальні параметри синхронного генератора типу HFJ5 514-44K

Тип корпусу	IP 44
Система охолодження	водяне
Система збудження	Самозбудження
Структура ротора	Циліндричний ротор
Специфікація	
Тип	HFJ5 514-44K
Потужність	1020 кВт
Напруга	AC 450 V
Струм	1721.4 A
Частота	60 Гц
Кількість полюсів	8 P
Частота обертанняя	900 об/хв.
Коефіцієнт потужності	0,8
Вага ротора	2485 кг
Загальна вага	6200 кг

Характеристики	
Загальний ККД	95,2 %
Відхилення напруги	± 2,5 %
Напруга збудження	170 В
Струм збудження	5,9 А

2.АНАЛІЗ СУДНОВОЇ СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ , ОСНОВНІ МЕТОДИ РЕГУЛЮВАННЯ

2.1. Типові системи охолодження

При згорянні палива в циліндрах двигуна внутрішнього згоряння лише 38—42 % теплоти, що отримується при цьому, перетворюється на корисну роботу. Решта теплоти – це неминучі теплові втрати. Приблизно половина втраченого тепла йде в атмосферу з продуктами згоряння палива, решта передається деталям, що стикаються з гарячими газами. Якщо ці деталі не охолоджувати, робота двигуна стане неможливою і він вийде з ладу. Неможливим стане і змащення двигуна, оскільки мастило згорятиме. Щоб уникнути цього, всі деталі та вузли двигуна, що стикаються з гарячими газами, необхідно охолоджувати. Обов'язковому охолодженню підлягають циліндри, кришки циліндрів та випускний колектор.

Для забезпечення безперервної подачі води (прісної або забортної) для охолодження двигунів, механізмів або апаратів призначена система охолодження суднової енергетичної установки. На судні ця система забезпечує подачу охолодної рідини не тільки до головних двигунів, але і до таких механізмів, апаратів та пристроїв, як підшипники валопроводів, холодильники мастила, паро- та електрокомпресори, конденсатні насоси та ін.

Для переміщення охолоджувальної води трубопроводами до місць охолодження необхідні насоси. Їх включають у загальну магістраль, від якої йдуть відростки, що підводять воду всім споживачам.

Системи охолодження двигунів внутрішнього згоряння є автономними, тобто передбачають наявність насосів прісної або забортної води, які обслуговують лише цей двигун.

Системи охолодження двигунів діляться на відкриті (одноконтурні) та закриті (двоконтурні). Відкрита система на морських судах майже застосовується. У цій системі охолодження двигуна проводиться забортною водою, яка прокачується насосом по всій системі охолодження і відводиться за борт. Систему відкритого типу можна застосовувати там, де температура нагріву води, що

виходить з двигуна, не перевищує 55 °C. При більшій температурі розчинені у воді солі стають нерозчинними і осідають на поверхнях, що омиваються водою, у вигляді накипу, погіршуючи умови тепловіддачі, а також засмічуючи проточні канали і порожнини охолодження, особливо в литих конструкціях головок і блоків циліндрів двигунів. Це порушує нормальне протікання робочого процесу двигуна і може бути причиною аварії.

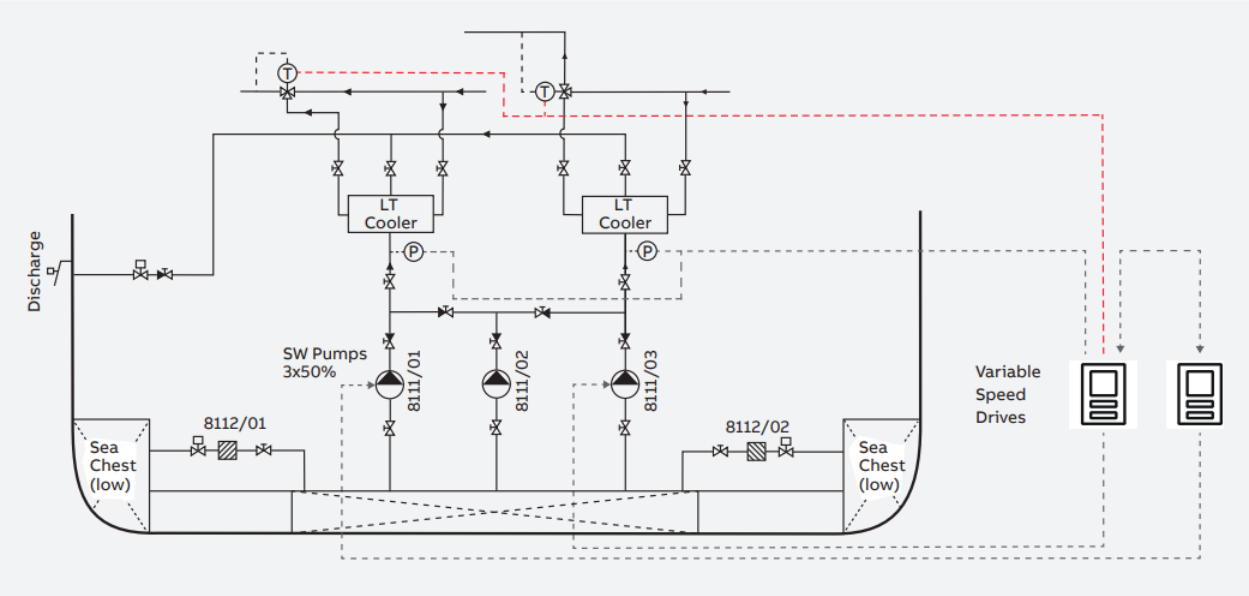


Рисунок 2.1 – Типова схема охолодження судна

У більшості сучасних суднових дизелів застосовується закрита система охолодження. У цій системі для охолодження працюючого двигуна використовується прісна вода, що безперервно циркулює в замкнутій системі охолодження, що складається з двох контурів: внутрішнього та зовнішнього. Перший служить для охолодження двигуна, другий для охолодження води, що циркулює у внутрішньому контурі. Для охолодження прісної води встановлюють водоводяний холодильник, через який прокачується забортна вода.

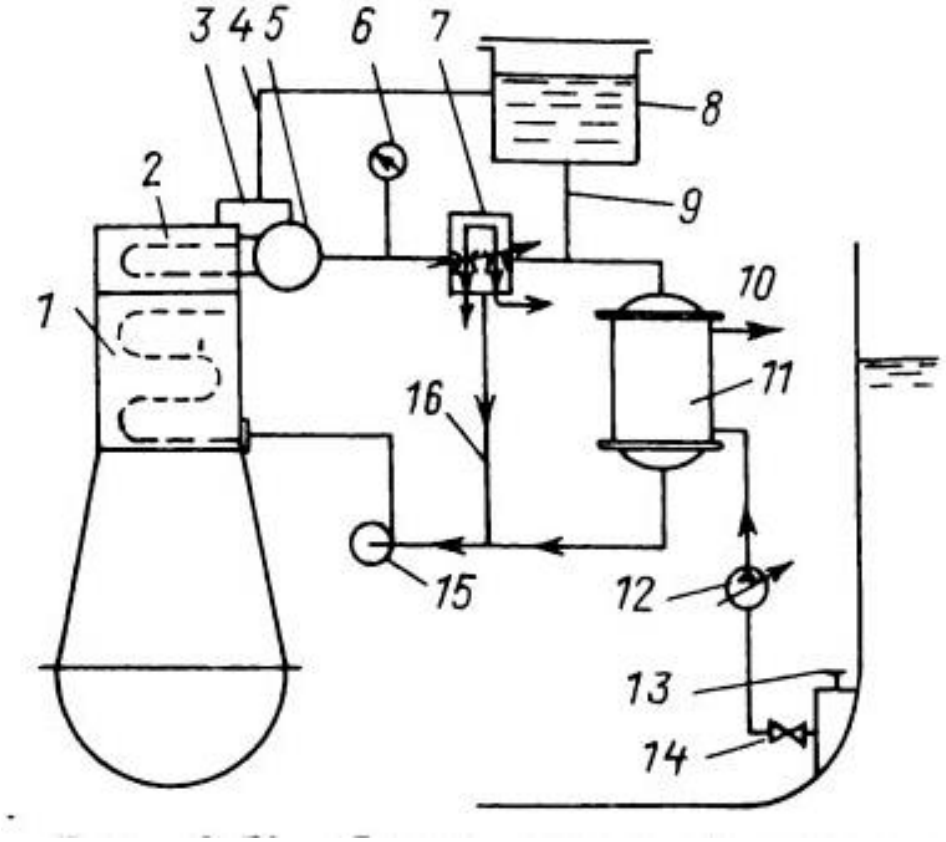


Рисунок 2.2-Типова схема закритої системи охолодження двигуна внутрішнього згоряння

На рис. 2.2 наведено схему закритої системи охолодження двигуна. Циркуляційним насосом 15 прісна вода по внутрішньому контуру подається в блок циліндрів 1. Охолодивши кришку 2 циліндра двигуна, вода по патрубку 3 надходить в порожнину охолодження випускного колектора 5, а звідти в термостат або терморегулятор 7, який служить для автоматичного регулювання температури через двигун. Якщо температура цієї води виявиться вище необхідного значення, то термостат більшу частину води пропустить в холодильник 11, а меншу - в трубу 16, Таким чином, в термостаті постійно відбувається перерозподіл двох потоків води: підводиться до насоса 15 і знову спрямовується на охолодження двигуна.

Забортна вода через кінгстон 13 і приймальний клапан 14 забирається насосом 12 і проганяється через холодильник, де охолоджує прісну воду внутрішнього контуру, після чого відводиться за борт по трубі 10. Така система

охолодження двигунів оберігає порожнини охолодження двигуна від відкладення солей і зменшує ймовірність утворення корозії електрохімічної ерозії. Встановлений на приймальній гілки фільтр забортної води захищає систему від попадання мулу та піску.

2.2 Методи регулювання

2.2.1 Регулювання подачі дроселюванням

Під час монтажу відцентрового насоса на його напірній стороні встановлюють засувку для виконання запірно-регулюючих функцій. З її допомогою змінюють подачу насоса. За своїм призначенням та конструкцією вона служить як запірний пристрій та регулятор, але при частих регулюваннях працює ненадійно. До того ж регулювання засувкою (дроселювання) виявляється енергетично невигідним: частина напору витрачається на подолання штучно створеного опору у засувці. Однак у ряді випадків дроселювання є ефективним, особливо при необхідності зниження напорів у трубопроводах на великих ухилах, коли напір не вдається використовувати і виникає потреба у зниженні його.

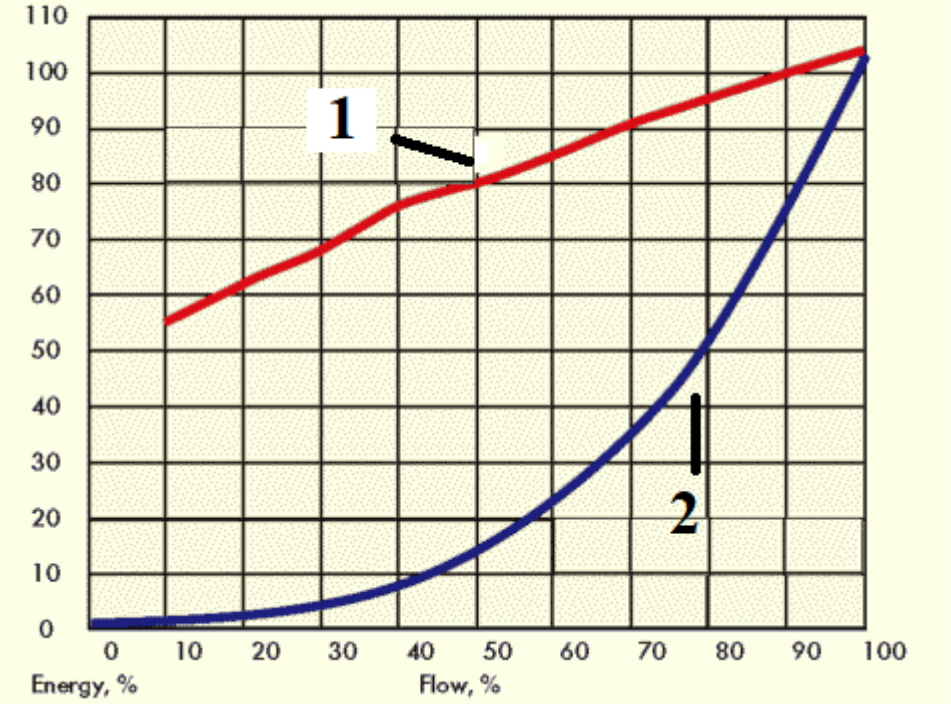


Рисунок 2.3- Графік залежності споживаної електроенергії від потоку рідини, що проходить: 1 – електроспоживання при методі дроселювання; 2 – електроспоживання при частотному регулюванні

2.2.2 Регулювання перепуском (байпасом)

Зменшити подачу води в систему можна, якщо перекинути частину перекачуваної рідини по обвідній трубі всмоктувальний трубопровід, тобто встановити перепускну лінію. В цьому випадку при відкритті засувки на обвідній трубі (встановлюється електроприводна засувка для автоматизації процесу) змінюється характеристика трубопровідної мережі зі зміщенням робочої точки насоса положення. Отже, для забезпечення подачі потрібно через перепускну лінію подати витрату. Напір, що створюється насосом, зменшується, а споживана потужність збільшується. З енергетичного погляду спосіб регулювання подачі перепуском допустимо для відцентрових насосів з коефіцієнтом швидкохідності ns>300, осьових та вихрових насосів.

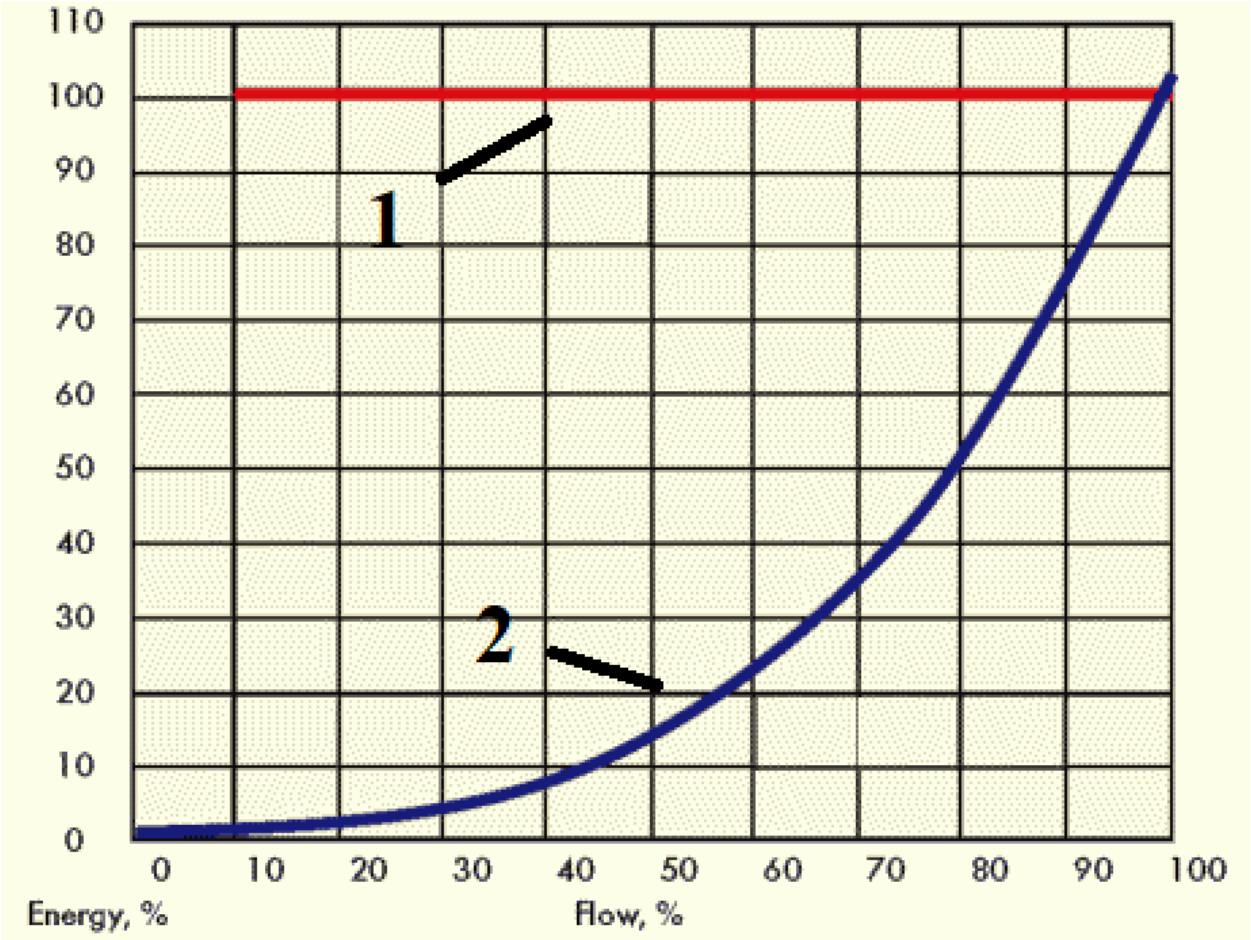


Рисунок 2.3- Графік залежності споживаної електроенергії від потоку рідини, що проходить: 1 – електроспоживання при методі перепуску; 2 – електроспоживання при частотному регулюванні

Слід враховувати що при цих методах при старті насосу буде виникати ефект гідроудару, що може критично пошкодити усі елементи системи охолодження. Беручи за увагу усе проліковане вище виникає необхідність і доцільність використовування методу регулювання частоти обертання за допомогою частотного перетворювача.

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА МОДЕЛІ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОДВИГУНА НАСОСНОГО АГРЕГАТУ

3.1 Модель асинхронного електродвигуна, підтримуюча реалізацію різних алгоритмів управління

Найбільш поширений двигун для насосних агрегатів побудований на принципі рівнянь Парка-Горєва, математична модель асинхронного двигуна, побудованого на цьому принципі дозволяє реалізувати алгоритм векторного керування. Векторне управління дозволяє регулювати збудження двигунів змінного струму, тому управління асинхронного двигуна стає таким же простим як управління двигуна постійного струму.

Завдання енергозбереження вимагають оптимального вирішення не тільки в процесі експлуатації електричних машин, але і при проектуванні. У процесі експлуатації двигуна значні втрати енергії спостерігаються у перехідних режимах і в першу чергу за його пуску. Для дослідження роботи електричних машин і аналізу енергетичних втрат необхідно розробити математичну модель, яка є функцією частоти.

Для електропривода насоса використовують в найчастіше асинхронні і рідше синхронні електродвигуни змінного трифазного струму.

Для математичного опису електромеханічних процесів, що відбувається при векторному керуванні, є доцільним скористатися принципом наведеному в роботах А.Б. Виноградова і А.А.Усольцева [3] . Це дозволяє побудувати модель, що дає досить хороше освідомлення процесів векторного регулювання, що дає змогу порівняти системи керування на основі різних регуляторів і алгоритмів управління.

Моделювання можливо здійснити шляхом вибору однієї з систем координат, щодо якої орієнтуємо вектор, який визначає електромагнітний момент асинхронного двигуна. Проекція зазначеного вектора на іншу вісь координат дорівнює нулю, також як і в рівнянні для розрахунку електромагнітного моменту,

що призводить його до виду рівняння електромагнітного моменту двигуна постійного струму, який пропорційний основному магнітному потоку і струму якоря, [4].

Для того щоб здійснити керування асинхронним двигуном за принципом векторного управління є доцільним спочатку привести його до спрощеної двополюсної машини, що має дві обмотки на роторі і статорі, та, відповідно, системи координат пов'язані зі статором, ротором і полем.

АД змоделюємо в системі координат - α, β, орієнтованої по осі фази А обмотки статора. У моделі АД у двофазній нерухомій системі координат статора α, β при $\omega_k = 0$ дійсні складові усіх просторових векторів статора збігаються з відповідними сигналами фази А, а уявні складові відстають за фазою від дійсних на 90º, [19, 20].

У математичній моделі АД в ортогональній системі координат, орієнтованій за вектором потокозчеплення ротора, для того, щоб напрямок дійсної осі ортогональної системи координат за будь якого часу співпадав з напрямком узагальненого вектора потокозчеплення ротора, необхідно щоб система координат оберталася синхронно з цим вектором. Вектор потокозчеплення ротора у цій системі координат буде мати тільки дійсну складову. Назвемо дійсну вісь цієї системи координат d, а уявну – q. Тоді початкові умови для математичної моделі асинхронного двигуна у цих координатах матимуть вигляд:

$$\omega_k = \omega_{\psi_r}; \qquad (3.1)$$

$$\Psi_{rq} = 0; \quad \Psi_{rd} = |\Psi_r^{\sim}| = \Psi_{rm} \qquad (3.2)$$

$$U_{rd} = U_{rq} = 0 \qquad (3.3)$$

При отаманні живлення на обмотки статора двигуна від джерела напруги система векторного керування має зворотні зв’язки за складовими струму статора та за потокозчепленням ротора. Тому ще однією умовою для розробки цієї моделі буде наявність у ній перелічених сигналів.

Напишемо рівняння для побудови моделі АД у ортогональних двофазних координатах у вигляді [19, 24]:

$$\begin{cases} \widetilde{U_s} = \widetilde{I_s}R_s + \dfrac{d\widetilde{\Psi_s}}{dt} + j\omega_k\widetilde{\Psi_s}, \\ 0 = \widetilde{I_r}R_r + \dfrac{d\widetilde{\Psi_r}}{dt} + j\left(\omega_k - Z_p\omega\right) \end{cases} \quad (3.4)$$

Щоб забезпечити зазначений склад сигналів моделі, необхідно знайти узагальнений вектор струму ротора та підставити отриманий вираз у перше рівняння цієї системи (3.4) з урахуванням позначень[19]:

$$\widetilde{I_r} = \frac{1}{L_r}\widetilde{\Psi}_r - k_r\widetilde{I_s}\,; \quad (3.5)$$

$$\widetilde{\Psi}_s = \sigma L_s\widetilde{I_s} + k_r\widetilde{\Psi}_r \quad (3.6)$$

Далі (3.5) та (3.6) підставимо у систему (3.4) і одержимо:

$$\begin{cases} \widetilde{U_s} = \widetilde{I_s}R_s + \sigma L_s\dfrac{d\widetilde{\mathrm{I}_s}}{dt} + k_r\dfrac{d\widetilde{\Psi_s}}{dt} + j\omega_k\left(\sigma L_s\widetilde{I_s} + k_r\widetilde{\Psi}_r\right), \\ 0 = \dfrac{1}{T_r}\widetilde{\Psi}_r + \dfrac{L_m}{T_r}\widetilde{I_s} + \dfrac{d\widetilde{\Psi_r}}{dt} + j\left(\omega_k - Z_p\omega\right)\widetilde{\Psi}_r \end{cases}$$

Щоб перше рівняння останньої системи отримувало похідну тільки від одного сигналу, виразимо похідну від потокозчеплення ротора з (3.8) та підставимо отриманий вираз у (3.7):

$$\frac{d\widetilde{\Psi_r}}{dt} = k_rR_r\widetilde{I_s} - \frac{1}{T_r}\widetilde{\Psi}_r - j\left(\omega_k - Z_p\omega\right)\widetilde{\Psi}_r, \quad (3.7)$$

$$\widetilde{U_s} = \widetilde{I_s}R_{sr} + \sigma L_s\frac{d\widetilde{\mathrm{I}_s}}{dt} - \frac{k_r}{T_r}\widetilde{\Psi}_r + j\omega_k\sigma L_s\widetilde{I_s} - jZ_p\omega k_r\widetilde{\Psi}_r\,, \quad (3.8)$$

тут $R_{sr} = R_s + k_r^2R_r$.

Переходячи від рівнянь в узагальнених векторах до рівнянь в їх дійсних та уявних складових, перетворимо рівняння в узагальнених векторах (3.7) та (3.8) у систему скалярних рівнянь та перепишемо одержані диференціальні рівняння в операторній формі, вводячи відповідні позначення, остаточно маємо:

$$\begin{cases} U_{sd} + \dfrac{k_r}{T_r}\Psi_{rm} + \omega_kL_{s1}I_{sq} = I_{sd}R_{sr}(T_{sr}p + 1) \\ U_{sq} - \omega_kL_{s1}I_{sq} - Z_p\omega k_r\Psi_r = I_{sq}R_{sr}(T_{sr}p + 1) \\ L_{sm}I_{sd} = \Psi_{rm}(T_rp + 1);\ \ \omega_k = k_rR_r\dfrac{I_{sq}}{\Psi_{rm}} + \omega_r \end{cases} \quad (3.9)$$

тут $T_{sr} = \sigma L_s / R_{sr}$.

В системі (3.9) позначаємо: $\Delta\omega_r = k_r R_r I_{sq} / \Psi_{rm}$ (3.10). Доповнюючи (3.9) та (3.10) виразом для електромагнітного моменту:

$$M = \frac{3}{2} Z_p k_r \Psi_{rm} I_{sq};\ \ M - M_c = J \frac{d\omega}{dt} \quad (3.11)$$

АД та рівнянням руху привода з постійним моментом інерції J одержимо модель короткозамкненого асинхронного двигуна, що наведена на рис. 3.1.

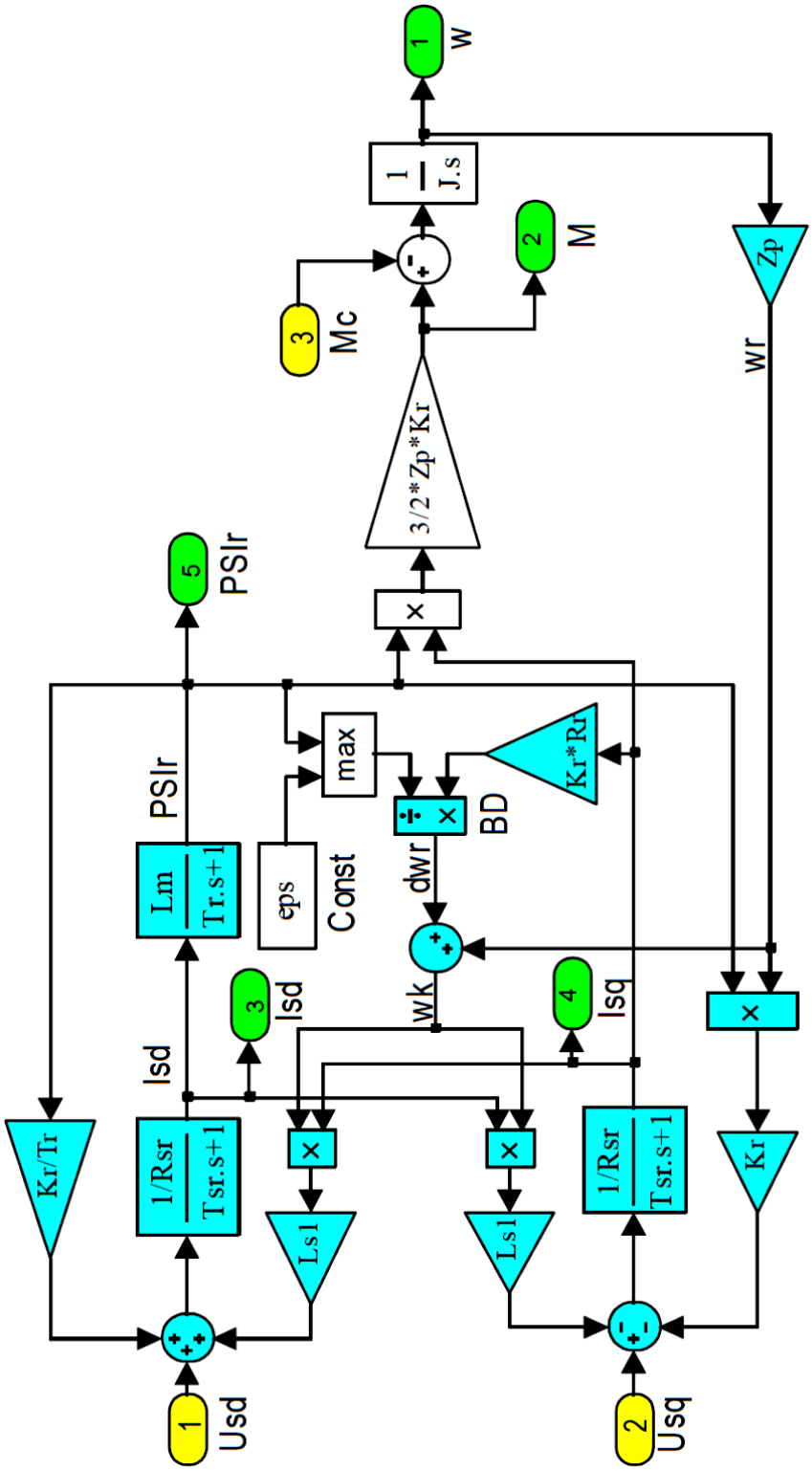


Рисунок 3.1 - Модель короткозамкненого АД в ортогональній системі координат, орієнтованій за потокозчепленням ротора

Наведену модель двигуна можна використати при дослідженні систем векторного управління асинхронним електроприводом з орієнтацією за полем ротора.

При вивчені АД та систем електроприводу методом математичного моделювання за допомогою моделей необхідно мати інформацію про електромагнітні параметри АД, що визначають його статичні та динамічні характеристики.

В якості основних електромагнітних параметрів АД прийняті параметри Т-подібної схеми заміщення, рис. 3.2, а саме:

R_s, R_r - активні опори статорної та роторної обмоток;

$s = 1 - \omega/\omega_0$ – поточне ковзання двигуна;

$X_m = \omega_s \cdot L_s$ – індуктивний опір кола намагнічування;

$X_{s\sigma} = \omega_s \cdot L_{s\sigma}$; $X_{r\sigma} = \omega_s \cdot L_{r\sigma}$ – відповідно індуктивні опори розсіяння статора і ротора.

В якості вихідних даних для моделювання застосовуються номінальні дані АД, що наводяться у технічній документації двигуна.

При математичному моделюванні асинхронного двигуна діапазон зміни моменту статичного навантаження може бути розширеним, включаючи імітацію перекидання АД. Те ж саме відноситься і до переліку реєстрованих координат. Приклад моделі, призначеної для розрахунку статичних характеристик АД (параметрів схеми заміщення), наведений на рис. 3.3, де в якості моделі АД застосований стандартний SPS-блок Asynchronous Machine (SI Units) [19].

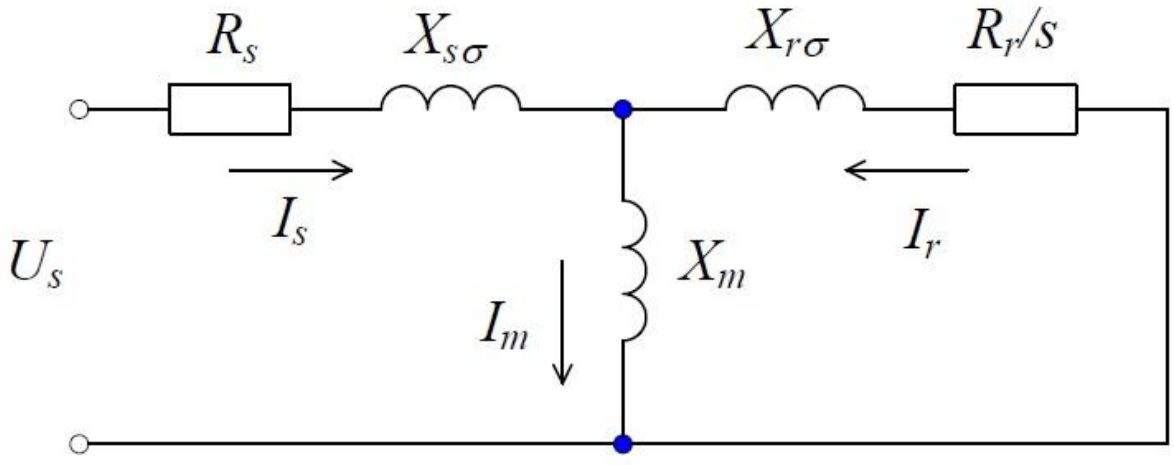


Рисунок 3.2 – Т – подібна схема заміщення АД

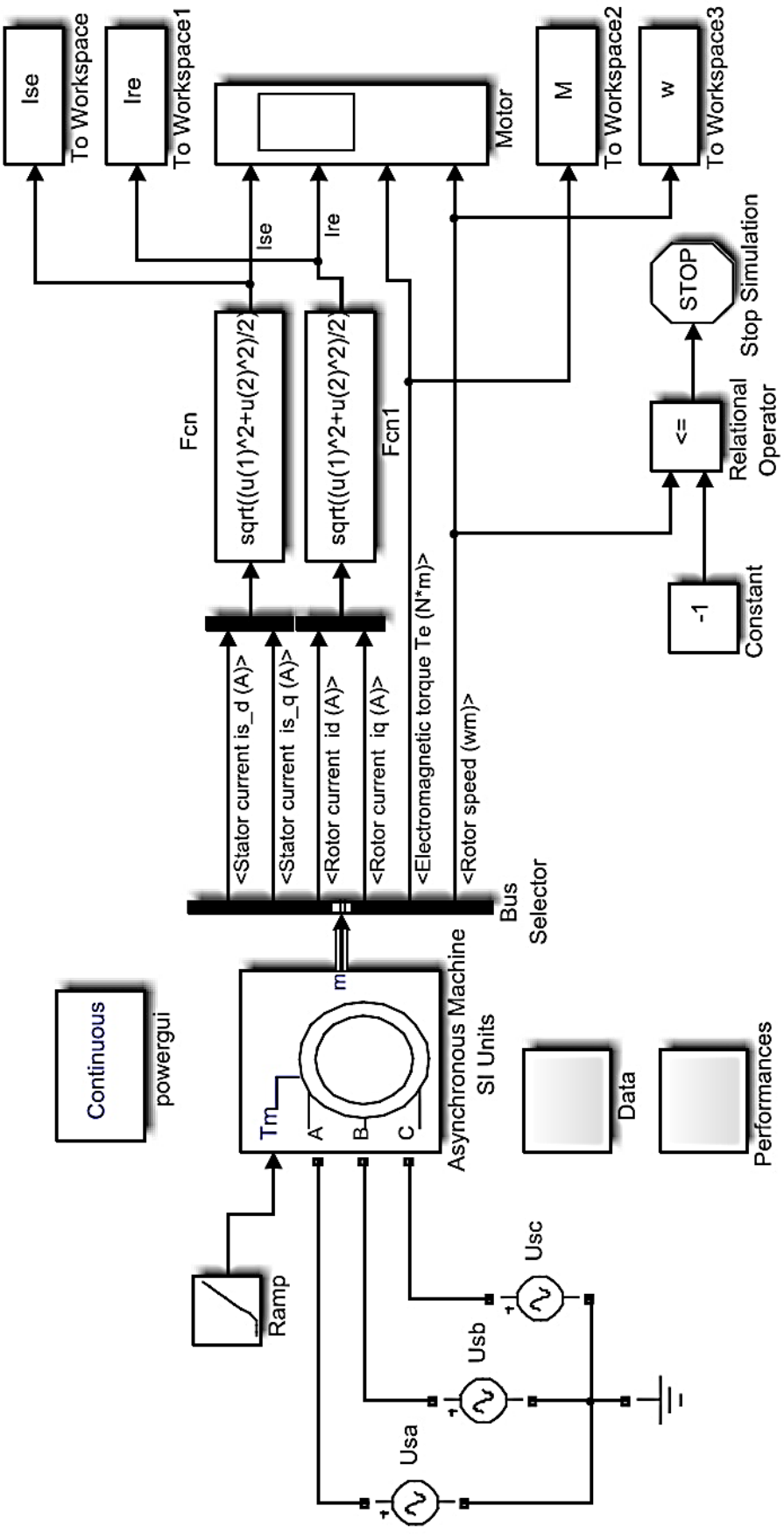


Рисунок 3.3 – Модель, що розраховує природні статичні характеристики АД

Приклад обчислення природних механічних та електромеханічних характеристик АД за моделлю рис. 3.3 та паспортними параметрами (табл. 1.1) наведено на рис. 3.4 та рис. 3.5

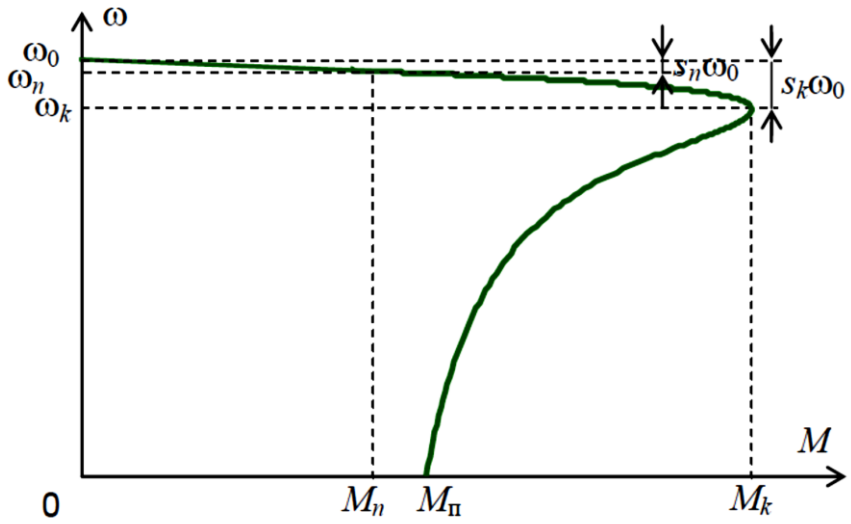


Рисунок 3.4 – Природні механічні характеристики АД

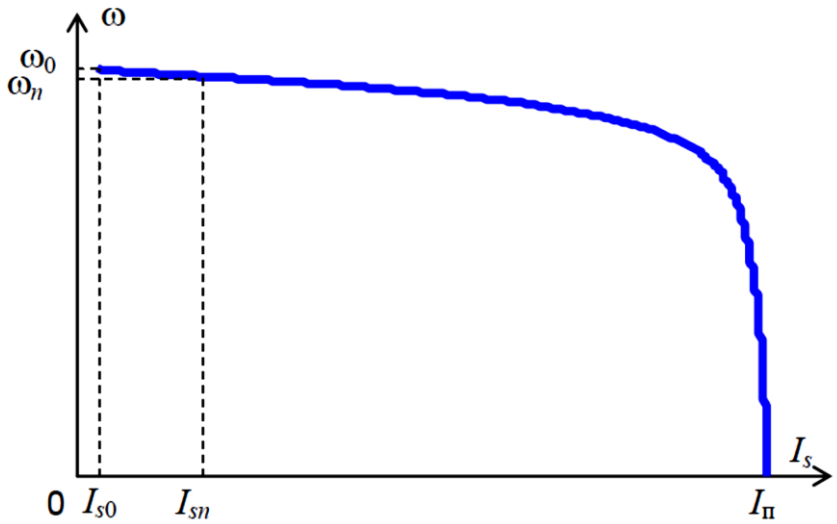


Рисунок 3.5 – Електромеханічна характеристика АД

Розрахунок перехідних процесів асинхронного двигуна наведений на рис.3.6.

Для можливості аналізу впливу алгоритмів управління на експлуатаційну надійність двигуна математичну модель Парка - Горєва можливо ввести співвідношення, що описують люфт валу. Момент статичного опору, що входить в рівняння руху електродвигуна, включає в себе момент навантаження і опір

підшипників (коефіцієнт тертя визначено з механічних втрат, зазначених у паспорті):

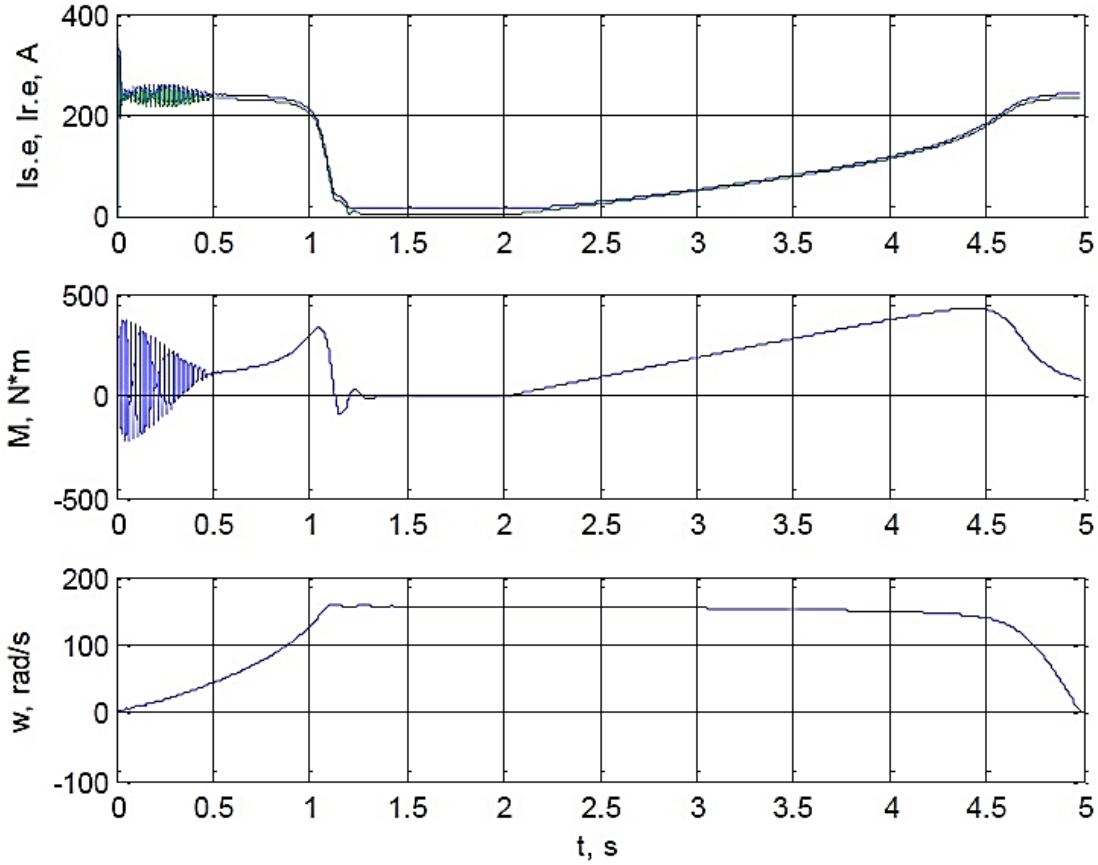


Рисунок 3.6 – Перехідні процеси асинхронного двигуна

$$M_c = f(d) \cdot M_{load} + k_f \cdot \left(\frac{d\alpha}{dt}\right)^2, \qquad (3.12)$$

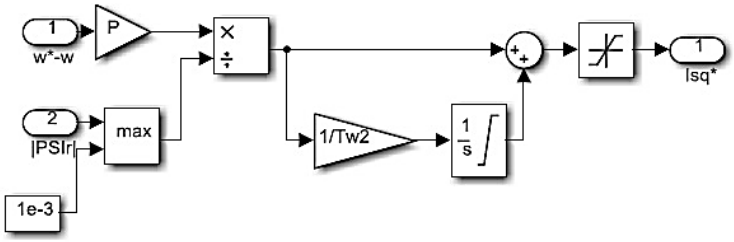
де: d, (рад) - величина невибраного люфту, що виникає при зміні знаку прискорення, M_{load} – момент навантаження, k_f – коефіцієнт тертя підшипників, α (рад) – кут повороту ротора.

Вплив люфтів на динаміку процесів в дипломній роботі не досліджувалося.

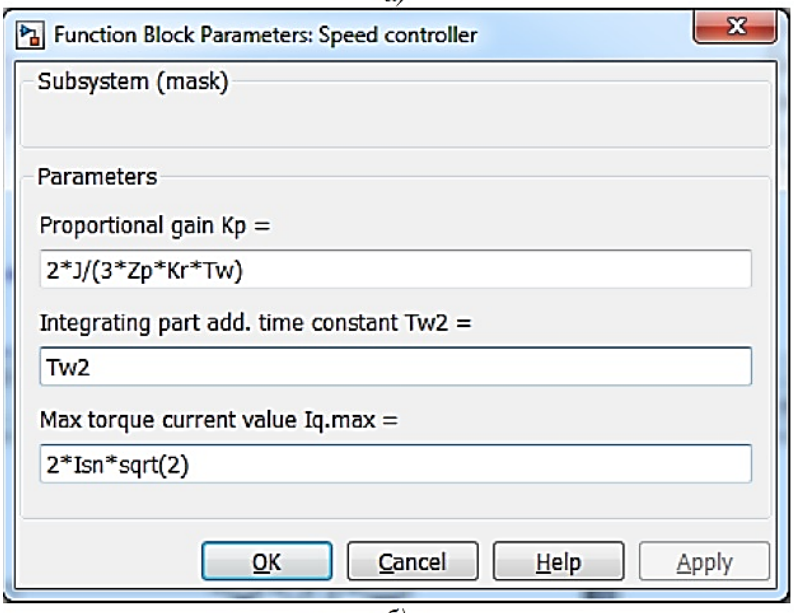
3.2 Модель векторного керування АД

Векторне управління швидкістю асинхронного електропривода, що синтезоване на базі математичної моделі асинхронного двигуна в системі координат, орієнтованій за полем ротора, застосовуються при високих вимогах щодо якості перехідних процесів, точності відтворення режимної тахограми та

широкому діапазоні регулювання. В ційроботі обраний варіант побудови системи векторного керування, в якій перетворювач частоти розглядається як ідеальне джерело синусоїдальної напруги регульованої амплітуди і частоти з використанням для моделювання СВК математичної моделі АД в ортогональній системі координат (модель показана на рис. 3.1), орієнтованій за вектором потокозчеплення ротора. В цьому разі модель СВК не буде мати у своєму складі координатних перетворювачів. Така Simulink-модель СВК наведена на рис. 3.7. Застосування моделі двигуна у відповідній системі координат (вміст моделі поданий на рис. 3.1).



а)



б)

Рисунок 3.7 - Модель векторного регулятора швидкості (блок Speed controller) (а); діалогове вікно для встановлення параметрів (б)

У моделі міститься два канали регулювання в системі векторного керування: модуля потокозчеплення ротора та електромагнітного моменту двигуна. При виконанні умови (3.2) складові, що відповідають проекціям векторів напруги та струму статора на вісь d, проекції на вісь q –моментоутворюючими. Кожен канал виконаний у вигляді двоконтурної системи підпорядкованого регулювання,

причому кожен з внутрішніх контурів регулювання певної складової вектора струму статора підпорядкований відповідному зовнішньому контуру. В цій моделі усі регулятори являються пропорційно-інтегральними (ПІ). ПІ-регулятори струмів та ПІ-регулятор потокозчеплення ротора реалізовані за допомогою блоку PID Controller програми Simulink. Щодо регулятора швидкості, що визначає задане значення моментоутворюючої складової струму $Isq*$, то у моделі введений інструмент адаптації регулятора до зміни модуля вектора потокозчеплення ротора, а відповідний вміст такого блоку регулятора швидкості Speed controller з обмеженням вихідного сигналу наведений на рис. 3.8.

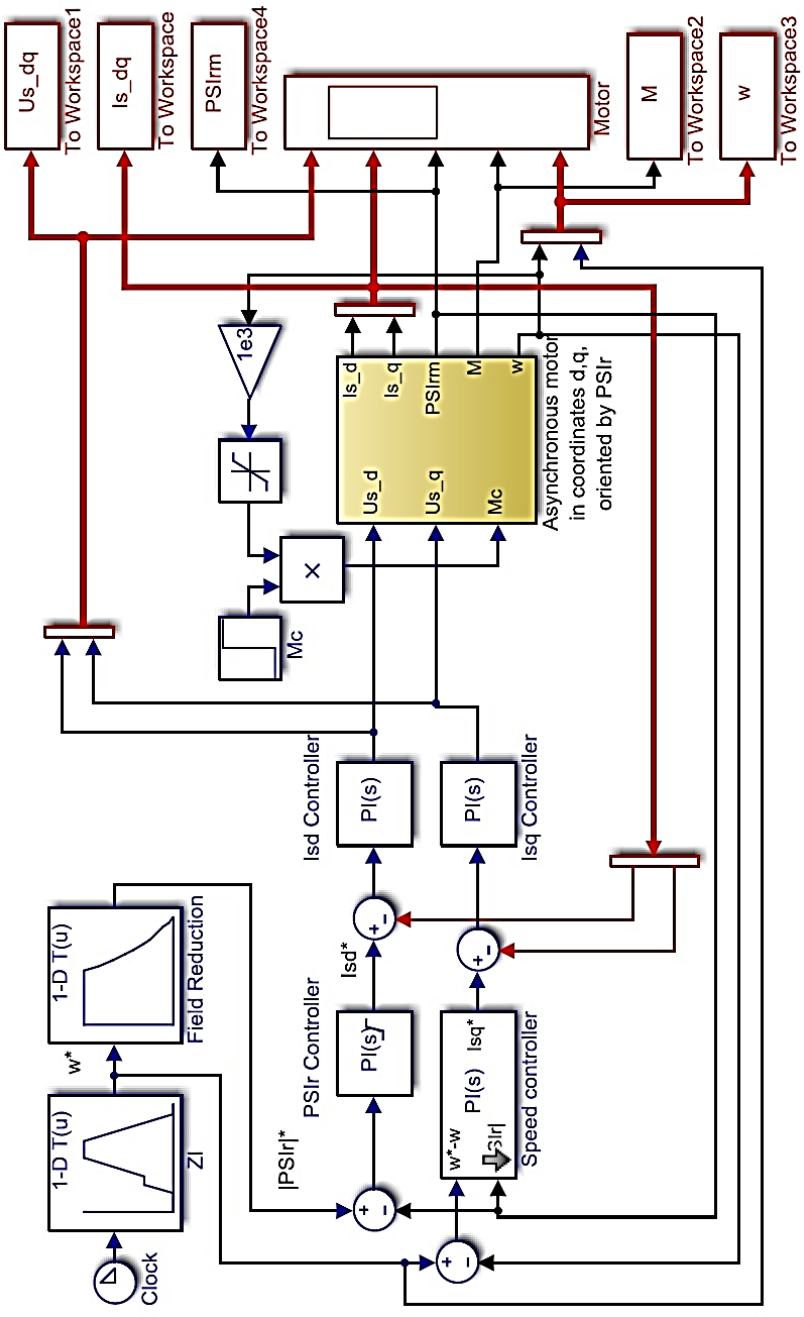


Рисунок 3.8 - Модель СВК в системі координат, орієнтованій за вектором потокозчеплення ротора

Таким чином, наведена модель СВК в системі координат, орієнтованій за вектором потокозчеплення ротора, дозволяє аналізувати усі процеси, що характеризують застосований алгоритм керування, включаючи можливість перевіряти коректність налаштування регуляторів та аналізувати принципи структурного синтезу системи керування.

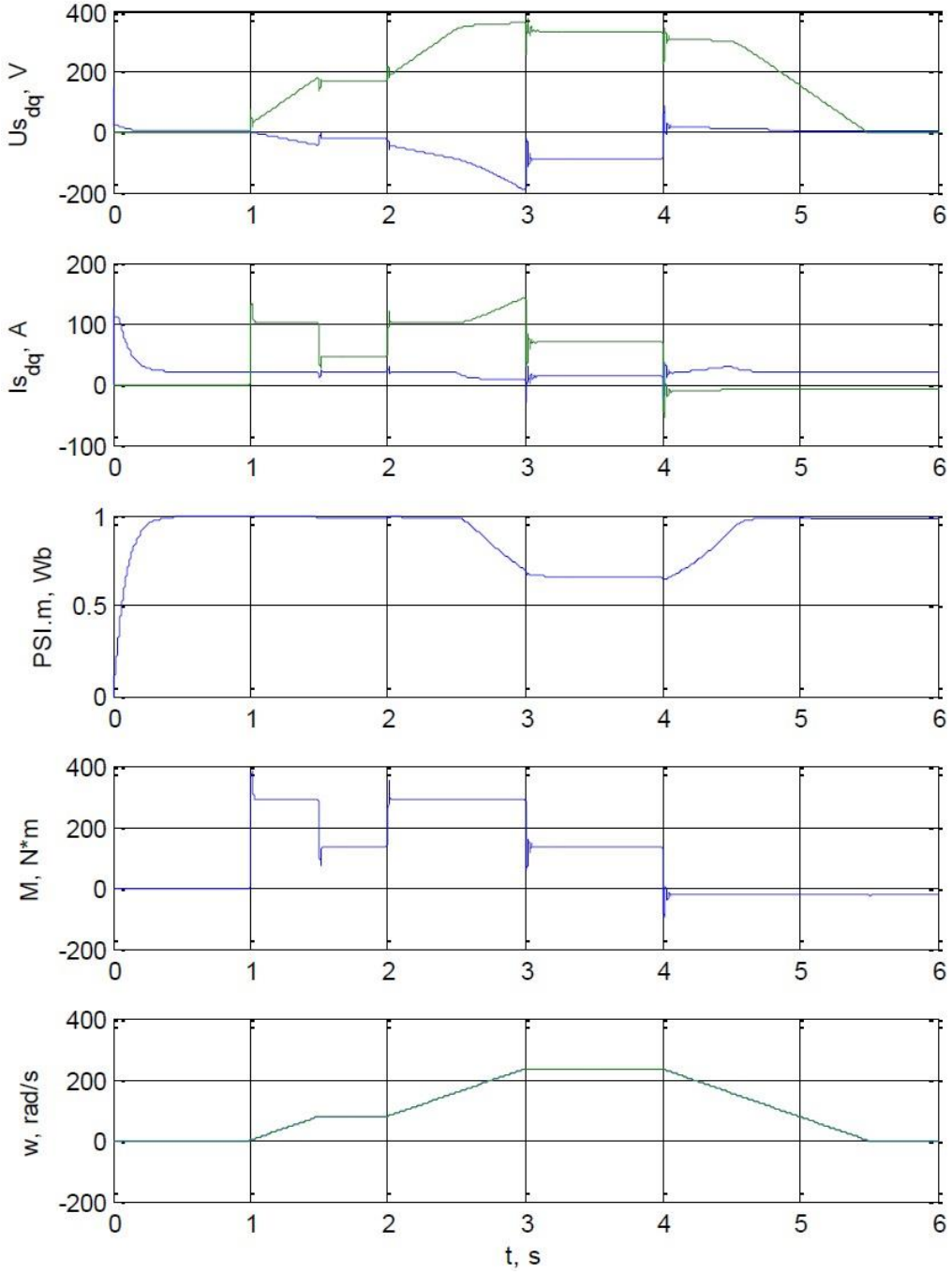


Рисунок 3.9 – Криві перехідних процесів, які отримані на моделі рис.3.8

РОЗДІЛ 4. ОБҐРУНТУВАННЯ І ВИБІР СИСТЕМИ ДЛЯ ЧАСТОТНО-РЕГУЛЬОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ НАСОСІВ ЗАБОРТНОЇ ВОДИ З ФУНКЦІЄЮ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

4.1. Енергозберігаюча комп’ютерна система оптимізації центральної установки охолодження судна

ESS (Energy Saving System, енергозберігаюча система) - це комп'ютерна система для оптимізації режимів роботи центральної системи охолодження головного двигуна та дизель-генераторів судна. Це економить енергію за рахунок зменшення споживання палива судновими генераторними дизелями. Крім того, це також зменшує викиди парникових газів.

ESS контролює температуру морської води та низькотемпературного контуру прісної води, положення 3-ходового клапана, регулює швидкість (продуктивність) головного охолоджуючого насосу морської води, оптимізуючи потужність насоса морської води, для забезпечення економії необхідного енергоспоживання роботи основного насоса охолодження морської води. Як результат, це зменшує експлуатаційні витрати судна.

Для більшості суден системи охолодження дизельних установок були спроектовані на температуру морської води 32 °C, але реальна температура морської води нижче проектної, тому теплова потужність цих допоміжних пристроїв охолодження збільшується. Це означає, що охолоджуюча здатність збільшується при зниженні температури.

У випадку з центральною системою охолодження центральний кулер (Central Cooler на рис. 1.4) може охолоджуватися до встановленого значення 36 °C. Іншими словами, центральний кулер прісної води FW має більший запас і 3-ходовий клапан, відкритий на байпас. При цьому центральна система охолодження неефективна, оскільки основний насос охолодження морської води завжди працює на 100% навантаження незалежно від реальної температури морської води.

Тому, очевидно, що необхідно використовувати енергозберігаючу технологію, а саме ESS, котра може забезпечити економію на судні.

Система ESS, яка керує електроприводами насосів за допомогою перетворювачів частоти (інверторів) має різні конфігурації стартерів.

Система охолодження морської води з основним охолодженням постійно має 2 комплекти резервних насосів (по 45 KW), перебуваючих в режимі «stand-by» для підтримки її в нормальному стані, активуючи резервний насос, коли виникне проблема.

Система ESS може встановлювати різні функції режиму очікування за бажанням, що дає можливість підтримувати систему більш надійною. Для автоматичного управління системою ESS використовується декілька датчиків, таких як датчики температури, датчик тиску (рис. 1.4). Управління ESS може також виконуватись оператором в ручному режимі.

В автоматичному режимі роботи система ESS, використовуючи аналоговий датчик тиску та ігноруючи функцією енергозбереження залежно від налаштування оператора, за допомогою перемикача тиску може включити байпасне управління з режиму повної швидкості роботи насоса. Крім того, коли управління інвертором ускладнене за визначенням оператора, можна примусово експлуатувати насос, використовуючи схему живлення DOL, щоб зашунтувати («by-pass») лінію живлення інвертора.

Система ESS забезпечує два рижими роботи:

- Автоматичний Auto mode (ESS mode);
- Ручний.

4.1 Режим інвертора

Автоматичний режим ПЧ (інвертора) (режим ESS) забезпечує оптимальні оберти насоса для економії енергії на базі інформації від датчиків, встановлених у системі ESS.

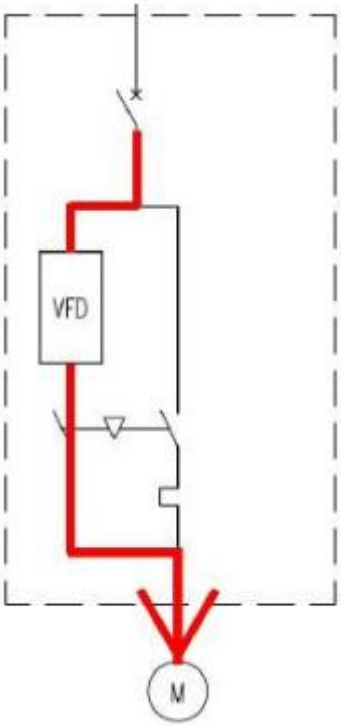


Рис.4.1 - Схема подачі живлення через інвертор

Для роботи ESS SYSTEM використовується наступні датчики:

Три датчики температури: 1) датчик температури вхідної морської води (центральний вхід охолоджувача); 2) датчик температури виходу морської води (центральний вихід охолоджувача); 3) датчик температури контуру прісної води (LT Water) (3-вихідний вихід клапана).

Один датчик тиску: 1) датчик тиску на вході морської води (центральний вхід охолоджувача).

Датчик диференціального тиску, який установлений для кожного із трьох насосів.

Режим очікування насоса режиму ESS (ESS Mode Pump Stand-by Control)

Для задоволення вимог класифікаційного товариства та стабільної роботи системи охолодження (MCSW) в автоматичному режимі інвертора (режим ESS), за наступних умов, режим очікування працює автоматично:

1) Збій головного живлення секції стартера насоса.

2) Перевантаження двигуна насоса.

3) Помилка інвертора насоса (див. Код помилки інвертора).

4) Перепад тиску працюючого насосу низький.

Для того, щоб максимально заощадити енергію, можна підтримувати один робочий стан насоса, а не два насоси.

4.3 Ручний режим інвертора

В Ручному режимі може керувати обертами насоса оператор незалежно від значення датчика або логіки управління ПЛК в системі ESS.

Однак робота нижче граничної частоти налаштування інвертора неможлива.

У ручному режимі управління насосом можливо за допомогою кнопки віддаленого запуску / зупинки.

Незважаючи на те, що панель не встановлена поблизу насоса, функція запуску / зупинки можлива для технічного обслуговування або тестування.

Завдяки використанню схеми дистанційного запуску / зупинки в ручному режимі, дистанційний пуск / зупинка можлива в іншій системі. Отже, різноманітність роботи насоса може бути можливим відповідно до окремо готової до схеми управління в іншій системі. Однак регулювання частоти на інверторі можливе в єдиній системі ESS. Тому для налаштування частоти інвертора можна використовувати лише сенсорний екран панелі ESS або віддалений сенсорний екран ESS (* Опція).

4.3 Режим обходу (By-Pass)

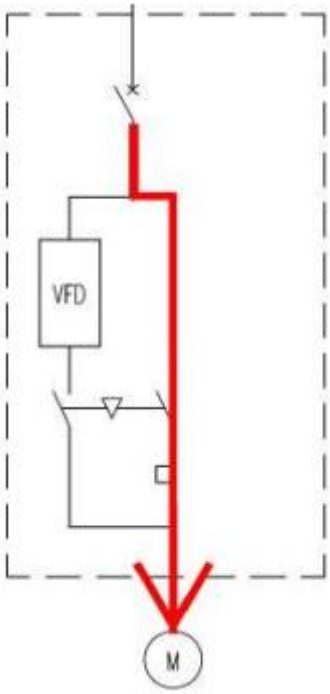


Рис. 3.2- Схема подачі живлення в режимі байпасу

Вибір “BY-P” режиму виконується за допомогою системної кнопки, світиться лампа “BY-PASS”, активація режиму бай-пасу.

Крім того, при збої системи ESS вона автоматично переходить у режим бай-пасу.

Якщо система ESS не може зберегти свою роботу, наприклад, не працює інвертор або не працює PLC, функція резервного копіювання підтримує систему охолодження морської води

Коли працює режим бай-пасу, живлення інвертора, яке пропонується насосом, блокується. І це примусово управляє насосом за допомогою прямого включення (DOL) до схеми живлення.

4.4 Режим обходу Автоматична зміна та автоматичний запуск (By-pass Mode Auto Change & Auto Start)

У режимі інвертора можна автоматично перейти в режим бай-пасу для стабільної роботи системи охолодження MCSW.

ESS автоматично переходить у режим бай-пасу за умови відмови системи ESS.

1) Помилка PLC.

2) Збої живлення секції керування (управління).

3) Система 3 насоси – із яких у 2-х несправність інвертора / Система 2 насоси – у 2-х несправність інвертора.

4) Система 3 насоса – у 2-х відмова стартера насоса / Система 2 насоса - у 2-х несправність стартера насоса.

Насос, який встановлений як резервний (за підрахунком часу, runtime), після автоматичної зміни бай-пасу, автоматично запускається.

Конфігурація логіки управління в іншій системі для управління «режимом бай-пасу», а потім сигнал команди запуску повинен бути переданий в ланцюг бай-пасного пуску панелі ESS.

4.4Режим байпасного управління насосом в режимі очікування (By-pass Mode Pump Stand-by Control)

У режимі бай-пасу управління в режимі очікування ESS автоматично працює в наступних умовах для стабільної роботи системи MCSW.

1) Збій головного живлення секції стартера насоса.

2) Перевантаження двигуна насоса.

3) Тиск нагнітання насоса низький (* Опція).

Селекторний перемикач контролера “SMC 505”, який встановлений на панелі, завжди вказується на “Автоматична зміна”, щоб використовувати режим Stand-by в режимі бай-пасу.

4.5 Блок-діаграма ESS

Блок-діаграма ESS приведена на рис. 4.3. та в додатку А.

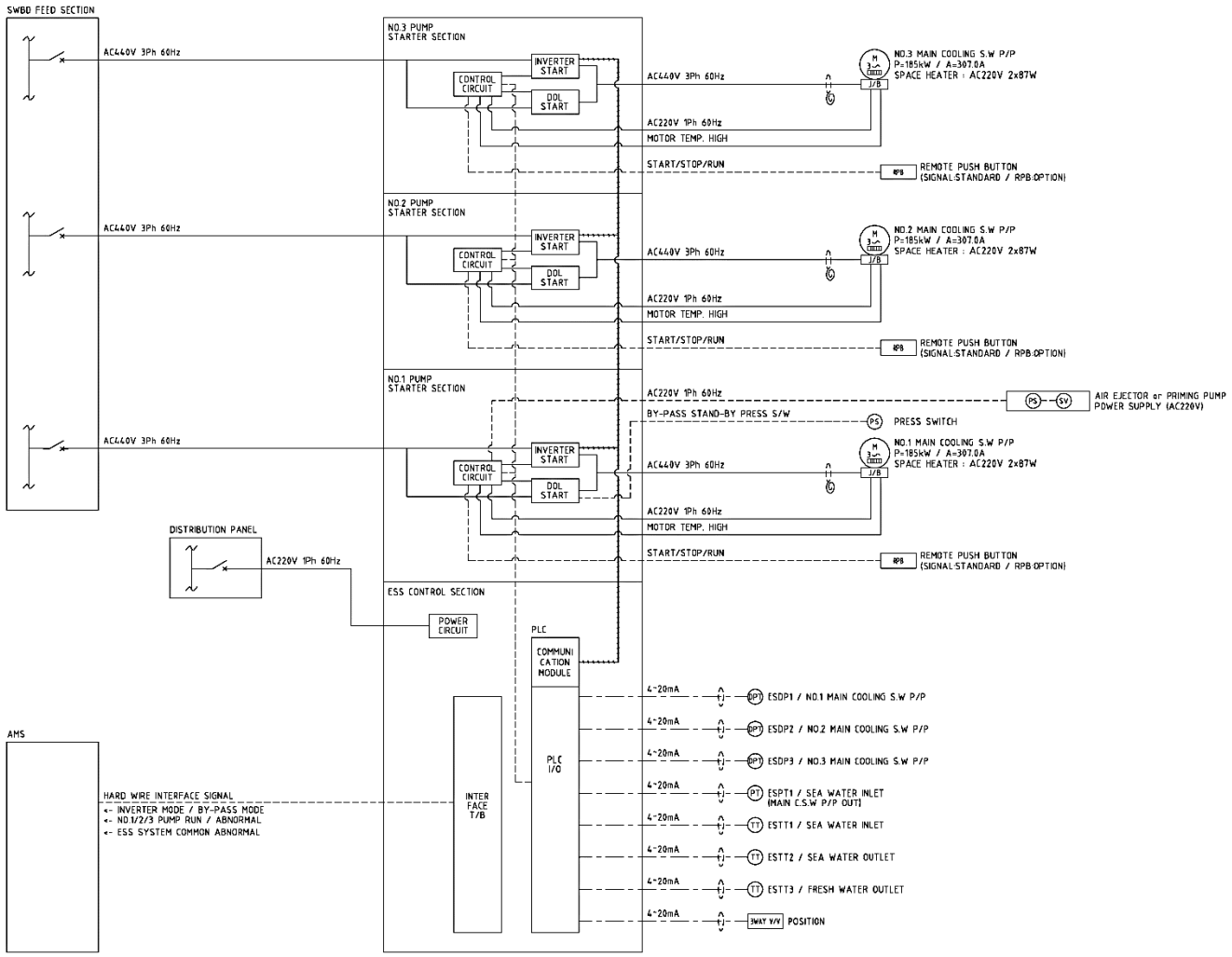


Рисунок 4.3 – Блок-діаграма системи охолодження судна

Вхідні сигнали панелі керування ESS наведені нижче (рис. 4.4):

1) Датчик температури вхідної морської води (центральний вхід охолоджувача) / ESTT1

2) Датчик температури виходу морської води (центральний вихід охолоджувача) / ESTT2

3) Датчик температури прісної води (LT Water) (3-х позиційний клапан) / ESTT3

4) Датчик тиску на вході морської води (центральний вхід охолоджувача) / ESPT1

5) Датчик тиску на виході з морської води № 1 охолоджувача L.T (центральний вхід охолоджувача) / ESPT2

6) Датчик тиску на виході з морської води No2 L.T (центральний вхід охолоджувача) / ESPT3

7) Датчик диференціального тиску для кожного насоса / ESDP(№1, №2, №3)

6) Положення ходового клапана / ESVV1

7) Реле тиску / ESPS(№1, №2, №3 – насоси).

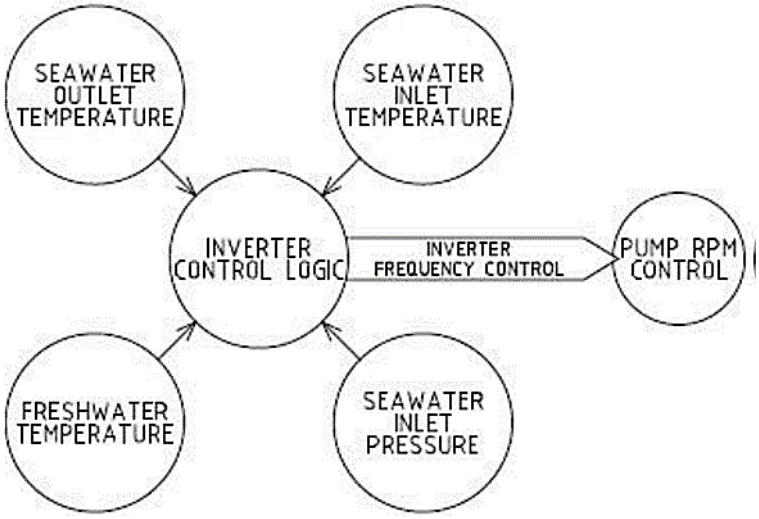


Рисунок 4.4 – Взаємозв’язок датчиків та їх сигналів

Склад обладнання одної панелі ESS схеми управління приведений на рис. 4.5.

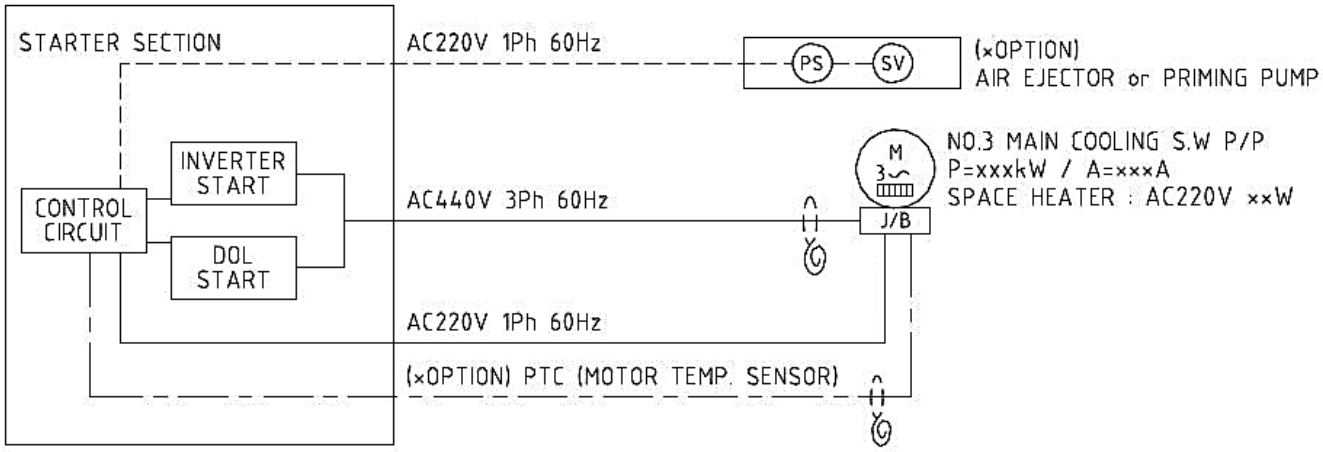


Рисунок 4.5 – Обладнання панелі ESS

Основний інтерфейс системи насосів охолодження такий:

- Блок живлення двигуна насоса.
- Блок живлення нагрівача двигуна насоса.
- Насос повітряного ежектора або блоку подачі живлення.
- Вхід сигналу датчика температури двигуна насоса PTC.

Захист системи інвертора:

На панелі ESS є захисні функції для стабільної роботи системи ESS. У системі ESS існує 4 види захисту:

1) Захист двигуна.

2) Захист інвертора.

3) Захист системи охолодження морської води.

4) Електричний захист панелі.

Захист двигуна: існує 2 типи захисних функцій двигуна, що відповідають режиму роботи в системі ESS.

1) Захист режиму інвертора:

У перетворювачах є різні захисні функції двигуна.

- Захист від перенапруги
- Захист від перенапруги / мінімальної напруги
- Захист від несправності лінії живлення
- Захист від замикання на землю

У режимі інвертора інвертори захищають двигуни за допомогою функцій інвертора.

2) Режим бай-пасу:

На панелі ESS встановлено теплове реле за струмом (OCR).

Точка спрацьовування OCR встановлює номінальний струм двигуна.

Сигнал відключення виводиться з OCR, якщо через насос перевантаження протікає 1,1 ~ 1,2 рази більше струму.

Час спрацьовування OCR залежить від кривої характеристики кожного реле.

Отже, використовується OCR, встановлений на панелі ESS

OCR, що використовується на панелі ESS, використовується для приборів класу Marine для забезпечення надійності роботи.

4.6.Захист системи охолодження системи морської води (Cooling Seawater System Protection)

Панель ESS призначена для економії енергії, тому, система охолодження морської води завжди підтримує мінімальні умови охолодження.

Але режим підтримання нормального стану системи охолодження відбувається відповідно до стану судна, стану охолоджувача та стану 3-ходового клапана.

Отже, статус морської води та LT прісної води слід перевіряти:

1) Захист температури на виході з морської води (температура на виході з охолоджувача)

Зазвичай система ESS постачає охолоджувачам мінімальну швидкість потоку. Якщо температура на виході з морської води перевищує встановлене значення, насоси працюють із повним навантаженням до тих пір, поки температура на виході з морської води не стане нижчою за встановлене значення.

2) LT захист від температури прісної води (3-х вихідний випуск клапана): якщо температура прісної води, що необхідна в системі LT, не підтримується і піднімається, обороти насоса слід підвищувати, поки температура не знизиться.

3) Захист від тиску на вході морської води (вхід охолоджувача): якщо мінімальний тиск морської води не підтримується для проходження охолоджувачів, обороти насоса слід підвищувати і не контролювати економію енергії.

4.7 Робота системи енергозбереження ESS

ESS-панеллю можна керувати за допомогою автоматичного регулювання та ручного керування для економії енергії. Панель розділена на секцію управління та секцію живлення (секція інвертора). Для економії енергії на панелі управління можна вибрати різні налаштування та режим. Силова секція управляється панеллю стартера, яка входить в ланцюг стартера. Статус пускової панелі та якість живлення можна перевірити. Таким чином, незалежна робота може експлуатуватися через бай-пас у стані відмови секції управління ESS і може працювати з мінімальною системою морської води. На рис. 4.6 представлені різні інтерфейсні пристрої для зручного управління оператором Touch screen Operating Panel.

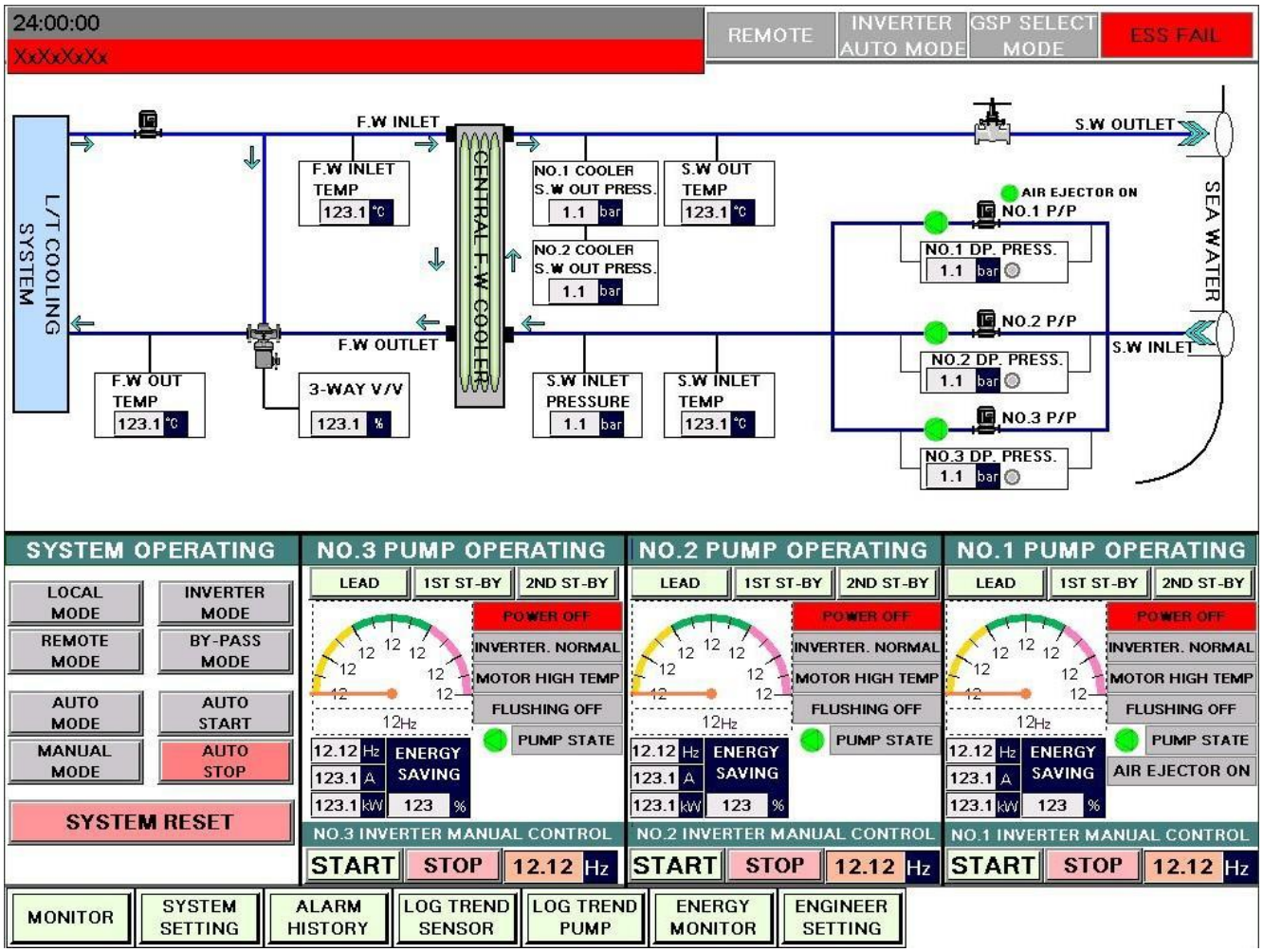


Рисунок 4.6 – Сенсорна панель управління ESS

Сенсорний екран для управління системою ESS складається загалом із семи сторінок (наприклад, сторінка моніторингу, сторінка налаштування ...).

1) Сторінка МОНІТОРИНГ: ця сторінка призначена для управління системою ESS та перевірки стану датчиків та даних та складається з 3 частин: - секції заголовка; секції моніторингу системи (рис. 4.7); секції керування (рис. 4.8).

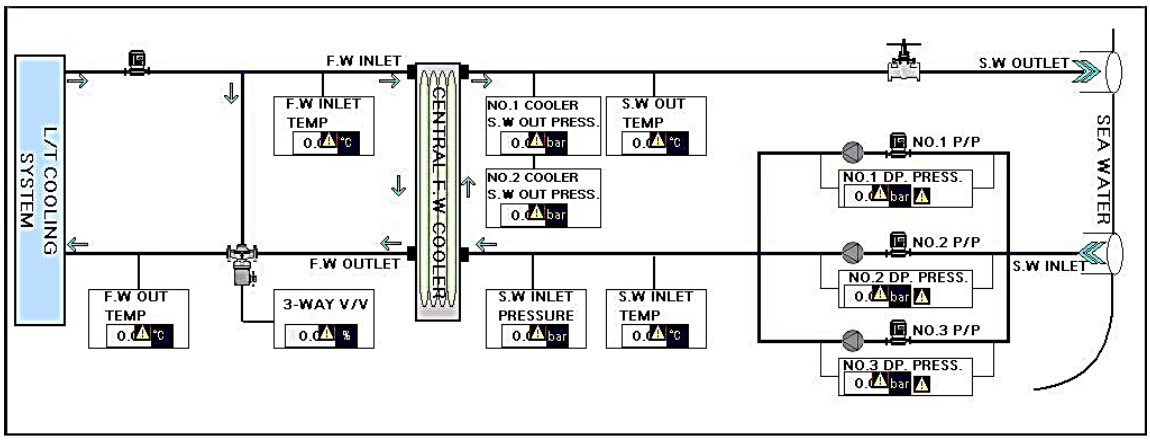


Рисунок 4.7 – Секція моніторингу ESS

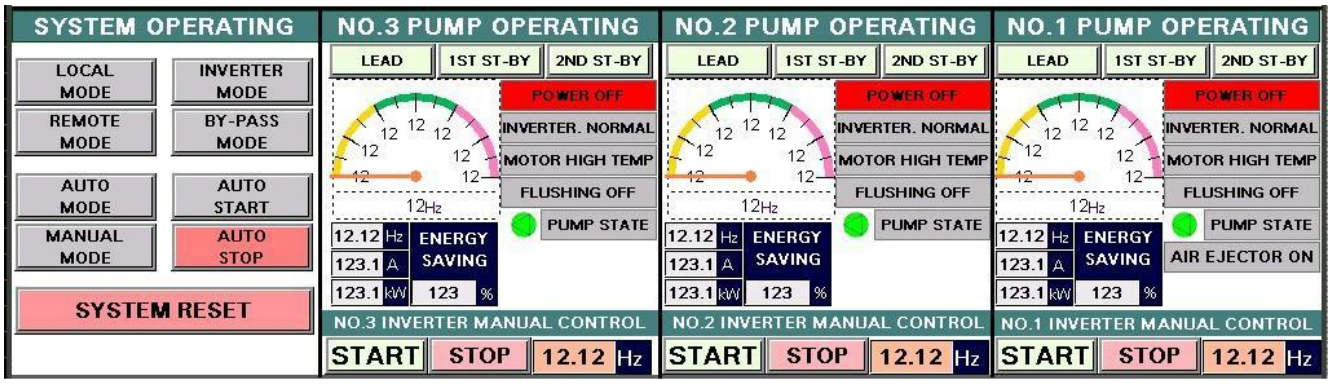


Рисунок 4.8 – Секція керування ESS

На цій сторінці записуються значення всіх датчиків через кожні 10 секунд (рис. 4.9), на іншій – фіксуються у вигляді таблиці (рис. 4.10).

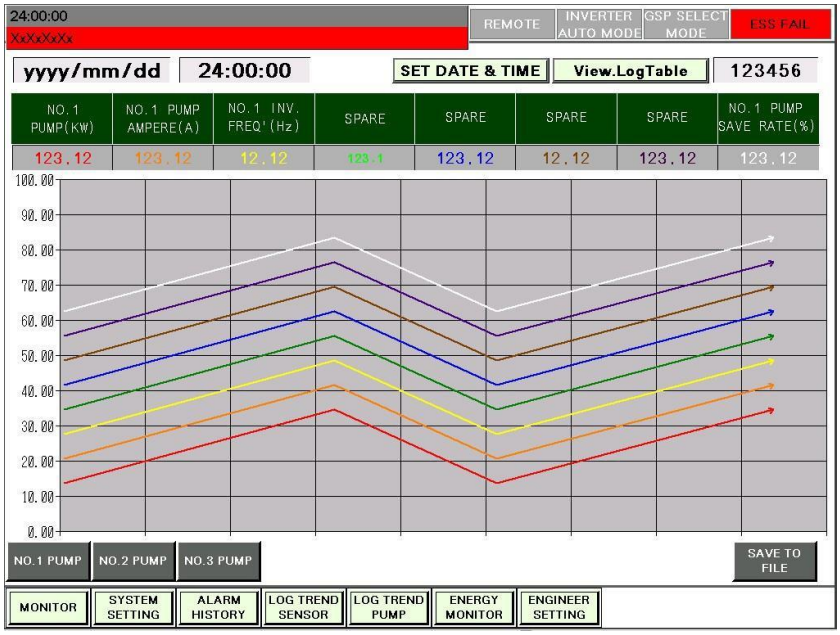


Рисунок 4.10 – Графічне представлення даних моніторингу

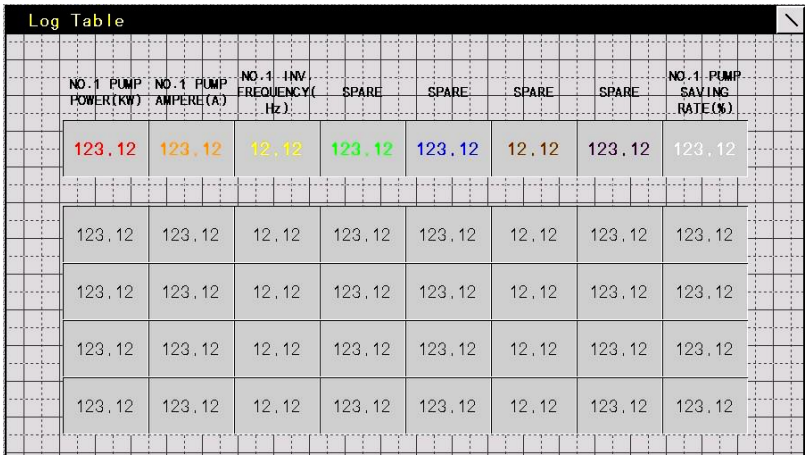


Рисунок 4.11 – Табличне представлення результату моніторингу параметрів

Сторінка ENERGY MONITOR: Ця функція призначена для автоматичного управління системою ESS. На цій сторінці можна встановити та контролювати розрахунок енергозбереження насоса (рис. 4.12).

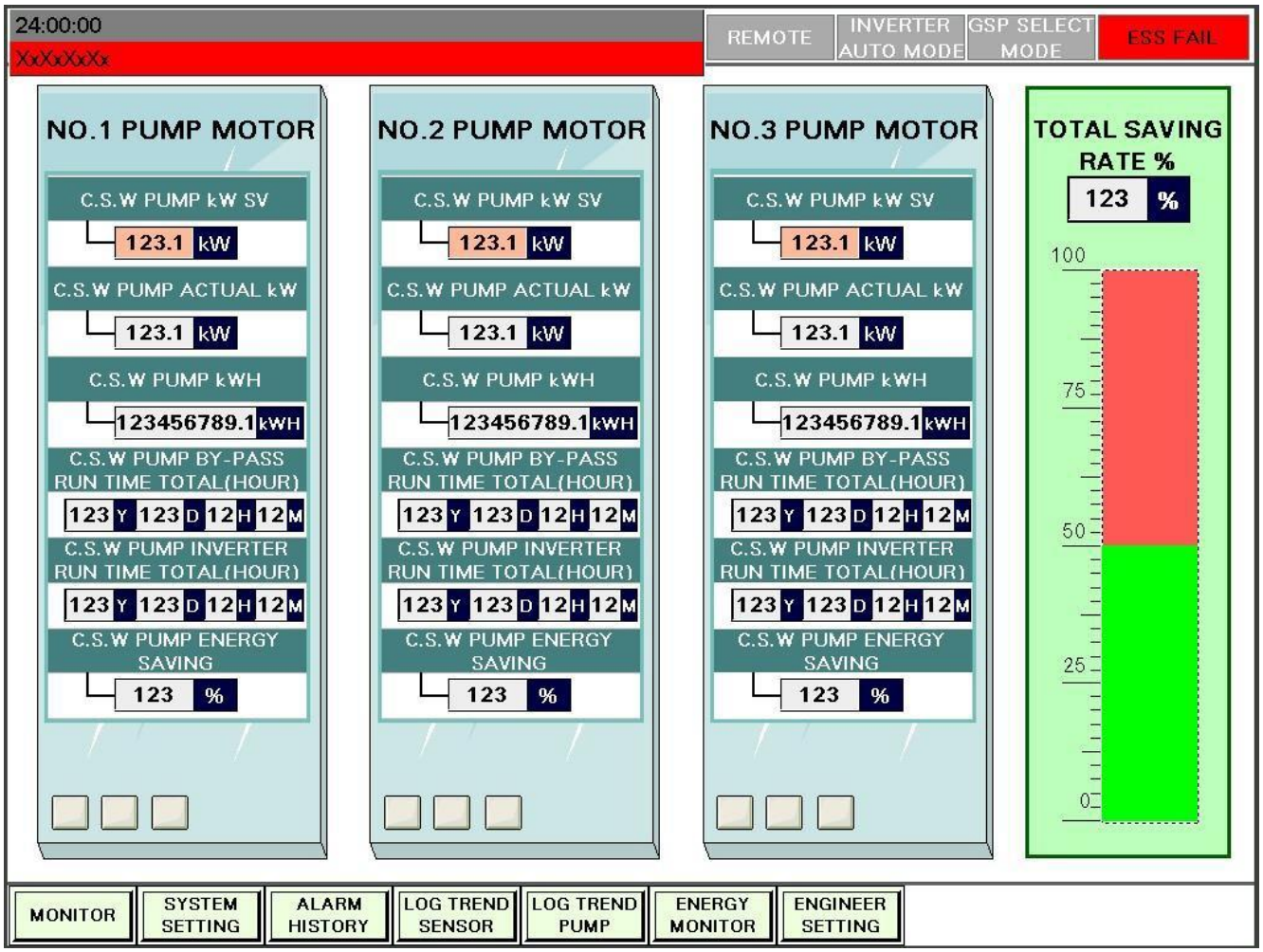


Рисунок 4.12 – Сторінка моніторингу енергії (розрахунок енергозбереження насоса)

Основні схеми системи охолодження судна MCSW та системи енергозбереження Energy Saving System з частотно-регульованими електроприводами наносів забортної води наведені в додатках А та Б.

4.8. Дані реального моніторингу

Моніторинг системи проводився з 01.01.2020 року по 18.06.2021 року (усього 534 дня). Кожного дня до таблиці вносилися дані температури забортної (морської

води), показники потужності першого і другого насосу, також показники сили струму, показники частоти на виході з VFD.

Рисунок 4.13 – Дані температури забортної води.

Оскільки судно працювало в різних регіонах з різними природними умовами, температура забортної води коливалась з 0.2 градусів по Цельсію (північ Канади), до 30.8 градусів (Персидський залив). Графік температури забортної води приведен на рисунку 4.13.

В залежності від вхідної температури забортної води на вході охолоджувача система корегувала швидкість обертів насосів для підтримки стабільної температури у контурі прісної води (приблизно 34 градуси). Корегування обертів проводилося шляхом пониження виходної частоти мережи з інвертора . Вслід цього змінювалися також показники потужності і сили струму. Усі дані моніторингу приведені нижче.

Рисунок 4.14 – Показники частоти на виході з VFD.

Рисунок 4.15 – Показники потужності на виході з VFD.

Рисунок 4.16 – Показники струму на виході з VFD.

Враховуючи дані с графіків 4.14., 4.15, 4,16 можна зробити висновок що система постійно реагує на зміну температури забортної води. При показниках температури нижче 22 С° система вважає достатньо використовувати лише один насос, частота мережи живлення для якого буде 40 Hz. Тоді основні показники мотору для насосу будуть в середньому 11KW , сила струму – 17,8 А.

Коли температура забортної води збільшується до 28 С°, система вважає доцільним використовувати один насос з показниками частоти 55 Hz, потужністю 16,3 KW і струмом 38,7 А.

При досягнені температури показників вище за 30 С°, система запускає другий насос . В цьому режимі обидва привода працюють з показниками потужності 20 KW , частоти 50 Hz, струму 30 А.

З отриманих вище даних робимо висновок що система зберігає 75 % електроенергії при температурі забортної води нижче 22 С°, 55% при температурі 28 С°, 25% для температури вище 30 С°.

ВИСНОВКИ

В результаті проведеної роботи були розглянуті основні системи охолодження судна, усі проблеми в методах їх регулювання. А саме – недоцільне велике електроспоживання (насос постійно працює на повну потужність) , а також кавітації і гідроудари. Обґрунтована доцільність використання частотно регульованого електроприводу, що дасть змогу зберігати значну кількість енергії , а також уникнути гідроударів завдяки плавному пуску.

Розрахована математична модель АД і проведено моделювання з використанням засобів моделювання системи Matlab і інструментальних засобів цієї системи: програмного пакету Simulink. Проведен аналіз моделювання.

Для керування частотно-регульованим електроприводом була обрана система ESS(Energy saving system) , яка за допомогою ПЛК і набору датчиків контролює параметри системи охолодження. Система має декілька режимів роботи , що полегшує експлуатацію. Усі елементи системи зарезервовані , що збільшує надійність.

З аналізу практичних даних що система ESS зберігає система зберігає 75 % електроенергії при температурі забортної води нижче 22 С°, 55% при температурі 28 С°, 25% для температури вище 30 С°.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ПОСИЛАНЬ

1. Лезнов Б. С. Энергосбережение и регулируемый привод в насосных и воздуходувных установках / Б. С. Лезнов. – М. : Энергоатомиздат, 2006. – 360 с.

2. Using Variable Frequency Drives (VFD) to save energy and reduce emissions in newbuilds and existing ships. Energy efficient solutions. Authors: Jan-Erik Räsänen (jan-erik.rasanen@fi.abb.com), Eric W Schreiber (eric.w.schreiber@us.abb.com). White paper - ABB Marine and Cranes. - ABB, 24.04.2012. - 11 p.

3. Кравец А. М. Особенности частотного управления электроприводом трубопроводной арматуры в гидротранспортном комплексе / А. М. Кравец, Т. В. Коренькова // Вісник Кременчуцького державного університету імені Михайла Остроградського. – Кременчук : КДУ, 2010. – Вип. 3/2010 (62), част. 1. – С. 18 – 21.

4. Керування кавітаційними процесами в насосному комплексі засобами регульованого електропривода : монографія / М. В. Загірняк, О. О. Сердюк, Т. В. Коренькова, Д. Й. Родькін – Харків : «ДРУКАРНЯ МАДРИД», 2016. – 153 с.

5. Закладной А. Н. Энергосбережение средствами промышленного электропривода / А. Н. Закладной, А. В. Праховник, А. И. Соловей. − К. : ДИЯ, 2001. – 343 с.

6. Алексеева Ю. А. Энергетическая эффективность регулируемого насосного агрегата при стабилизации технологического параметра / Ю. А. Алексеева, Т. В. Коренькова // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – Кременчук: КДПУ, 2007. – Вип. 3/2007 (44), част. 2. – С. 107–111.

7. Фираго Б. И. Регулируемые электроприводы переменного тока / Б. И. Фираго, Л. Б. Павлячик. – Минск: Техноперспектива, 2006. – 363 с.

8. Ильинский Н. Ф. Электропривод: энерго- и ресурсосбережение / Н. Ф. Ильинский, В. В. Москаленко. – М.: Академия, 2008. – 208 с.

9. Бур’ян С. О. Двоканальна екстремальна електромеханічна система автоматичного керування насосною установкою / С. О. Бур’ян, Т. В. Грищук // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків : НТУ «ХПІ», 2010. – № 28. – С. 176–179.

10. Попович М. Г. Енергозберігаючі інтерактивні адаптивні системи автоматичного керування насосними установками з векторно-керованими асинхронними двигунами / М. Г. Попович, М. В. Печеник, О. І. Кіселичник // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків : НТУ «ХПІ», 2008. – № 30. – С. 473–476.

11. Pechenik M. Experimental research of interactive energy saving controller of water supply pump based on flow rate measurement / M. Pechenik, O. Kiselychnyk, S. Buryan // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків : НТУ «ХПІ», 2010. – № 28. – С. 272–274.

12. Сердюк А. А. Особенности динамических процессов в гидротранспортных системах с учетом кавитационных явлений / А. А. Сердюк, Т.

В. Коренькова // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – Кременчук : КДПУ, 2006. – Вип. 4/2006 (39). – С. 35–41.

13. Пат. 68692 Україна, МПК′ F04D 13/00, F04D 15/00. Пристрій керування кавітаційними процесами в насосному комплексі / Т. В. Коренькова, Д. Й. Родькін, О. О. Сердюк ; заявник та власник Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського. – № u201110451 ; заявл. 29.08.11.; опубл. 10.04.12, Бюл. № 7. – 7 с. : іл.

14. Сердюк А. А. Эффективность системы управления кавитационными процессами в насосном комплексе / А. А. Сердюк, Т. В. Коренькова // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. Щоквартальний науково-виробничий журнал. – Кременчук : КрНУ, 2012. – Вип. 1/2012 (17). – С. 61–65.

15. Моделювння електромеханічних систем: Підручник / Чорний О.П., Луговой А.В., Д.Й.Родькін, Сисюк Г.Ю., Садовой О.В.– Кременчук, 2001. – 376 с.

16. Zagirnyak M., Kalinov A., Maliakova M. An algorithm for electric circuits calculation based on instantaneous power component balance // Przegląd Elektrotechniczny (Electrical Review). 2011. Vol. 87, Issue 12. P. 212–215. URL: http://pe.org.pl/articles/2011/12b/59.pdf

17. Усольцев А.А. Векторное управление асинхронными двигателями / Учебное пособие по дисциплинам электромеханического цикла, СПб: СПбГУ ИТМО, 2006. – 94 с.

18. Виноградов А.Б. Векторное управление электроприводами переменного тока / ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». - Иваново, 2008. - 297 с.

19. Математичні моделі та особливості чисельних розрахунків динаміки електроприводів з асинхронними двигунами: монографія / О. П. Чорний, О. І. Толочко, В. К. Титюк, Д. Й. Родькін, Г.С. Чекавський. – Кременчук: ПП Щербатих О. В, 2016. – 302 с.: іл.

20. Математичні методи моделювання : навчальний посібник / О. П. Чорний, В К. Титюк, Н. М. Істоміна та ін. ; заг. ред. О. П. Чорний. – Кременчук : ПП Щербатих О. В., 2016. – 232 с. : іл.

21. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink. – М.: ДМК Пресс; СПб: Питер, 2008. – 288 с.

22. Копылов И.П. Математическое моделирование электрических машин: Учеб. для вузов. – 3-е изд., перераб и доп. – М.: Высшая школа, 2001. – 327 с.: ил.

23. Калачев Ю.Н. Векторное регулирование (заметки практика), 2013 – 63 с.

24. Бронов С.А., Мараескул А.В. Автоматизированное проектирование электромеханических систем / Учебное пособие по теоретической подготовке - 122 с.

25. Плахтина О.Г. та ін. Частотно-керовані асинхронні та синхронні електроприводи: Навч. посібник / О.Г. Плахтина, С.С. Мазепа, А.С. Куцик. – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2002. – 228 с.

26. Браславский И.Я., Ишматов З.Ш., Поляков В.Н. Энергосберегающий асинхронный електропривод. – М.: ИЦ Академия, 2004. – 249 с.