

Міністерство освіти і науки України
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова
Херсонська філія

Енерготехнічний факультет
Кафедра автоматики та електроустаткування

Рекомендовано до захисту
Завідувач кафедри автоматики та
електроустаткування
_____ Михаліченко П.Є.
(підпис) (прізвище ініціали)
«___» _____ 20__ року

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи магістра

на тему: «Розробка системи керування електропривода насоса суднової
системи змащення»

Здобувач 6 курсу, групи 6367зм
за спеціальністю: 141 «Електроенергетика
Електротехніка та електромеханіка»
(шифр і назва спеціальності)
Освітньо-професійна програма:
«Експлуатація суднових автоматизованих
(назва)
систем»

Шевченко В.С. _____
(прізвище та ініціали) (підпис)

Керівник Білюк І.С. _____
(прізвище та ініціали) (підпис)

Рецензент Гаврилов С.О. _____
(прізвище та ініціали) (підпис)

м. Херсон - 2020 року

Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова

Херсонська філія

(повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет, відділення Енерготехнічний

Кафедра, циклова комісія Автоматики та електроустаткування

Освітньо-кваліфікаційний рівень другий, (магістерський)

Галузь знань 14 «Електрична інженерія»

(шифр)

Спеціальність 141 «Електроенергетика електротехніка, та електромеханіка»

(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма «Експлуатація суднових автоматизованих

(назва)

систем»

(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри автоматики
та електроустаткування

Михаліченко П.Є.

“ ____ ” _____ 20__ року

З А В Д А Н Н Я НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Шевченко Володимир Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Розробка системи керування електропривода насоса суднової системи змащення

Керівник роботи: Білюк І.С., к.т.н., доцент

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від “ ____ ” _____ 20__ року № ____

2. Строк подання здобувачем роботи _____

3. Вихідні дані до роботи: були отримані в ході проходження науково-педагогічної практики та експлуатаційної, переддипломної практик

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): 1) Характеристика суднової системи змащення; 2) Виклад загальних підходів і основних методів дослідження; 3) Розрахункова частина, аналіз і узагальнення результатів дослідження; 4) Охорона праці.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): презентація в електронному вигляді

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Характеристика суднових систем змащення		
2	Виклад загальних підходів і основних методів дослідження		
3	Розрахункова частина, аналіз і узагальнення результатів дослідження		
4	Аналіз основних правил міжнародної конвенції MARPOL-73/78		

Здобувач

(підпис)

Шевченко В.С.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Білюк І.С.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Об'єм пояснювальної записки становить 91 аркуш, вона містить 4 розділи, 27 рисунків, 5 таблиць, 21 найменування в списку використаної літератури. Мультимедійна презентація представлена на 11 слайдах.

Об'єктом дослідження є перехідні процеси в розробленій системі керування електропривода насоса суднової системи змащення.

Предметом дослідження є показники якості керування в розробленій системі керування електропривода насоса суднової системи змащення.

Метою роботи є розробка системи керування електропривода насоса суднової системи змащення.

В роботі розроблено систему керування електропривода насоса А1 ЗВ 4/160-5,8/160Б перекачування мастила суднової системи змащення. Застосовано систему скалярного керування, наведено її функціональну і структурну схеми. В автоматизованому електроприводі насоса суднової системи змащення використано асинхронний двигун RA200LB2 потужністю 37 кВт з частотою обертів 2950 об/хв та перетворювач частоти C200-4T-0370 потужністю 37 кВт.

В роботі виконано синтез структури і розрахунок налаштувань регуляторів системи скалярного керування електропривода насоса А1 ЗВ 4/160-5,8/160Б перекачування мастила суднової системи змащення, побудовано перехідні характеристики за швидкістю. Отримано основні показники якості керування: перерегулювання – 15,1 %, час перехідного процесу 0,9 с.

Також, в кваліфікаційній роботі магістра приділена увага аналізу основних правил міжнародної конвенції MARPOL-73/78.

Ключові слова: система керування, автоматизований електропривод, насос, суднова система змащення, перехідні процеси системи, показники якості керування.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 ХАРАКТЕРИСТИКА СУДНОВИХ СИСТЕМ ЗМАЩЕННЯ	8
1.1 Характеристика суднових систем змащення	8
1.2 Приймання і зберігання мастила на судні	13
2 ВИКЛАД ЗАГАЛЬНИХ ПІДХОДІВ І ОСНОВНИХ МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ	22
2.1 Загальні підходи до вивчення та удосконалення технічного обладнання, структурно-логічна схема дослідження	22
2.2 Метод частотного керування асинхронним електроприводом насоса суднової системи змащення	27
2.3 Скалярні системи керування електроприводами турбомеханізмів	31
2.4 Розімкнуті системи скалярного керування електроприводами насосів суднових систем змащення	31
2.5 Замкнуті системи скалярного керування електроприводами насосів суднових систем змащення	35
2.6 Метод керування електропривода насоса суднової системи змащення з перетворювачем частоти C200	43
2.7 Панель керування та схема підключення перетворювача C200	50
3 РОЗРАХУНОВА ЧАСТИНА, АНАЛІЗ І УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ	54
3.1 Вибір приводного електродвигуна насоса суднової системи змащення ..	54
3.2 Вибір перетворювача частоти	58
3.3 Синтез структури і розрахунок регуляторів системи керування електропривода насоса суднової системи змащення	59
3.4 Побудова перехідних процесів за швидкістю	63

4 АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ПРАВИЛ МІЖНАРОДНОЇ КОНВЕНЦІЇ MARPOL-73/78	68
4.1 Основні правила міжнародної конвенції MARPOL-73/78	68
4.2 Методи запобігання нафтового забруднення з суден при плаванні в особливих районах	77
4.3 Технічне обслуговування електропривода насоса суднової системи змащення	84
ВИСНОВКИ	89
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРА	90

ВСТУП

Частотно-регульований електропривод використовується в системах автоматичного керування електропривода суднових систем змащення, щоб з його допомогою привести у відповідність режим роботи насосів з режимом роботи обслугованої системи подачі рідини.

Характер зміни переміщення рідини визначається випадково-імовірнісними законами. Щоб відстежувати ці зміни, необхідно безперервно регулювати режим роботи електропривода насоса.

Процес регулювання ускладнюється невідповідністю характеристик насосів і трубопроводів. Щоб подати збільшені витрати води по трубопроводу, напір на насосній станції треба збільшувати, а характеристики насосів такі, що при збільшенні подачі рідини напір, що розвивається насосом, падає. У той же час при зменшенні подачі рідини напір насоса варто було б теж зменшити, а він збільшується. Тому в періоди зменшеного споживання системи постачання працюють з надлишковим тиском, який гаситься в дроселюючих пристроях або в водорозбірній арматурі. При цьому енергія, споживана насосами, нераціонально витрачається на створення надлишкових напорів, під впливом яких збільшуються витoki і непродуктивні витрати рідини, виникають підвищені механічні напруги в стінках труб. Аналогічні явища мають місце в різних типах насосних систем.

Невідповідність в режимах роботи насосів і трубопроводів може бути усунена зміною частоти обертання насосів, яка повинна регулюватися відповідно зі змінами споживання. При зменшенні частоти обертання насоса зменшується його подача рідини і створюваний ним напір. При збільшенні частоти обертання напір збільшується одночасно зі збільшенням подачі рідини.

Регулюванням частоти обертання насоса його робочі параметри приводяться у відповідність з режимом роботи обслугованої системи. Щоб

змінити частоту обертання насоса, необхідний автоматизований електропривод. Значення частоти обертання насоса, з якої він повинен працювати в той чи інший момент часу, визначається системою керування електропривода насоса.

Об'єктом дослідження є перехідні процеси в розробленій системі керування електропривода насоса суднової системи змащення.

Предметом дослідження є показники якості керування в розробленій системі керування електропривода насоса суднової системи змащення.

Метою роботи є розробка системи керування електропривода насоса суднової системи змащення.

Для проведення аналізу проблем, що розглядаються в дослідженні, та у відповідності з поставленою метою необхідно вирішити наступні задачі:

1. Провести огляд та аналіз літератури з питань дослідження. Проаналізувати характеристики суднових систем змащення, способи приймання та зберігання мастила на судні, основні типи насосів системи змащення.

2. Розробити систему керування електропривода насоса перекачування мастила суднової системи змащення, розглянути її функціональну і структурну схеми.

3. Виконати синтез структури і розрахунок налаштувань регуляторів системи керування, встановити показники якості керування розробленої системи керування електропривода насоса суднової системи змащення.

4. Проаналізувати основні правила міжнародної конвенції MARPOL-73/78.

РОЗДІЛ 1

ХАРАКТЕРИСТИКА СУДНОВИХ СИСТЕМ ЗМАЩЕННЯ

1.1 Характеристика суднових систем змащення

Системи змащення призначені для прийому, перекачування, зберігання, очищення і подачі мастила до місць охолодження і змащування деталей головних і допоміжних машин і механізмів, а також для видачі його іншим суднам [1-4].

Система змащення в суднових енергетичних установках (СЕУ) служить для змащування і відведення теплоти від тертьових поверхонь двигунів, механічних передач, дейдвудних, опорних і упорних підшипників валопроводів, охолодження поршнів дизелів (в дизелях до 8-12 % теплоти палива відводиться з циркуляційним мастилом), а також для приймання, зберігання, перекачування, підігріву та очищення мастила.

Циркуляційні системи змащення поділяються на напірну, гравітаційну і напірно-гравітаційну [5-7].

Напірна система змащення передбачає циркуляцію мастила під тиском, створюваним головним мастильним насосом, по замкнутому контуру: стічно-циркуляційна цистерна – головний мастильний насос – фільтр – мастилоохолоджувач – споживачі – стічно-циркуляційна цистерна. Тиск мастила в системі 0,3-0,5 МПа, а на окремих ділянках і вище, залежно від типу двигуна.

Напірну систему циркуляційного змащування широко застосовують в СЕУ. Її використовують в головних і допоміжних двигунах всіх типів.

Системи змащення дизельних двигунів можуть бути з сухим і мокрим картером. При мокрому картері мастило, що заливається в систему змащення, знаходиться в нижній його частині (піддоні). При сухому картері стікає мастило, що стікає з підшипників, безперервно видаляється з нього

(самопливом або насосом) і спрямовується до спеціального мастилозбірника (циркуляційну цистерну). На річкових суднах важко розмістити мастилозбірник нижче картера, тому його розташовують вище, що змушує в циркуляційній системі використовувати два насоси: один (відсмоктувальний), який перекачує мастило з картера в клоаку, а другий (нагнітальний) подає його з мастилозбірника в двигун.

Дизелі малої потужності (високооборотні), що застосовуються на суднах в якості допоміжних, зазвичай мають систему змащення з мокрим картером. Ця система відносно проста і автономна. Схема її наступна: мастило з картера через приймальний фільтр подається насосом в здвоєний фільтр грубої очистки і далі в терморегулятор, який в залежності від температури мастила регулює потоки, що надходять в охолоджувач або в обхід нього. Після охолоджувача обидва потоки змішуються, і мастило надходить в головну розподільну магістраль дизеля, звідки воно направляється до підшипників колінчастого і розподільного валів, головної втулки, на охолодження поршнів, на змащення передач, навішаних механізмів та інших вузлів і деталей. Від змащувальних деталей мастило самопливом йде в картер.

У гравітаційній системі на відміну від напірної охолоджене мастило надходить до місць змащення в результаті природного напору від розташованих високо в машинному відділенні напірних цистерн. Під час роботи систем напірні цистерни безперервно поповнюються мастилом, що подається насосом зі стічної цистерни двигуна. Тиск мастила в системі змащення 0,07-0,1 МПа і залежить від висоти розташування напірної цистерни змащення.

Кількість мастила, що підводиться до змащувальних поверхонь, визначається в залежності від призначення системи. При мащенні тертьових поверхонь малонавантажених деталей і вузлів, теплота тертя яких

розсіюється в навколишнє середовище або відводиться іншою охолоджувальною рідиною, витрата мастила невеликі.

Коли мастило подається до високонавантажених деталей і вузлів тертя, а теплота, що виділяється при їх роботі, не може розсіюватися в навколишнє середовище при допустимих в експлуатації температурних умовах і їх охолодження іншими способами не передбачено, витрата мастила визначаються як з потреб мастила, так і з умови відведення циркуляційним мастилом теплоти, що еквівалентне роботі тертя. Визначена в такий спосіб кількість мастила може бути в багато разів більша за ту, що витрачається тільки для змащування поверхонь.

Характеристики обладнання систем змащення залежать від призначення системи, кількості теплоти, що відводиться мастилом, і допустимого підвищення температури мастила в процесі циркуляції.

Залежно від їх основного призначення розрізняють мастильні трубопроводи: приймальноперекачувальний, циркуляційної системи змащення, проточної системи змащення, сепарування мастила, дренажний, підігріву мастила.

При проєктуванні системи змащення повинні бути забезпечені: працездатність системи при всіх можливих умовах експлуатації, живучість, резервування, ремонтпридатність і зручність експлуатації, технологічність, уніфікація і агрегування механізмів, устаткування, труб і арматури, ударо- і вібростійкість, рівні інтенсивності повітряного шуму і вібрації в відповідності до вимог, що пред'являються до цих систем, спеціальні вимоги, обумовлені технічним завданням на проєктування суден (придатність до експлуатації в тропічних і арктичних умовах і т.д.). Крім того, термін служби системи до списання повинен бути рівним терміну служби судна за умови заміни відповідних елементів в період ремонтів; для кожного сорту мастила має бути принаймні один приймальноперекачувальний трубопровід.

Найбільш складну систему змащення мають дизельні установки великої потужності, які можуть включати в себе наступні незалежні системи: напірну циркуляційну головного двигуна і охолодження його поршнів (якщо поршні охолоджуються мастилом); гравітаційну (або циркуляційну) газотурбонаддувних агрегатів; напірну циркуляційну приводів паливних насосів; лінійну змащення циліндрів; циркуляційну редукторних і гідродинамічних передач; напірну змащення допоміжних двигунів.

Комплектація, конструювання та виготовлення систем змащення здійснюються відповідно до Регістру судноплавства України і галузевими правилами та нормами проєктування.

Система змащення головних двигунів повинна обслуговуватись двома мастильними циркуляційними насосами, один з яких є резервним з незалежним приводом. При розташуванні двох головних двигунів в одному машинному відділенні допускається мати один резервний насос на два двигуна.

Необхідна кількість мастила в системі залежить від кратності його циркуляції і може бути визначено за питомим обсягом (в середньому).

Циркуляційна система дизелів характеризується наступними показниками: кратністю циркуляції мастила, питомим мастилопоток, питомою місткістю. Оптимальна кратність циркуляції, що забезпечує максимальну довговічність мастила дизелів, становить при водяному охолодженні поршнів не більше 10 1/год, при охолодженні поршнів мастилом від загальної циркуляції системи 5-7 1/год. Зменшення кратності циркуляції в два рази збільшує термін старіння мастила в три-чотири рази.

Показники системи змащення приймаються за технічною документацією головного двигуна або на підставі дослідних середніх значень (табл. 1.1).

Питома витрата (угар) циркуляційного мастила залежить від типу і потужності двигуна. У малооборотних дизелях він становить 0,8-1,3, в

середньооборотних двигунах внутрішнього згоряння (ДВЗ) – 1,3-2,0 і в допоміжних дизелях – 2,0-4,0 г/(кВт·год). Менші значення питомої витрати мастила характерні для двигунів більшої потужності.

Таблиця 1.1 – Характеристики систем змащення

Об'єкт мащення	Кратність циркуляції	Питома кількість мастила, л/кВт	Періодичність зміни мастила, год	Питома витрата мастила, г/(кВт·год)
ДВЗ:				
малооборотний	4-15	1,4-8	15000-20000	0,4-1,1
середньооборотний	25-40	1,4-8	1000-10000	1, 2,5
середньооборотний з підвищеною частотою обертання	50-60	1, 1,5	800-1000	3-5
високооборотний	75-90	0,5-1,5	500	4-5
високооборотний з підвищеною частотою обертання	80-100	0,25-0,6	300	5-7
Турбокомпресор	7-12	0,07-0,15	500	5-10
Редуктор	5-15	1-1,2	1000-20000	0,02
Паротурбінна установка (ПТУ)	15-20	1,4	15000-20000	0,06
Газотурбінна установка (ГТУ)	18	1,4	1000-2000	0,14-0,16

Питома витрата мастила в головних турбінних двигунах не перевищує 0,06-0,07 г/(кВт·год).

Під час роботи енергетичної установки мастило витрачається в головних і допоміжних двигунах, механізмах та інших споживачах за рахунок витоків, чаду і втрат при сепарування.

На судні зберігається запас мастила, який йде на заповнення втрат і на зміну мастила в циркуляційної системі головних двигунів в разі аварійного обводнення його морською водою або забруднення після закінчення терміну служби мастила.

Згідно з правилами Регістру судноплавства України місткість запасних мастильних цистерн повинна бути достатньою для заповнення системи мастилом до робочого стану. Тому запас циркуляційного мастила коливається в межах 40-100%.

1.2 Приймання і зберігання мастила на судні

Приймальноперекачувальний мастильний трубопровід служить для приймання мастила з палуби і подачі його до місця зберігання; перекачування або заповнення мастилом стічно-циркуляційних цистерн головних і допоміжних двигунів, редукторів, гідромуфт і заповнення мастильних баків інших механізмів; відкачування відпрацьованого мастила в цистерни котельного палива.

Система перекачування і сепарування мастила забезпечує сепарування мастила в стічно-циркуляційних цистернах; заповнення чистим мастилом стічно-циркуляційних цистерн і мастильних баків двигунів з цистерн запасу; перекачування і сепарування відпрацьованого мастила в цистерну чистого мастила.

Прийом мастила, як і палива, на судно проводиться закритим способом позасудовими засобами з берега (або з судна-заправника) через наливні палубні втулки або прийомні патрубки, що розташовані в станціях

приймання та видачі палива і мастила. Ці ж патрубки використовують і для видачі мастила з судна. При прийомі невеликих кількостей мастила, що подається на судно в бочках, його перекачують переносним агрегатом перекачування палива і мастила. Діаметр прийомних патрубків визначають з розрахунку прийому необхідного запасу мастила на судно за 2-3 год при тиску не більше 0,2 МПа.

Цистерни запасу мастила рекомендується розташовувати поза подвійним дном. Їх, як правило, виготовляють вкладними і встановлюють в МО уздовж бортів або перегородок на деякій висоті від другого днища для того, щоб можна було самопливом заповнювати стічно-циркуляційні цистерни двигунів і редукторів. Цистерни запасного мастила необхідно обладнати переливним трубопроводом в цистерну відпрацьованого мастила.

Якщо пропульсивна установка розміщена в двох машинних відділеннях, для забезпечення живучості цистерни для зберігання мастила рекомендується розташовувати в кожному машинному відділенні з окремими приймачами мастила для кожного відділення.

Принципова схема прийому, видачі, перекачування і сепарування мастила дизельної установки з малооборотним дизелем (МОД) типу ДКРН транспортного рефрижератора показана на рис. 1.1.

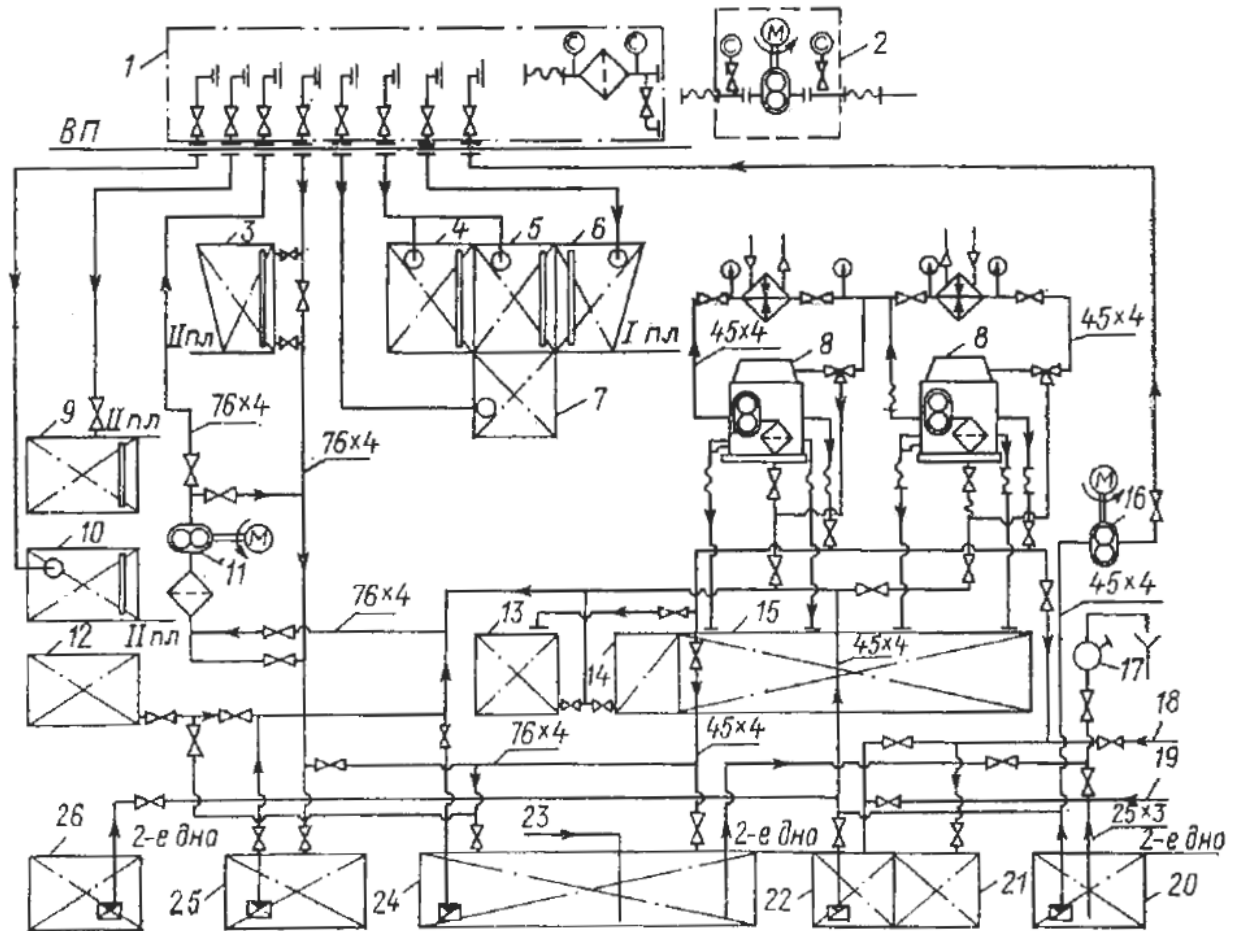


Рисунок 1.1 – Схема приймання, видачі, перекачування і сепарації мастила установки з малооборотним дизелем типу ДКРН

Позначення на рис. 1.1:

- 1 – приміщення приймання і видачі палива і мастила;
- 2 – переносний мастильний навантажувальний агрегат;
- 3 – цистерна запасу мастила головного двигуна (ГД);
- 4, 5 – цистерни запасу циліндрового мастила;
- 6 – цистерна запасу мастила ДГ;
- 7 -цистерни запасу турбінного мастила;
- 8 – відцентровий сепаратор;
- 9 – цистерна запасу мастила дейдвудного пристрою;
- 10 – цистерна запасу компресорного мастила;
- 11 – перекачувальний насос;

- 12 – цистерна збору мастила від продування фільтрів ГД;
- 13 – цистерна сепарованого мастила;
- 14 – цистерна збору протікання від сальників штоків поршнів;
- 15 – цистерна шламу;
- 16 – насос перекачування протікання палива і мастила;
- 17 – ручний насос зачистки цистерн;
- 18 – мастило з мастильних баків ДГ;
- 19 – зливання мастила з картерів ГД;
- 20 – цистерна збору протікання палива і мастила;
- 21, 22 – цистерна сепарованого і відпрацьованого мастила ГД відповідно;
- 23 – слив мастила від ГД;
- 24, 25 – цистерна стічно-циркуляційна і відпрацьованого мастила ГД відповідно;
- 26 – цистерна зливна дейдвудного пристрою.

Мастило всіх сортів на судно приймають в цистерни запасу несудновими засобами через фільтр, наявний в приміщенні приймання палива і мастила, по окремих трубопроводах. Мастило деяких сортів на судно надходить в бочках, тоді його заливають у відповідні цистерни з допомогою переносного мастильного перекачувального агрегату. Цистерни запасу мастила розташовуються в машинному відділенні і в коридорі гребного валу.

Видача мастила головних і допоміжних двигунів здійснюється мастильним перекачувальним насосом.

У систему включені сепаратори мастила (основний і резервний), що призначені для підготовки мастила двигунів очищенням його від механічних домішок і води під час роботи установки. Сепаратори забезпечені системою програмного керування, що забезпечує автоматичне розвантаження барабанів сепаратора під час його роботи. На пневматичну схему в центральний пост

керування (ЦПК) виведена сигналізація про знеструмлення і несправності системи, контролю за температурою мастила при сепарування і кнопка дистанційної зупинки сепаратора.

Стічно-циркуляційну цистерну головного двигуна (ГД) поповнюють з цистерни запасу ГД по трубопроводу самопливом через відповідні клапани.

Масляні ємності електричного компресора заповнюють вручну переносною тарою з запасно-видаткової цистерни компресорного мастила.

Очищення мастила дизель-генераторів під час їх роботи здійснюється відцентровими очисниками, вбудованими в мастильний бак двигуна.

У разі сильного забруднення мастило сепарують резервним відцентровим сепаратором, наявним в системі. Для цього систему готують таким чином, щоб вона була відключена від системи ГД щоб уникнути змішування різних сортів мастил. Якщо мастило відпрацювало встановлений термін (М10В₂ – 750 год, М10Г₂ ЦС – 1500 год), воно не підлягає подальшому сепарування і насосом перекачування протікання палива до мастила видається на палубу для здачі судну-збирачеві або перекачується в відстійну цистерну важкого палива ГД для спалювання.

Видача відпрацьованого мастила ГД здійснюється мастилоперекачувальним насосом по самостійному трубопроводу через станції приймання палива і мастила. Зачистка стічно-циркуляційної цистерни ГД проводиться ручним насосом.

В системі повинен бути передбачений стічний трубопровід (на рис. 4.1 не показаний), що з'єднує піддони всіх цистерн (крім міждонних) з цистерною протікань палива і мастила.

Трубопроводи виконані з сталевих безшовних труб, що мають такі діаметри, мм: 89×4, 76×4, 57×5, 45×4, 38×4, 25×3, 14×2. Арматура сталева.

На рис. 1.2 показана частина системи приймання, перекачування і сепарації мастила паротурбінної установки з автономними підігрівачами для сепарованого мастила і його підігріву в стічно-циркуляційної цистерні перед

введенням ГТЗА в дію. В системі може бути передбачений один (загальний) підігрівач мастила.

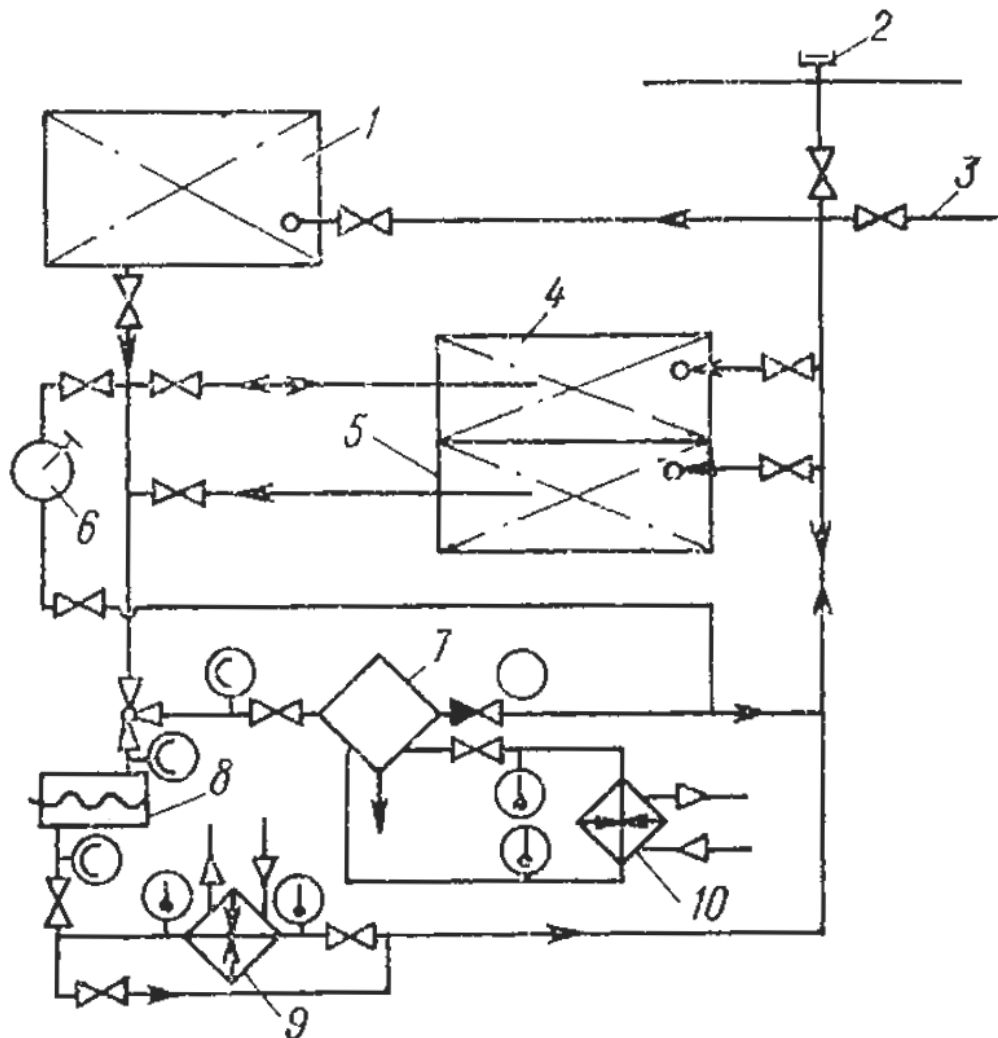


Рисунок 1.2 – Схема приймання, перекачування і сепарації мастила ГТЗА

Позначення на рис. 1.2:

- 1 – цистерна запасу турбінного мастила;
- 2 – палубна втулка;
- 3 – трубопровід до палубної втулки іншого борту;
- 4 – стічно-циркуляційна цистерна ГТЗА;
- 5 – цистерна відпрацьованого мастила;
- 6 – ручний насос осушення цистерн;
- 7 – сепаратор;

6 – мастильний перекачувальний насос;

9 – зовнішній підігрівач мастила;

10 – підігрівач мастила сепараторів.

Спрощена принципова схема трубопроводів прийому, перекачування і сепарування мастила газотурбінної установки з теплоутилізаційним контуром (ТУК) двохвального ролкера представлена на рис. 1.3.

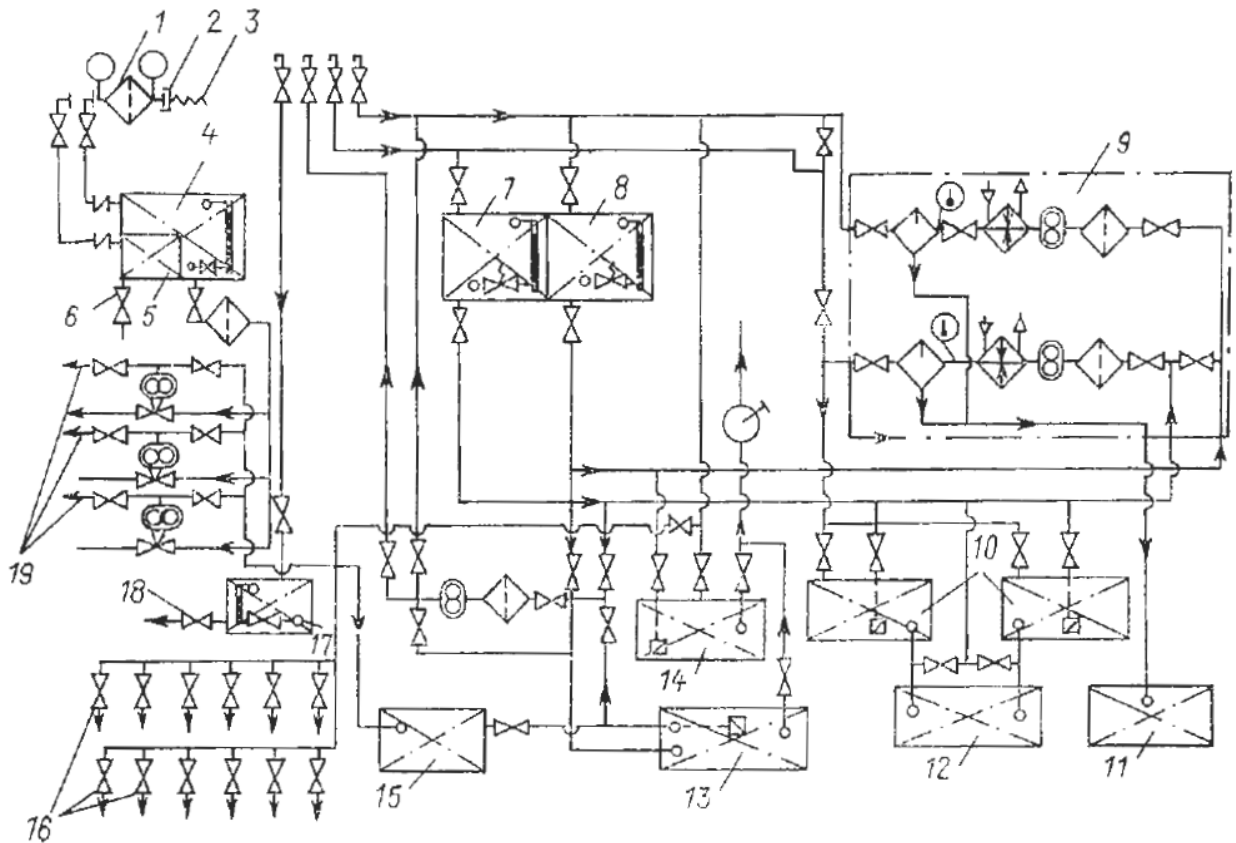


Рисунок 1.3 – Принципова схема приймання, видачі, перекачування і сепарації мастила газотурбінною установкою з теплоутилізаційним контуром (ТУК)

Позначення на рис. 1.3:

1 – палубний фільтр;

2 – палубна втулка;

3 – гнучкий рукав;

4 – цистерна запасу мастила дизель-генераторів (ДГР);

5 – цистерна запасу мастила дейдвудного пристрою;

- 6 – трубопровід до дейдвудних пристроїв;
- 7 – цистерна запасу мастила газотурбінного двигуна (ГТД);
- 8 – цистерна запасу мастила редуктора;
- 9 – агрегат сепарації мастила;
- 10 – мастильний блок до газотурбінного двигуна (ГТД);
- 11 – цистерни шламу;
- 12 – цистерна збору протікання палива і мастила;
- 13 – цистерна відпрацьованого мастила редуктора;
- 14 – стічно-циркуляційна масляна цистерна редуктора;
- 15 – цистерна відпрацьованого мастила дизель-генераторів (ДГР);
- 16 – трубопровід до підшипників валопроводів;
- 17 – цистерна запасу компресорного мастила;
- 18 – клапан ручного розбору;
- 19 – трубопровід до циркуляційної цистерни мастила дизель-генераторів (ДГР).

Приймальний трубопровід забезпечує заповнення відповідними сортами мастила запасних і стічно-циркуляційних цистерн (мастильних баків) головних газотурбінних двигунів, ДГР, парових турбін, редуктора, компресорів та ущільнень дейдвудного пристрою.

Стічно-циркуляційні цистерни головних турбозубчастих агрегатів заповнюються самопливом з цистерн запасу.

Прийом мастила на судно здійснюють позасудовими засобами через палубний фільтр за допомогою гнучких рукавів, що приєднуються до палубних втулок з кожного борту. Кількість палубних втулок визначається сортаментом мастил (в системі їх п'ять), що застосовуються в установці. Мастило редуктора, парових турбін і турбогенераторів виробляють одним турбінним мастилом з присадками. Приймальний трубопровід забезпечує одночасне заповнення всіх запасних цистерн відповідним сортом мастила.

Сепарування мастила в системі здійснюється двома автоматизованими самозавантажними сепараторами типу MAPX-207, виготовленими за ліцензією фірми «Альфа Лаваль» (Швеція). Система передбачає можливість сепарування свіжого мастила, що знаходиться в цистернах запасу в стічно-циркуляційних і цистернах відпрацьованого мастила, а також видачу сепарованого мастила на палубу. Сепаратори, насоси, підігрівачі і обслуговуючі їх прилади та арматура скомпоновані в єдиний агрегат сепарування мастила.

Кожен дизель-генератор обслуговується окремим мастилоперекачувальним насосом, який наповнює циркуляційну цистерну дизель-генератора свіжим мастилом з цистерни запасу і видаляє забруднене мастило в цистерну відпрацьованого мастила.

РОЗДІЛ 2

ВИКЛАД ЗАГАЛЬНИХ ПІДХОДІВ І ОСНОВНИХ МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Загальні підходи до вивчення та удосконалення технічних виробів, структурно-логічна схема дослідження

Для розвитку наукового пізнання характерно не тільки розширення кола розв'язуваних теоретичних і практичних завдань, але й посилення уваги до способів і методів науково-технічної діяльності [8]. Одержання необхідного результату безпосередньо залежить від вихідної теоретичної позиції, від принципового підходу до постановки проблеми й визначення шляху дослідницького пошуку.

У науково-технічному дослідженні розрізняють дві основні стадії пізнання: теоретичну й емпіричну.

Для теоретичного характерно широке використання абстрагування, ідеалізації, утворення понять, побудова гіпотез, моделей, теорій.

Емпіричне дослідження засноване на спостереженнях, експериментах й опирається на дані досвіду.

Іноді теорію протиставляють емпірії. Але таке протиставлення не є правомірним, тому що теоретичні передбачення мають такий же імовірнісний, а не достовірний характер, як і передбачення, що опираються на емпіричні узагальнення. При цьому, кінцевою метою пізнання є утворення не окремих понять, гіпотез, або навіть не відкриття відособлених законів, а побудова єдиної, концептуальної системи, за допомогою якої досягається більш адекватне й цілісне відображення певної області дійсності.

Розвиток будь-якої науки багато в чому залежить не тільки від застосування досконалих методів дослідження, але й від різноманіття видів дослідження.

Але на сьогодні не існує чітко встановленої класифікації видів і методів наукового дослідження. Тому дамо загальне уявлення щодо їхньої класифікації.

Спочатку розглянемо види наукових досліджень.

За масштабом розв'язуваних проблем і цілей дослідження розрізняють фундаментальні й прикладні дослідження.

Під фундаментальними дослідженнями розуміються такі, що ставлять за мету розкрити й описати нові, невідомі явища й процеси в природі і суспільстві, дослідити їхній механізм і закони, що керують ними, розкрити глибинні зв'язки між ними. Фундаментальні дослідження виявляють закони й закономірності процесів, явищ, вибудовують загальнотеоретичні концепції, методологію вони створюють теоретичну базу для прикладних досліджень.

Деякі автори виділяють два види фундаментальних досліджень: пошукові й тематичні. Пошукові або вільні – це ті фундаментальні дослідження великої, але ще мало дослідженої проблеми. До тематичних фундаментальних (або цільових) відносяться такі дослідження, у яких метою є рішення конкретної, більш вузької проблеми.

Прикладні дослідження – це такі дослідження, призначення яких – реалізувати результати фундаментальних досліджень у практичній діяльності. Прикладні дослідження вирішують вузькоспеціальні теоретичні й практичні завдання. Предмет прикладних досліджень окреслений вузькими рамками і спрямований на практичний результат.

Прикладні дослідницькі роботи також підрозділяються на два види: телонічні (від гр. *telos* – кінець, ціль), тобто, цільові й тематичні, або суб'єктивні. Як приклад телонічного дослідження, можна привести дослідження, пов'язані із запуском космічних апаратів, що вимагають використання фундаментальних досягнень багатьох наук: астрономії, математики, електроніки, механіки, хімії, біології, психології й т. п.

Тематичні прикладні дослідження – це ті, які присвячені більш вузькій, конкретній темі.

Розподіл наук і наукових методів досліджень на фундаментальні і прикладні носить умовний характер.

У методології наукового дослідження виділяють і інші види дослідження. Так, за рівнем наукового пізнання розрізняють: емпіричне; експериментальне (або емпірично-експериментальне); теоретичне; комплексне (дослідження, що включає всі види досліджень).

Розглянемо сутність емпіричного й експериментального дослідження, але відзначимо, що не всі дослідники усвідомлюють різницю між досвідом й експериментом, особливо різницю між досвідом як філософським поняттям і досвідом – близьким до експерименту.

У вузькому розумінні – досвід близький, але не тотожний експерименту.

Досвід у його вузькому розумінні – це активне, можливо творче освоєння й реалізація в практиці вже розроблених законів, принципів, теорій, способів, форм і т.д.

Експеримент – це загальнонауковий метод дослідження, що полягає в активній теоретико-практичній діяльності експериментатора, що створить сприятливу ситуацію для планомірного вивчення об'єкта в процесі запланованого, цілеспрямованого, спеціально організованого його розвитку й функціонування. Експеримент здійснює верифікацію (перевірку) тобто точне, експериментально підтверджене визначення ефективності пропонованих нових способів, методів, умов розвитку об'єкта та теорій, концепцій, пропонованих самим автором дослідження й здійснюваних шляхом зіставлення їх зі спостережуваними об'єктами, чуттєвими даними, тобто даними досвіду.

Для осмислення сутності теоретичного дослідження необхідно зрозуміти, що наука не є простою сумою достовірних наукових фактів, простим описом спостережень, досвіду, явищ, спостережуваних об'єктів.

Факти в будь-якій науці необхідні, але для того щоб факти (явища) тобто результати спостережень досліджуваної дійсності (показання дослідів, приладів, дані експериментів, протоколи й т. і.) увійшли в наукову теорію як докази її положень, необхідно їхнє теоретичне осмислення, теоретична обробка. Для цього необхідно піддати їх: відбору, класифікації, аналізу, порівнянню, узагальненню й поясненню. Тільки так можна встановити причинно-наслідкові зв'язки явищ, тобто усвідомити закономірності, об'єктивні, стійкі залежності між всіма компонентами досліджуваного явища.

Для теоретичного осмислення досліджуваного явища (об'єкту) вводять абстрактні поняття, висувають гіпотези, відкривають закони й будують наукові теорії, що розкривають внутрішні механізми протікання явищ.

Теорії, які описують і систематизують накопичений емпіричний матеріал, а також установлюють логічні зв'язки між окремими його елементами, називають феноменологічними або дескриптивними, тобто описовими. Такі теорії переважають на ранній стадії розвитку будь-якої науки. На відміну від них, не феноменологічні теорії пояснюють спостережувані явища, і тому їх називають пояснювальними, а також інтерпретативними теоріями.

Виділяють ще пролонговане дослідження (від лат. *pro* - уперед, *longis* - довгий, далекий). Це дослідження, що припускає тривале й систематичне вивчення об'єкта, особистості, явища й на основі цього прогнозування подальшого розвитку досліджуваного предмету дослідження.

Одержавши уявлення щодо видів науково-технічного дослідження, тепер можна перейти до визначення поняття "метод дослідження".

Структурно-логічна схем дослідження з розробки системи керування електропривода насоса суднової системи змащення показана на рис. 2.1.

Дану схему необхідно розглядати як визначений алгоритм послідовності проведення дослідження. Окремі частини роботи проводяться у відповідності з даною схемою, інколи виникає потреба повернутись до попередніх частин роботи.

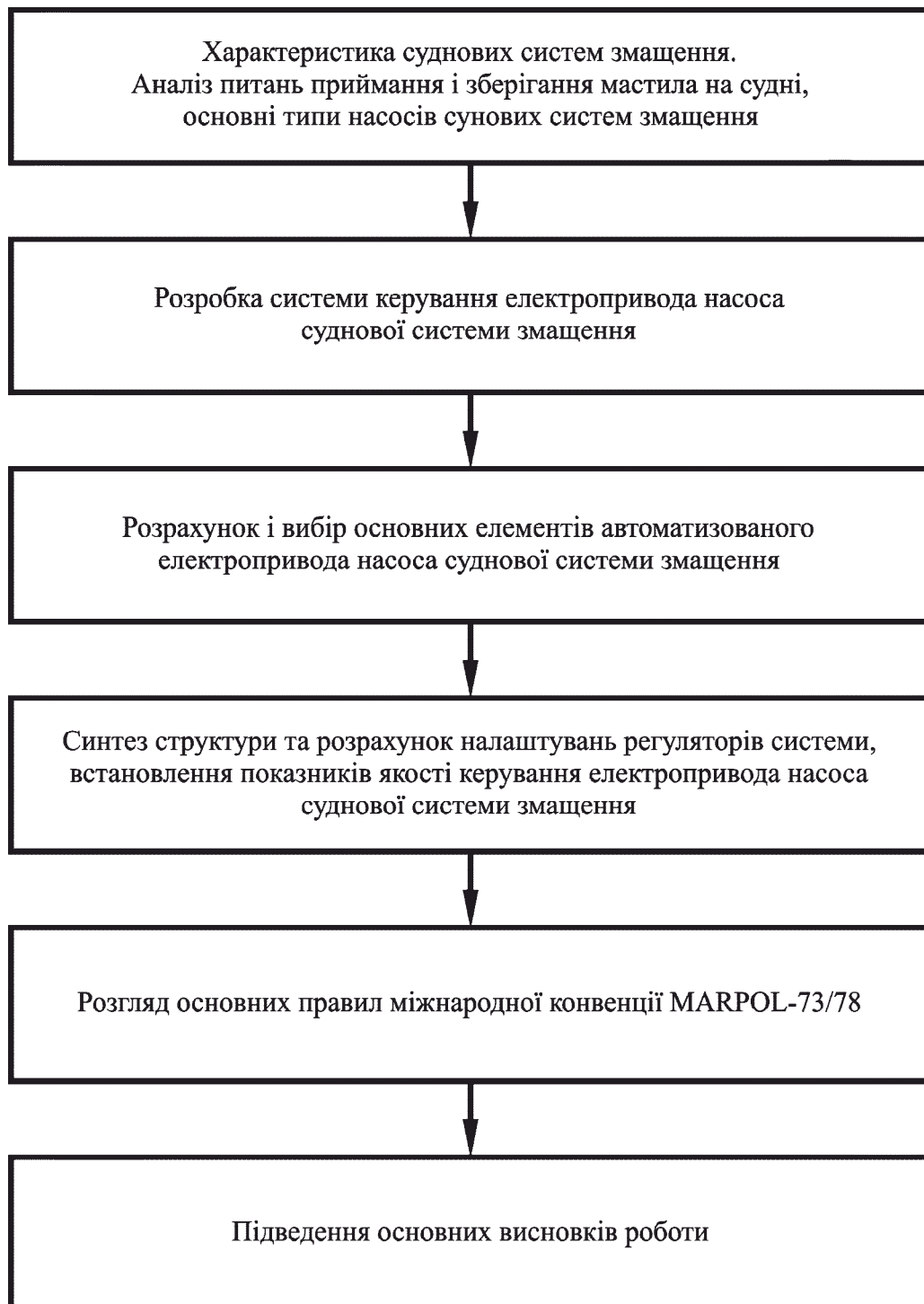


Рисунок 2.1 – Структурно-логічна схема дослідження з розробки системи керування електропривода насоса суднової системи змащення

2.2 Метод частотного керування електропривода насоса суднової системи змащення

Метод частотного керування асинхронним електроприводом насоса суднової системи змащення має найкращі показники регулювання швидкості порівняно з іншими способами. Єдиним стримуючим фактором тут є висока на даний момент вартість перетворювачів частоти. Цей метод забезпечує плавне регулювання швидкості у широкому діапазоні, а одержані статичні механічні характеристики мають високу жорсткість. Метод частотного керування має важливу властивість – сталість ковзання при регулюванні швидкості (цього немає при реостатному регулювання). За цієї обставини втрати потужності

$$\Delta P_2 = P_1 s, \quad (2.1)$$

незначні, тобто цей спосіб економічний.

Для кращого використання асинхронного двигуна, одержання високих енергетичних характеристик ($\cos \varphi$, ККД та перевантажувальної здатності), одночасно зі зміною частоти живлення f_1 слід змінювати й величину напруги живлення U_1 . Закон зміни напруги при цьому залежить від характеру моменту навантаження, тобто від функції $M_c = f(\omega)$.

При виборі співвідношення між f_1 та U_1 можна виходити з міркувань підтримки постійності перевантажувальної здатності асинхронного двигуна, тобто дотримуватись постійності відношення:

$$M_{\max} / M_c = \lambda = \text{const}, \quad (2.2)$$

де λ кратність максимального моменту двигуна по відношенню до моменту опору робочої машини. Максимальний момент двигуна визначається рівнянням, яке можна подати вигляді:

$$M_{\max} = \frac{3U_1^2}{2\omega_0 X_k} = \frac{AU_1^2}{f_1^2}, \quad (2.3)$$

де X_k – індуктивний опір двигуна при короткому замиканні ($X_k = X_1 + X_2'$);
 A – коефіцієнт, який включає параметри, незалежні від частоти струму.
 Оскільки у формулі (2.3) X_k та ω_0 залежать від частоти напруги живлення, то максимальний момент обернено пропорційний квадрату частоти f_1 .

Формула, яка описує перевантажувальну здатність двигуна з урахуванням (2.3) може бути тепер представлена у такому вигляді:

$$\frac{AU_1^2}{f^2 M_c} = \lambda = \text{const} . \quad (2.4)$$

Якщо зробити припущення, що момент зрушення робочої машини рівний нулю, то момент опору на валу робочої машини має вигляд:

$$M_c = \left(\frac{\omega}{\omega_{\text{ном}}} \right)^x = \left(\frac{f}{f_{\text{ном}}} \right)^x . \quad (2.5)$$

У урахуванням виразу (2.5) формула (2.4) запишеться у такому вигляді:

$$\frac{AU_1^2}{f^2 \left(\frac{f}{f_{\text{ном}}} \right)^x} = \lambda \quad (2.6)$$

або

$$U_1 = Bf^{1+\frac{x}{2}} , \quad (2.7)$$

Рівнянням (2.7) описується закон, за яким необхідно змінювати напругу живлення двигуна при зміні частоти.

Для робочої машини з показником ступеня $x = 0$ (підйомники, лебідки, конвеєри тощо) маємо:

$$U_1 = Bf . \quad (2.8)$$

При вентиляторному типі навантаження (насоси, вентилятори, компресори) $x = 2$:

$$U_1 = Bf^2 . \quad (2.9)$$

При $x = -1$, що характерно для металообробних верстатів маємо:

$$U_1 = B\sqrt{f}. \quad (2.10)$$

Механічна характеристика асинхронного двигуна при частотному регулюванні швидкості обертання робочих машин з різними механічними характеристиками (при різних показниках ступеня x у виразі механічної характеристики робочої машини) показані на рис. 2.2-2.4.

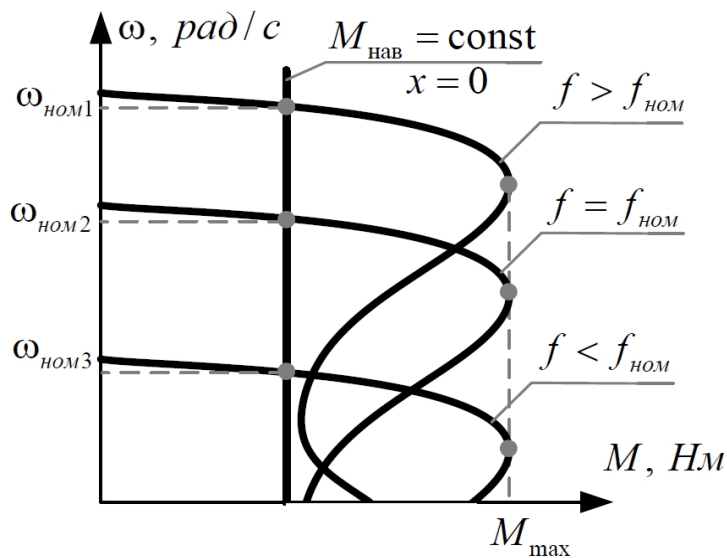


Рисунок 2.2 – Механічні характеристики асинхронного двигуна при частотному керуванні для робочої машини з $x = 0$

Нагадаємо вираз, який описує механічні характеристики робочих машин:

$$M_c = M_{c.o.} + (M - M_{c.o.}) \left(\frac{\omega}{\omega_{ном}} \right)^x, \quad (2.11)$$

де $M_{c.o.}$ – момент навантаження, створюваний робочою машиною на початку руху (при $\omega = 0$);

$M_{c.н.но}$ – номінальний момент опору при швидкості руху $\omega_{ном}$;

ω – поточне значення кутової швидкості.

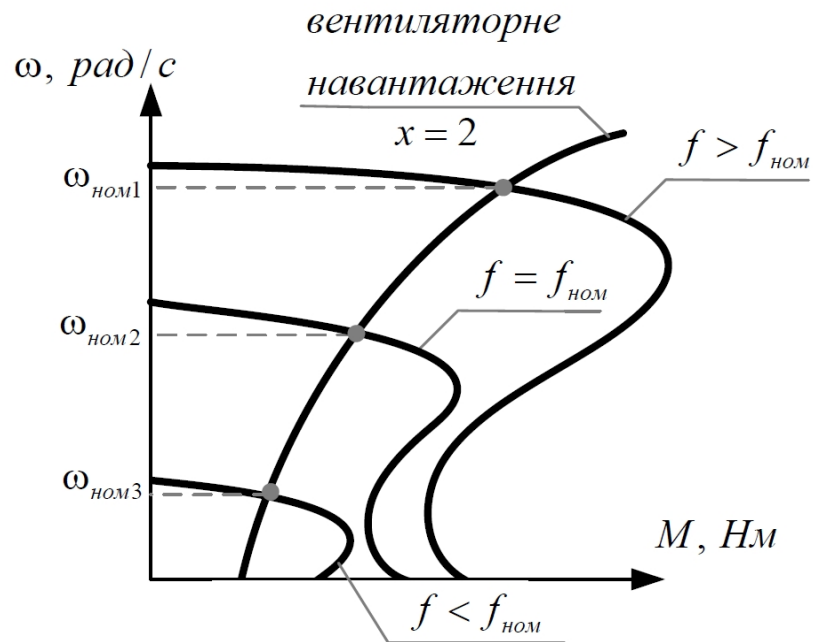


Рисунок 2.3 – Механічні характеристики асинхронного двигуна при частотному керуванні для робочої машини з $x = 2$

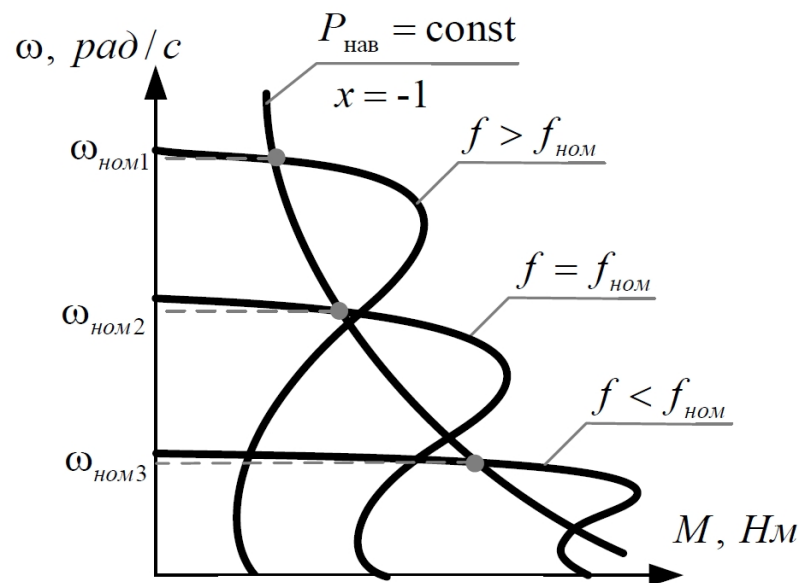


Рисунок 2.4 – Механічні характеристики асинхронного двигуна при частотному керуванні для робочої машини з $x = -1$

Вперше залежність (2.7) отримана академіком М.П. Костенко [9].

Припущення щодо рівності нулю активного опору статорної обмотки ($R_1 \approx 0$), яке використовувалось при виведенні формули (3.10а) не вносить

помітних похибок в основний закон зміни напруги при зміні частоти для двигунів великої потужності або при роботі двигунів з незначним зниженням частоти струму. Двигуни великої потужності мають індуктивний опір на порядок більший ніж активний опір. Для двигунів середньої та малої потужності при номінальній частоті живлення на статорній обмотці активний і індуктивний опори приблизно одного порядку. При зниженні частоти струму індуктивний опір пропорційно знижується, а активний залишається сталим. Отже спад напруги на активному опорі статора буде збільшуватись і, як наслідок, перевантажувальна здатність двигуна знизиться.

2.3 Метод скалярного керування електропривода насоса суднової системи змащення

Враховуючи рекомендації при розробці систем керування для автоматизованих електроприводів турбомеханізмів (насоси, вентилятори, компресори) обираємо систему скалярного керування електропривода насоса суднової системи змащення.

Принцип скалярного керування частотно-регульованого асинхронного електропривода насоса суднової системи змащення базується на зміні частоти і поточних значень модулів змінних асинхронного двигуна (напруг, магнітних потоків, потокозчеплень і струмів електричних кіл двигуна). Керованість асинхронного двигуна при цьому може забезпечуватися сумісним регулюванням або частоти f_1 і напруги U_1 , або частоти f_1 і струму I_1 , обмотки статора. Перший метод керування прийнято називати частотним керуванням, другий – частотно-струмовим керуванням.

Вибір методу і принципу керування визначається сукупністю статичних, динамічних і енергетичних вимог до конкретного асинхронного електропривода.

Скалярний принцип частотного керування є найбільш поширеним в асинхронному електроприводі. Йому властива технічна простота вимірювання і регулювання змінних асинхронного двигуна, а також можливість побудови розімкнених систем керування швидкістю.

Основний недолік подібного принципу керування полягає в важкості реалізації бажаних законів регулювання швидкості і моменту асинхронного двигуна в динамічних режимах. Пов'язано це з складними електромагнітними процесами, що протікають у асинхронному двигуні.

Скалярне частотно-струмове керування асинхронного двигуна характеризується малим критичним ковзанням і постійністю критичного моменту при постійності струму, що живить асинхронний двигун, і зміні його частоти. Проте в розімкнених системах подібне керування практично виключено, оскільки із збільшенням навантаження (ковзання) різко падає магнітний потік асинхронного двигуна і для забезпечення бажаних перевантажувальних характеристик асинхронного двигуна по моменту необхідне помітне перевищення номінальних значень напруги живлення і струму статора.

2.4 Розімкнуті системи скалярного керування електроприводами насосів суднових систем змащення

При невисокій точності і обмеженому діапазоні регулювання швидкості асинхронного двигуна (АД) найбільш доцільним є його частотне керування в розімкнутій системі електроприводу (рис. 2.5). У подібних системах частота f_1 і напруга живлення U_1 АД формуються пропорційно напрузі керування u_k в перетворювачі частоти (ПЧ) на базі автономного інвертора напруги. Для компенсації падіння напруги на внутрішніх опорах ПЧ і можливих коливань напруги його живлячої мережі в перетворювачах

частоти як джерелах напруги прийнято використовувати внутрішні контури стабілізації вихідної напруги.

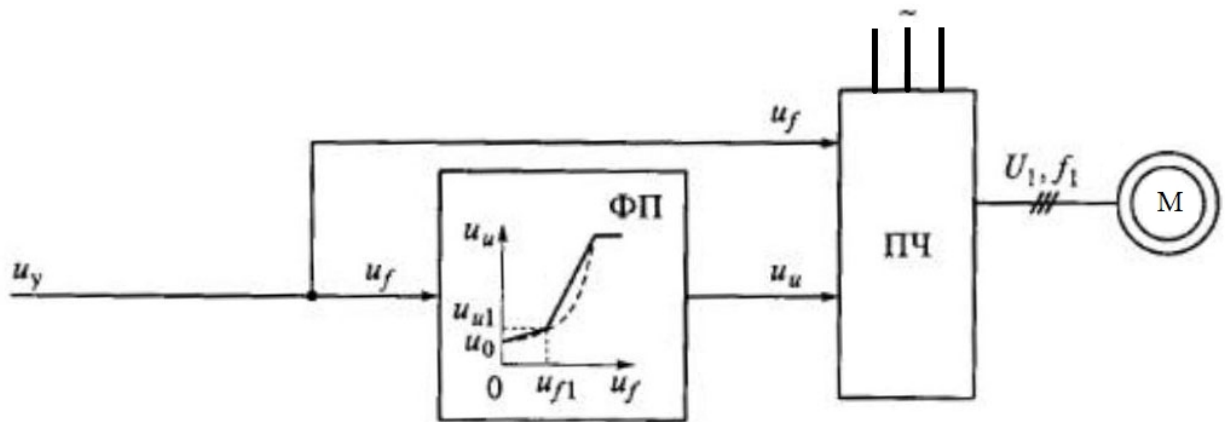


Рисунок 2.5 – Функціональна схема розімкнутої системи ПЧ-АД

Для збереження постійності перевантажувальної здатності АД по моменту у функціональному перетворювачі (ФП) передбачається таке співвідношення між напругою завдання частоти u_f і напруги u_u на виході ПЧ, при якому забезпечується компенсація падіння напруги на активному опорі обмоток статора. Теоретично це співвідношення характеризується нелінійною функцією, коли u_u знижується в меншому ступені, ніж u_f .

Для більшості серійних перетворювачів частоти ця функція може бути лінеаризована шляхом вибору в статичній характеристиці ФП двох базових координат – u_{u1} при u_{f1} і u_{u2} при u_{f2} (рис. 2.4). Перша координата визначає завдання мінімального значення частоти f_1 і відповідної йому напруги U на виході ПЧ, при яких ще зберігається рівність співвідношень $U_1/f_1 = U_{ном}/f_{ном}$. Для АД загального призначення при діапазоні регулювання швидкості в розімкненій системі частотного управління до (8... 10): 1 значення мінімальної частоти практично вибирається в межах (0,3 ...0,4) $f_{ном}$.

Друга координата обирається з урахуванням зменшення тепловідводу загальмованого двигуна (в режимі динамічного гальмування) з наступних умов обмежень струму статора на рівні: $(0,7...0,8)I_{1ном}$.

Це відповідає встановленню вихідної напруги перетворювача частоти при $u_{f1}=0$ на рівні $U_1 \cong (0,7...0,8)I_{1ном}R_1$, де R_1 – активний опір обмотки статора АД.

Реальне найменше значення вихідної частоти перетворювача і відповідне йому значення u_{f1} корисно вибирати з умови $f_{1min} \cong \omega_{0ном}p_n s_c / 2\pi$, при якому пусковий момент АД буде близьким до моменту сил опору на валу двигуна. Тут s_c – ковзання АД при його статичному навантаженні. При подібному виборі зона нечутливості по сигналу керування швидкістю АД буде мінімальною і рух електроприводу почнеться практично одночасно з початком збільшення сигналу керування.

При вентиляторному навантаженні на валу АД, для якого $M_c \cong \omega^2$, співвідношення між u_f і u_u повинно забезпечувати закон керування, близький до постійності U_1 / f_1^2 . На рис. 2.5 це співвідношення відбите у ФП штриховою лінією. Початкові значення частоти і напруги на виході ПЧ, які вибираються з тих же міркувань, що і при $M_c = const$, будуть при цьому помітно меншими за рахунок менших значень пускових моментів.

При регулюванні швидкості АД вище номінальної для привода механізмів, що мають в даному діапазоні швидкостей постійну потужність навантаження, напруга живлення АД зберігається рівною номінальному значенню. При цьому допустимий момент АД убиває в першому наближенні обернено пропорційно до збільшення частоти, а перевантажувальна здатність АД по моменту зменшується обернено пропорційно до частоти.

Для обмеження струмів і моментів АД при його пуску прийнято обмежувати темп зміни напруги керування u_y за рахунок включення в коло керування задатчика інтенсивності.

У статичному режимі розімкнена система частотного керування (рис. 2.5) з приведеними вище співвідношеннями U_1/f_1 практично забезпечує збереження номінальної перевантажувальної здатності АД в діапазоні зміни частоти не більш (8...10):1 при постійному навантаженні і (10...25):1 – при вентиляторному. При збереженні ж заданої точності регулювання швидкості АД діапазон її регулювання в розімкненій системі частотного керування значно менший, при постійному навантаженні і точності регулювання 10 % він не перевищує діапазону 3:1. Недоліком розімкненої системи частотного керування є і відсутність обмежень змінних електроприводу (моментів, струмів, напруги) при можливих перевантаженнях з боку робочого механізму або відхиленнях напруги живлячої мережі.

2.5 Замкнуті системи скалярного керування електроприводами насосів суднових систем змащення

Формування необхідних статичних і динамічних властивостей асинхронного частотно-регульованого електроприводу можливо лише в замкнутій системі регулювання його координат. Узагальнена функціональна схема подібної системи показана на рис. 2.6.

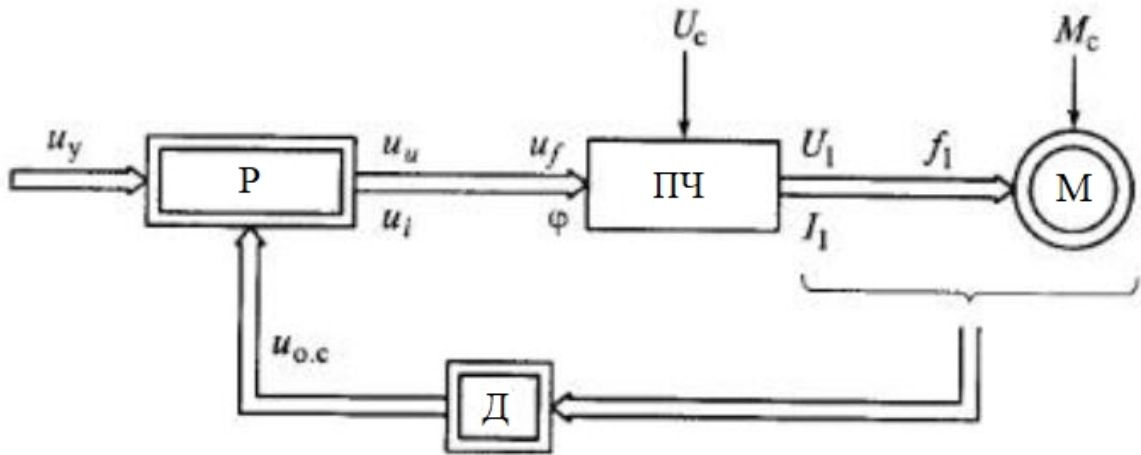


Рисунок 2.6 – Функціональна схема замкненої системи
ПЧ-АД при скалярному керуванні

З функціональної схеми видно, що окрім АД і керованого перетворювача частоти (ПЧ) містить регулятори Р і датчики Д змінних електроприводу. Керуючими впливами u_y , на вході регуляторів можуть бути сигнали завдання будь-яких координат електроприводу – швидкості, кута повороту ротора АД, струму статора, магнітного потоку і тому подібне. Впливами, що обурюють, на електропривод можуть бути моменти сил опору M_c на валу АД або коливання напруги мережі U_c , що живить електропривод. Вхідними сигналами датчиків є змінні АД, що доступні для безпосереднього їх вимірювання (частота, напруга і струм статора, швидкість ротора, магнітний потік у повітряному зазорі АД) або змінні, що визначаються розрахунковим шляхом за допомогою математичної моделі АД (ЕРС, потокозчеплення статора, ротора і т. п.). Вихідні сигнали регуляторів, що залежать від керуючих дій, сигналів зворотних зв'язків $u_{o.c}$ і прийнятих алгоритмів регулювання, є сигналами керування частотою u_f , вихідною напругою u_u і струмом u_i перетворювача частоти.

Розглянемо приклади замкнутих систем скалярного керування, що найбільше поширені в промислових електроприводах.

Варіант функціональної схеми системи частотного керування АД із зворотним зв'язком за струмом статора, представлений на рис. 2.7. Тут сигнали i_{sa} і i_{sc} , що пропорційні миттєвим значенням струмів фаз А і С обмоток статора, з виходу датчиків струму ДСа і ДСс поступають у функціональний перетворювач струму ФПС, де формуються вихідні сигнали I_1 і I_{1c} , що пропорційні відповідно значенню струму статора і активній складовій цього струму. В вузлах $\sum_1$ і $\sum_2$ сумуються сигнали керування і зворотних зв'язків, що поступають з функціональних пристроїв А1, А2 і А3. Пристрій А4 забезпечує проходження сигналу I_1 на вхід А3 лише при його перевищенні на суматорі $\sum_3$ сигналу I_{1max} , що пропорційний діючому значенню максимально допустимого струму статора АД.

Призначення кожного з контурів зворотних зв'язків і їх вплив на властивість електроприводу доцільно розглянути окремо. Так, при дії лише позитивного зворотного зв'язку по струму з боку А1 по мірі збільшення моменту статичного навантаження АД і відповідного збільшення струму статора на вхід суматора $\sum_2$ поступає додатковий сигнал u_i , що збільшує сигнал u_u . В результаті по мірі збільшення струму статора збільшується і вихідна напруга ПЧ. При цьому його вихідна частота, що визначається сигналом u_f , залишається постійною. Підвищення напруги на обмотках статора АД сприяє компенсації падіння напруги на повному їх опорі і, в результаті, збільшенню потоку намагнічування АД.

Ступінь компенсації визначається коефіцієнтом посилення k_1 кола позитивного зворотного зв'язку по струму. Очевидно, чим більше k_1 тим більше буде потік при тому ж абсолютному ковзанні. Межа збільшення k_1 визначається умовами стійкості замкнутої системи керування і допустимими значеннями потоку намагнічування і напруги живлення АД.

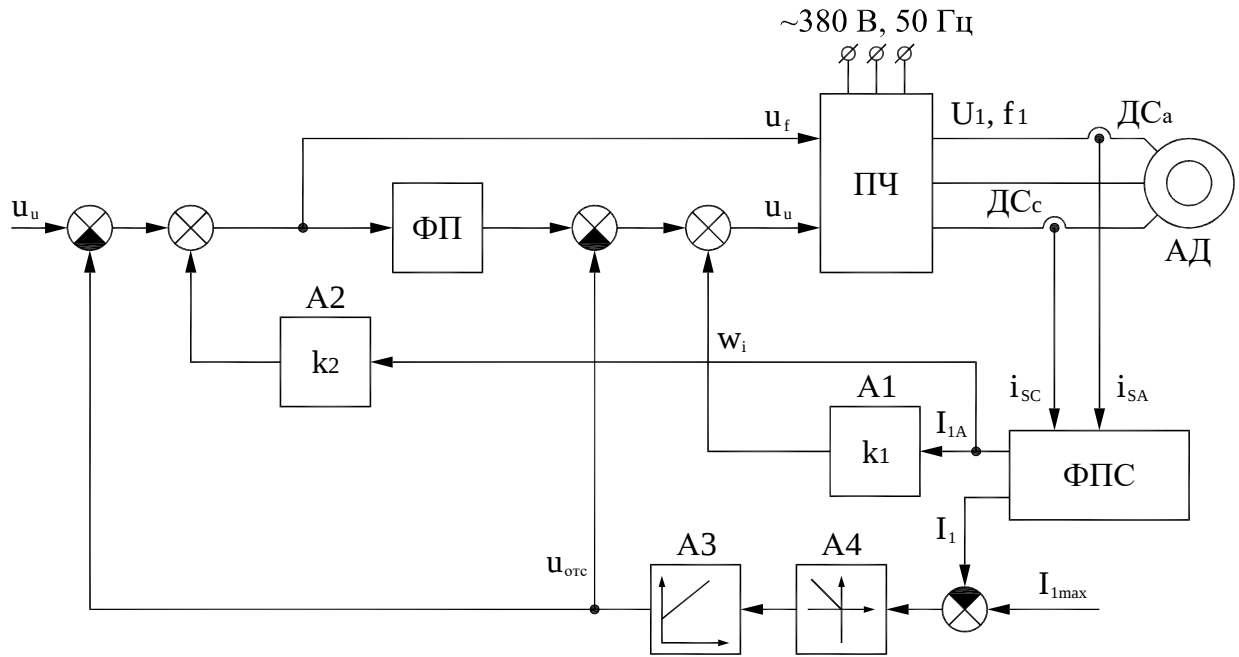


Рисунок 2.7 – Функціональна схема системи керування ПЧ-АД
зі зворотним зв'язком за струмом статора

По мірі зниження частоти живлення повний опір кола намагнічення і, отже, падіння напруги в статорі АД зменшуються. Тому для стабілізації і обмеження потоку намагнічення в замкнутій по повному струму системі ступінь компенсації падіння напруги, тобто коефіцієнт k_1 треба зменшувати по мірі зниження частоти вихідної напруги ПЧ.

Подібний недолік відсутній при використанні зворотного зв'язку по активній складовій струму статора. Якщо в якості сигналу зворотного зв'язку прийняти активну складову струму статора, як показано на рис. 2.7, то постійність потокозчеплення статора зберігатиметься при незмінному коефіцієнті k_1 .

При частотному керуванні АД з подібним зворотним зв'язком по струму можлива реалізація механічних характеристик електропривода з підвищеною перевантажувальною здатністю по моменту і жорсткості, близькій до природної лише в невеликому діапазоні регулювання швидкості.

Вплив позитивного зворотного зв'язку по струму з боку пристрою А2 пов'язаний з одночасною дією на вихідну частоту і напругу ПЧ. За рахунок одночасного їх збільшення при зростанні навантаження на валу АД відповідно збільшується швидкість ідеального холостого ходу АД, забезпечуючи тим самим стабілізацію його швидкості, і зберігається постійність перевантажувальної здатності АД по моменту. Збільшення коефіцієнта посилення k_2 пристрою А2, що сприяє підвищенню жорсткості механічної характеристики АД, обмежене умовами стійкості замкнутої системи керування і допустимими значеннями частоти і напруги живлення АД.

Сукупність позитивних зворотних зв'язків по струму з використанням пристроїв А1 і А2 за рахунок стабілізації швидкості останніми дозволяє помітно підвищити жорсткість механічних характеристик АД і при постійному статичному навантаженні збільшити діапазон регулювання швидкості вниз від номінальної до 10:1. Перевага подібних систем полягає у відсутності тахогенератора на валу АД.

Для захисту перетворювача частоти і двигуна від перевантажень по струму використовується режим відсічення струму за допомогою суматора $\sum_3$ і пристрою А4 (рис. 2.7). При $I_1 > I_{1\max}$ на вхід ПІ-регулятор струму відсічення А3 поступає сигнал перевищення струму статора вище допустимого. Вихідний сигнал А3 $u_{\text{отс}}$ може впливати як на зменшення вихідної напруги ПЧ (вузол $\sum_2$), так і одночасно на зменшення частоти живлення АД (вузол $\sum_1$).

При дії тільки на вихідну напругу перетворювача, за умови, що регулятор А3 має інтегральний канал регулювання, за рахунок негативного зворотного зв'язку по струму перетворювач ПЧ з джерела напруги переходить в режим джерела струму. Тоді при постійності струму статора АД за рахунок більшого коефіцієнта зворотного зв'язку регулятора А3 (для

ПІ-регулятор – нескінченно великого), ніж пристрою А1, при зниженні швидкості зменшуватиметься потік і момент двигуна, викликаючи перекидання механічної характеристики АД. Подібний режим роботи відсічення використовується лише спільно з одночасною дією на вихідну частоту перетворювача.

За рахунок сигналу від'ємного зворотного зв'язку по струму статора, що поступає на суматор $\sum_1$, (сильнішого, ніж з боку пристрою А2) спільно із стабілізацією струму здійснюється зниження його частоти і, отже, швидкості ідеального холостого ходу АД. Тим самим забезпечується постійність магнітного потоку, абсолютного ковзання і, в результаті, моменту двигуна. Проте статична і динамічна точність стабілізації вказаних змінних обмежена умовами стійкості замкнутих контурів регулювання.

Збільшення діапазону регулювання за швидкістю АД можна отримати за рахунок введення в розглянуту систему керування від'ємного зворотного зв'язку за швидкістю. Функціональна схема подібної системи при живленні від ПЧ як джерела напруги приведена на рис. 2.8.

Тут канал від'ємного зворотного зв'язку за швидкістю включає тахогенератор ТГ як датчик зворотного зв'язку, вузол $\sum_5$ підсумовування напруги керування швидкістю АД u_y і зворотного від'ємного зв'язку за швидкістю $u_{o.c}$, регулятор абсолютного ковзання А5, блок БО обмеження його вихідної напруги u_{pc} , а також вузол $\sum_4$ сумування напруги u_{pc} і результуючої напруги u_{y1} з виходу суматора $\sum_1$.

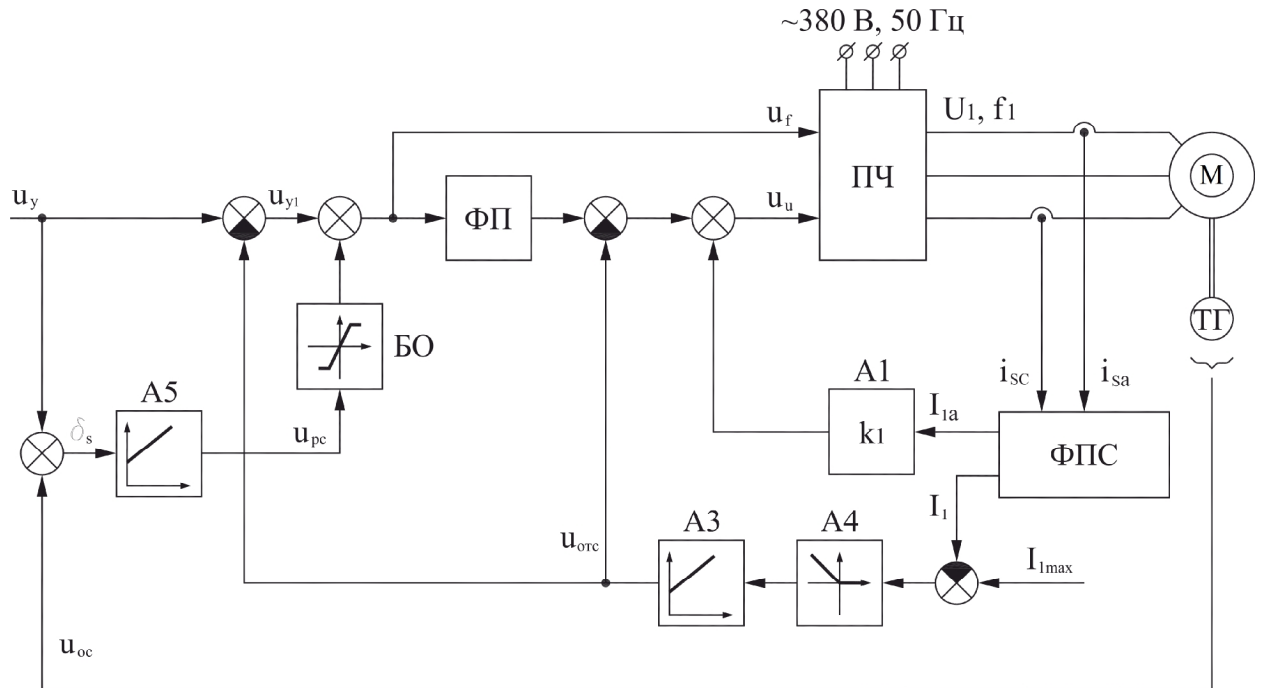


Рисунок 2.8 – Функціональна схема системи керування ПЧ-АД
зі зворотним зв'язком за швидкістю

По мірі збільшення навантаження на валу АД (від моменту M_1 до моменту M_2 на рис. 2.9) за рахунок зменшення швидкості АД і, як наслідок, сигналу $u_{o.c}$ збільшується сигнал розузгодження $\delta_s = u_y - u_{o.c} \equiv \omega_{00} - \omega \equiv s_a$, пропорційний абсолютному ковзанню двигуна. Тут ω_{00} – задана швидкість ідеального холостого ходу АД, що відповідає початковому сигналу керування u_y ; ω – реальна швидкість АД при заданому навантаженні на його валу. При $\delta_s \neq 0$ сигнал u_{pc} на виході регулятора ковзання, сумуючись з сигналом $u_{y1} = u_y$ (при $I_1 < I_{1max}$), за рахунок інтегральної складової передавальної функції регулятора $A5$ забезпечує такий приріст сигналу керування u_f перетворювачем частоти, при якому частота вихідної напруги ПЧ стає рівною $f_{10}(1 + s_a)$. Одночасно із зміною частоти за рахунок функціонального перетворювача $ФП$ змінюється в порівнянні з початковою

напругою U_{10} і вихідна напруга перетворювача U_1 (рис. 2.9, б). При цьому швидкість двигуна відновлюється до заданого значення ω_{00} , тобто забезпечується абсолютна жорсткість механічної характеристики АД (лінія 1 на рис. 2.8, а).

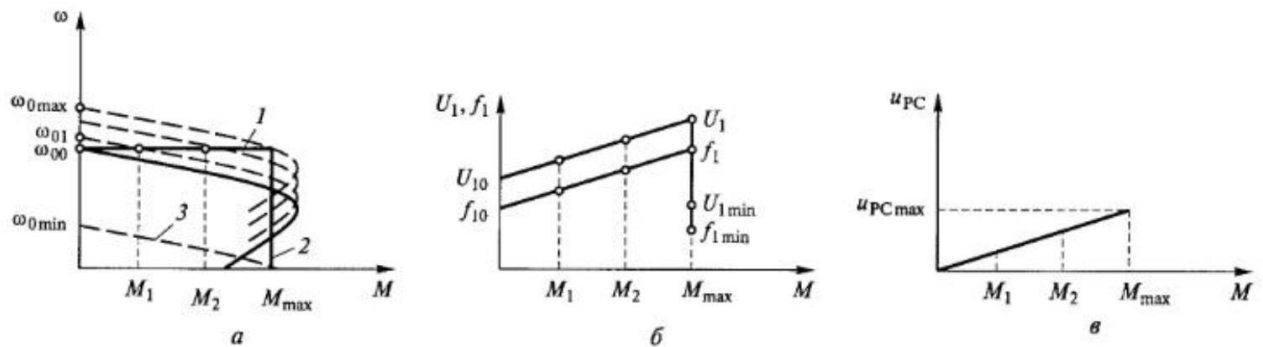


Рисунок 2.9 – Механічні характеристики (а), залежності вихідних напруг і частот перетворювача частоти (б), а також напруги регулятора швидкості (в) від моменту в системі скалярного керування ПЧ-АД зі зворотним зв'язком за швидкістю

При перевищенні максимально допустимого струму статора АД ($I_1 < I_{1\max}$ і, відповідно, $M > M_{\max}$), регулятор ковзання має бути виключений з роботи, наприклад, шляхом обмеження його вихідного сигналу u_{pc} на рівні $u_{pc\max}$ (рис. 2.9, в). При цьому вступають в роботу від'ємні зворотні зв'язки по струму статора з регулятором АЗ, забезпечуючи за рахунок одночасного зменшення частоти і напругу статора АД до їх мінімальних значень $f_{1\min}$ і $U_{1\min}$ обмеження моменту АД при $\omega = 0$ на рівні $M_{\max}$ (лінія 2 на рис. 2.9, а). Мінімальна синхронна швидкість двигуна $\omega_{0\min}$ буде відповідати значенням $f_{1\min}$ і $U_{1\min}$, а механічна характеристика – лінії 3 (рис. 2.9, а).

Стійкість і динамічні показники якості регулювання швидкості АД визначаються вибором параметрів пропорційної і інтегральної складової передатних функцій регуляторів А5 і АЗ.

2.6 Метод керування електропривода насоса суднової системи змащення з перетворювачем частоти С200

Перетворювач частоти С200, який виробляється компанією «Оптім Електро», може бути використано в електроприводі насоса суднової системи змащення для реалізації скалярного керування.

«Оптім Електро» – електротехнічна компанія, яка займається проектуванням, серійним виробництвом, впровадженням і подальшим сервісним обслуговуванням перетворювачів частоти для електродвигунів, пристроїв плавного пуску та станцій автоматичного керування.

Частотні перетворювачі "Оптім Електро" повністю відповідають вимогам наступних нормативних документів: ГОСТ 24607-88 р.2; п.п. 3.2-3.5; ГОСТ Р 51317.6.2-99 (МЕК 61000-6-2-99) р.8; ГОСТ Р 51317.6.4-99 (МЕК 61000-6-4-97) р.9; ТУ 3416-002-89536398-2010.

"Оптім Електро" надає послуги з комплексної розробки проектів, підготовки технічних завдань, здійснює монтажні та пусконаладжувальні роботи частотних регуляторів швидкості обертання електродвигуна в повному обсязі, а так само здійснює ремонт частотних перетворювачів всіх типів і виробників.

Компанія має ефективну виробничу базу частотних регуляторів обертів, що включає в себе масштабний проектно-конструкторський відділ, підрозділи збірки і наладки, а також ділянку ремонту частотних приводів.

Власне сучасне виробництво дозволяє "Оптім Електро" створювати продукцію високої якості, яка анітрохи не поступається імпортним інверторам частоти (аналогам) по функціональності і органолептичним характеристикам, і продавати її за більш доступними цінами на дуже гнучких умовах.

Переваги перетворювачів частоти серії С200 наступні:

- низька ціна при ефективному векторному керуванні;
- автоматичне визначення частотних характеристик електричного двигуна;
- режим енергозбереження;
- захист від перегріву електричного двигуна;
- знімний пересувний пульт керування;
- керування швидкістю з використанням вбудованого потенціометра;
- низькотемпературний індикатор світлодіодного типу;
- IGBT модуль, який використовується в перетворювачі частоти IGBT Infineon Technologies;
- можливість керування групою електричних двигунів від одного перетворювача;

Основні функції перетворювача частоти Оптім Електро С200 наступні:

- діапазон потужності: 1,5-400 кВт і за струмом від 3,7 А до 750 А;
- діапазон вхідної напруги: $380\text{В} \pm 20\%$;
- вбудований ЕМП фільтр класу А і гальмівний переривач;
- векторне керування дозволяє забезпечити високоточну підтримку моменту на валу двигуна на низьких швидкостях;
- ПІД-регулювання (автоматична підтримка параметрів витрат, тиску, рівня і т.д.)
- виносний знімний пульт керування;
- компактний розмір і легке введення параметрів;
- автоматичне регулювання вихідної напруги при коливаннях вхідної (мережевої) напруги;
- реєстрація аварій;
- автоматичний перезапуск в разі зникнення живлення;
- входи: 6 програмованих дискретних і 2 аналогових входи (0...10 В, 0...20 мА).

– виходи: Релейний вихід з перемикаючим контактом програмованого реле, вихід з відкритим колектором і 1 аналоговий (з можливість конфігурування 0 ... 10 V або 0 ... 20 mA).

– керування та контроль через інтерфейс RS 485 підтримує стандартний протокол Modbus-RTU (опціонально).

Технічні характеристики моделей перетворювача C200 та C100 наведені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики моделей перетворювачів частоти C200 та C100

Моделі перетворювача	Напруга на вході, В	Номінальний струм на виході, А	Допустима потужність двигуна, кВт
C200-2T/2S-0007	220	4,0	0,75
C200-2T/2S-0015	220	7,5	1,5
C200-2T/2S-0022	220	10,0	2,2
C200-2T/2S-0037	220	16,5	3,7
C200-2T-0055	220	25	5,5
C200-2T-0075	220	33	7,5
C200-2T-0110	220	49	11
C200-2T-0150	220	65	15
C200-2T-0185	220	75	18,5
C200-2T-0220	220	90	22
C200-4T-0007	380	2,3	0,75
C200-4T-0015/ C100-4T-0015	380	3,7	1,5
C200-4T-0022/ C100-4T-0022	380	5,0	2,2

Продовження таблиці 2.1 – Технічні характеристики моделей перетворювачів частоти C200 та C100

C200-4T-0037/ C100-4T-0037	380	8,5	3,7
C200-4T-0040/ C100-4T-0040	380	9,5	4,0
C200-4T-0055/ C100-4T-0055	380	13	5,5
C200-4T-0075/ C100-4T-0075	380	17	7,5
C200-4T-0110/ C100-4T-0110	380	25	11
C200-4T-0150/ C100-4T-0150	380	33	15
C200-4T-0185/ C100-4T-0185	380	39	18,5
C200-4T-0220/ C100-4T-0220	380	45	22
C200-4T-0300/ C100-4T-0300	380	60	30
C200-4T-0370/ C100-4T-0370	380	75	37
C200-4T-0370/ C100-4T-0370	380	90	45
C200-4T-0370/ C100-4T-0370	380	110	55
C200-4T-0370/ C100-4T-0370	380	150	75

Окрім моделей перетворювачів С200, фірма Оптім Електро випускає перетворювачі С100, навантаженням яких можуть бути вентилятори і насоси, які реалізують скалярний тип частотного керування.

Перетворювач частоти Оптім Електро С200 зображено на рис. 2.10.



Рисунок 2.10 – Перетворювач частоти Оптім Електро С200

Перетворювач з високим (високоточним $+ 0,02\%$) пусковим моментом при низьких швидкостях, потужністю 0,75-375 кВт зі знімним виносним пультом управління, PLC-контролером, векторне управління двигуном, автоматичне визначення характеристик електродвигуна, захист від перегріву електродвигуна, знімний виносної пульт управління, низькотемпературний світлодіодний індикатор, IGBT модуль Infineon Technologies, підвищений перевантажувальний момент, ПД-регулювання.

Переваги перетворювача частоти С200:

- низька ціна при ефективному векторному або скалярному керуванні;
- автоматичне визначення частотних характеристик електродвигуна;
- режим енергозбереження;
- захист від перегріву електродвигуна;
- зйомний виносної пульт керування;
- керування швидкістю за допомогою вбудованого потенціометра;

- низькотемпературний світлодіодний індикатор;
- IGBT модуль використовується в перетворювачі частоти IGBT Infineon Technologies;
- можливість керування групою електродвигунів від одного перетворювача

Функції частотного перетворювача C200:

- діапазон потужності: 1,5-400 кВт і струмом від 3,7 А до 750 А;
- діапазон вхідної напруги: 380 В $\pm$ 20%;
- вбудований ЕМП фільтр класу А і гальмівний переривник;
- скалярне або векторне керування дозволяє високоточне підтримку моменту на валу двигуна на низьких швидкостях;
- ПІД- регулювання (автоматична підтримка параметрів витрати, тиску, рівня і т.д.);
- виносний знімний пульт керування;.
- компактний розмір і легкий введення параметрів;
- автоматичне регулювання вихідної напруги при коливаннях вхідної (мережевого) напруги;
- реєстрація аварій.
- автоматичний перезапуск в разі зникнення живлення.
- входи: 6 програмованих дискретних і 2 аналогових входи (0...10 В, 0...20 мА).
- виходи: релейний вихід з перемикаючим контактом програмованого реле, вихід з відкритому колектором і 1 аналоговий (з можливість конфігурації 0...10 В або 0...20 мА).
- керування та контроль через інтерфейс RS 485 підтримує стандартний протокол Modbus-RTU.

Схема з'єднання перетворювача частоти з додатковими пристроями наведена на рис. 2.11.

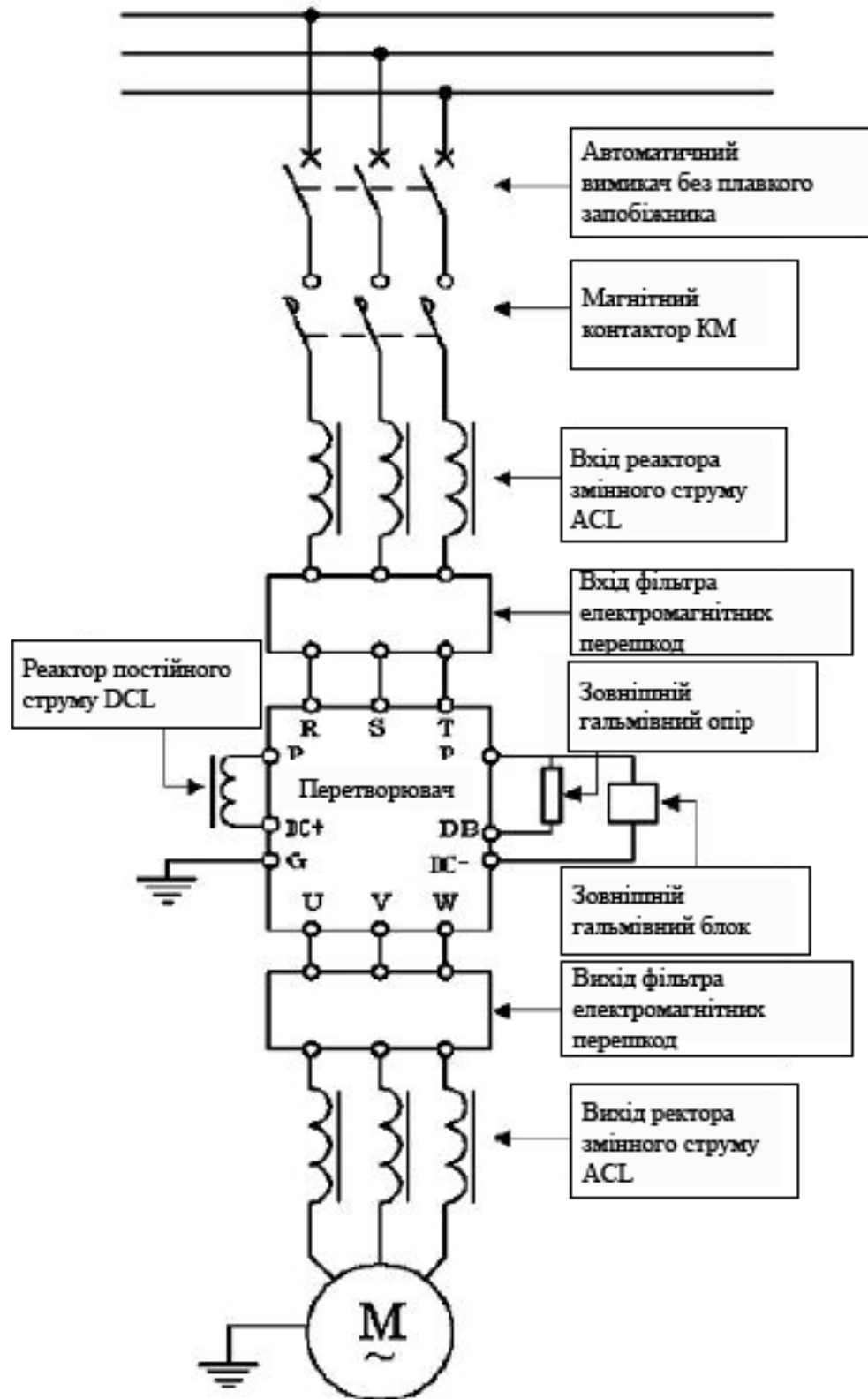


Рисунок 2.11 – Схема з'єднання перетворювача частоти C200
з додатковими пристроями

2.7 Панель керування та схема підключення перетворювача С200

Зовнішній вигляд панелі керування перетворювача частоти С200 зображений на рис. 2.12.

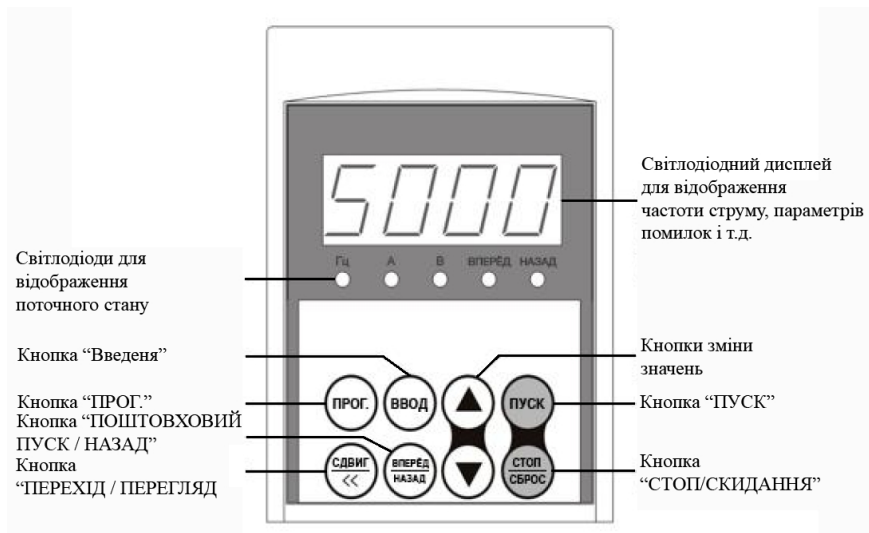


Рисунок 2.12 – Зовнішній вигляд панелі керування перетворювача С200

Гальмівні пристрої перетворювачів частоти С200 наведено в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Відомості про гальмівні пристрої перетворювачів С200

Перетворювач частоти		Гальмівний переривач		Гальмівний резистор		
Напру-га, В	Потужність електродвигуна, кВт	Модель	Кількість	Рекомендоване значення опору	Характеристики резистора	Кіль-кість
220	0,75	Вбудо-ваний	—	80 Вт, 200 Ом	80 Вт, 200 Ом	1
	1,5	Вбудо-ваний	—	160 Вт, 100 Ом	160 Вт, 100 Ом	1
	2,2	Вбудо-ваний	—	300 Вт, 70 Ом	300 Вт, 70 Ом	1
	3,7	Вбудо-ваний	—	400 Вт, 40 Ом	400 Вт, 40 Ом	1

Продовження таблиці 2.2 – Відомості про гальмівні пристрої перетворювачів С200

380	0,75	Вбудований	—	80 Вт, 750 Ом	80 Вт, 750 Ом	1
	1,5	Вбудований	—	160 Вт, 400 Ом	160 Вт, 400 Ом	1
	2,2	Вбудований	—	300 Вт, 250 Ом	300 Вт, 250 Ом	1
	3,7	Вбудований	—	400 Вт, 150 Ом	400 Вт, 150 Ом	1
	5,5	Вбудований	—	600 Вт, 100 Ом	600 Вт, 100 Ом	1
	7,5	Вбудований	—	800 Вт, 75 Ом	800 Вт, 75 Ом	1
	11	Вбудований	—	1000 Вт, 50 Ом	1000 Вт, 50 Ом	1
	15	Вбудований	—	1500 Вт, 40 Ом	1500 Вт, 40 Ом	1
	18,5	4030	1	2500 Вт, 35 Ом	2500 Вт, 35 Ом	1
	22	4030	1	3000 Вт, 27,2 Ом	3000 Вт, 27,2 Ом	1
	30	4030	1	5000 Вт, 19,2 Ом	5000 Вт, 19,2 Ом	1

Силову шафу перетворювача частоти С200 показано на рис. 2.13.



Рисунок 2.13 – Силова шафа перетворювача С200

Застосування перетворювача частоти С200 дозволяє досягти економії електроенергії:

- режим очікування зі зниженим енергоспоживанням;
- автоматичний 3-швидкісний охолоджуючий вентилятор – інтелектуально реагує на змінне навантаження;
- квадратний режим U/f - оптимізований для квадратичних навантажень, таких як насоси і вентилятори;
- динамічний режим U/f – знижує споживання енергії і втрати двигуна;
- ККД становить 98 % – тільки 2 % енергії втрачається в процесі перетворення в перетворювачі частоти.

Перед першим підключенням слід ознайомитись з інструкцією по експлуатації перетворювача та з гарантійними зобов'язаннями виробника. Принципова електрична схема підключення перетворювача Оптім Електро С200 показана на рис. 2.14.

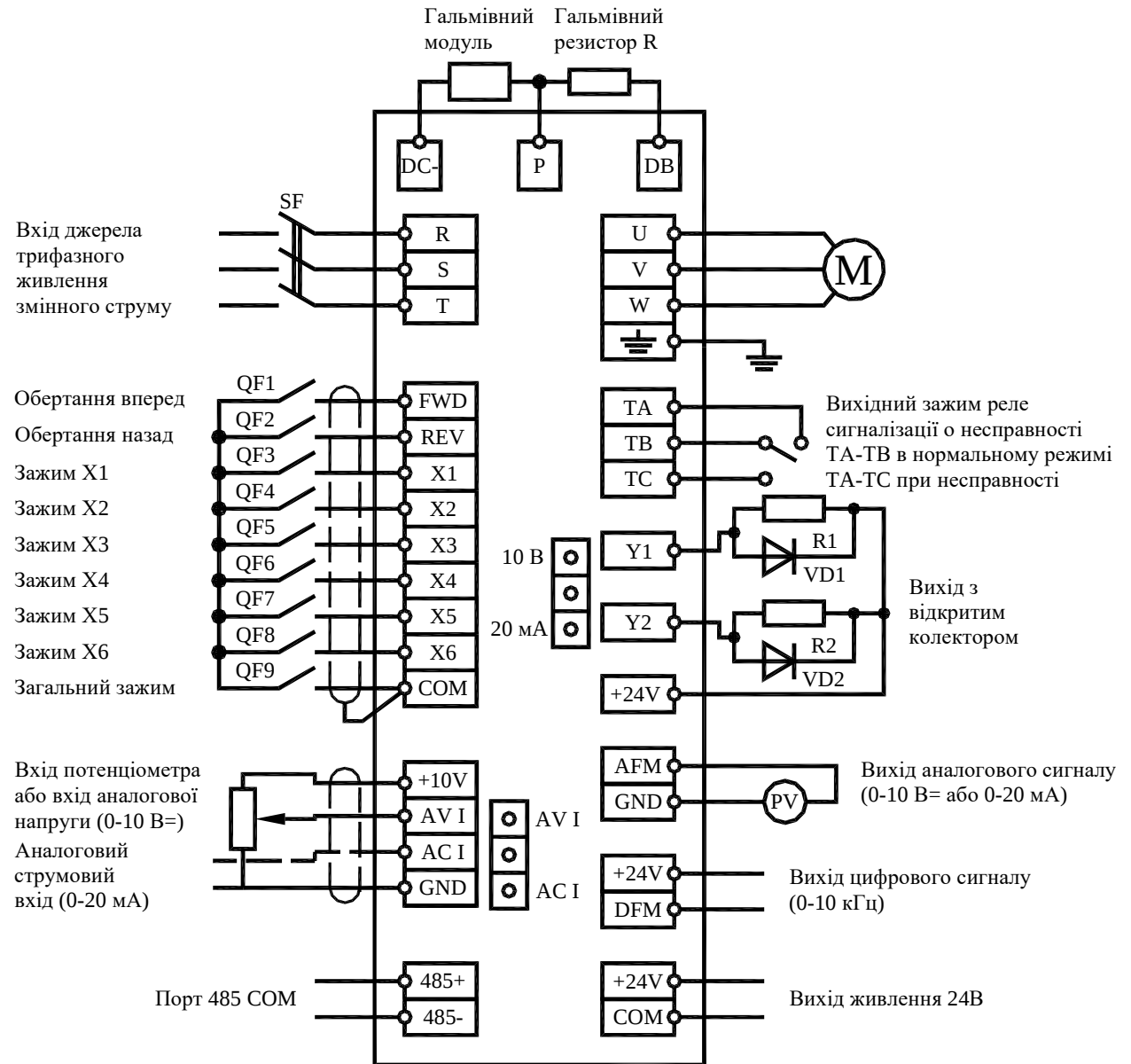


Рисунок 2.14 – Принципова електрична схема підключення перетворювача частоти С200

РОЗДІЛ 3

РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА, АНАЛІЗ І УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Вибір приводного електродвигуна насоса суднової системи змащення

В табл. 3.1 наведено характеристики тригвинтового насоса модель А1 3В 4/160-5,8/160Б.

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики насоса А1 3В 4/160-5,8/160Б

Модель агрегату	Подача насоса, м ³ /год	Тиск насоса, кгс/см ²	Вакууметрична висота всмоктування, м	Частота обертання, об/хв	Рід рідини, в'язкість сСт (оВУ), температура	Потужність двигуна, кВт
А1 3В 4/160-5,8/160Б	5,8	160	6	2900	мінеральні мастила, 38...90 (5...12), 80 °С	37

Зовнішній вигляд тригвинтового насоса А1 3В 63/25-45/6,3Б показано на рис. 3.1.



Рисунок 3.1 – Тригвинтовий насос А1 3В 4/160-5,8/160Б
суднової системи змащення

В якості приводного двигуна тригвинтового насоса А1 3В 4/160-5,8/160Б з використанням довідників обираємо асинхронний двигун модель RA200LB2 потужністю 37 кВт з числом полюсів $2p=2$ (число пар полюсів $p_n=1$) і синхронною швидкістю 3000 об/хв, Основні технічні характеристики даного асинхронного двигуна приведено в табл. 3.2

Таблиця 3.2 – Технічні характеристики асинхронного двигуна RA200LB2

Тип двигуна	P_n , кВт	Маса, кг	n_n , об/хв	η	$\cos\phi$	I_n , А	$\frac{I_k}{I_n}$	$\frac{M_n}{M_n}$	$\frac{M_{\max}}{M_n}$	$J_{\text{дв}}$, кг×м ²
RA200LB2	37	230	2950	0,93	0,89	68	7,5	2,4	3,0	0,1326

Визначимо параметри схеми заміщення асинхронної машини за паспортними даними двигуна.

Номінальне ковзання:

$$s_n = \frac{n_s - n_n}{n_s} = \frac{3000 - 2950}{3000} = 0,017,$$

де n_s – синхронна швидкість (швидкість обертання магнітного поля);

n_n – номінальна швидкість обертання двигуна.

Критичне ковзання:

$$s_k = (m_k + \sqrt{m_k^2 - 1}) s_n = (3,0 + \sqrt{3,0^2 - 1}) 0,017 = 0,097,$$

де $m_k = \frac{M_k}{M_n} = 3,0$ – відношення моменту критичного моменту до номінального моменту.

Визначимо номінальну кутову швидкість:

$$\omega_{\text{ном}} = \frac{2\pi n_{\text{ном}}}{60} = \frac{2 \cdot 3,142 \cdot 2950}{60} = 308,293 \text{ рад/с.}$$

Визначимо швидкість холостого ходу, номінальне ковзання і момент:

$$\omega_0 = \frac{2\pi f}{p} = \frac{2 \cdot 3,142 \cdot 50}{1} = 314,159 \text{ рад/с.}$$

Номинальний момент:

$$M_{\text{ном}} = \frac{P_{\text{н}}}{\omega_{\text{ном}}} = \frac{3,7 \cdot 10^4}{308,923} = 119,771 \approx 120 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Критичний момент:

$$M_{\text{к}} = m_{\text{к}} M_{\text{ном}} = 3,0 \cdot 119,771 = 359,313 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Конструктивний коефіцієнт

$$c_1 = 1 + \frac{L_{1\text{s}}}{L_m}.$$

Попередньо конструктивний коефіцієнт задається в діапазоні $c = 1,02 - 1,05$ для попереднього розрахунку параметрів схеми заміщення. Після розрахунку індуктивностей необхідно порівняти отримані дані з попередньо обраними і уточнити розрахунок. Зазвичай за 2-3 ітерації вдається досягнути збігу прийнятого і розрахункового конструктивного коефіцієнта.

Приймаємо значення конструктивного коефіцієнта $c_1 = 1,02$.

Механічні втрати:

$$\Delta P_m = \sqrt{3} I_{\text{н}} U_{\text{н}} \cos \varphi_{\eta} - P_{\text{н}} = \sqrt{3} \cdot 68 \cdot 380 \cdot 0,89 \cdot 0,93 - 3,7 \cdot 10^4 = 44,701 \text{ Вт}.$$

Коефіцієнт в'язкого тертя:

$$B_m = \frac{\Delta P_m}{(2\pi n_{\text{н}}/60)^2} = \frac{44,701}{(2 \cdot 3,142 \cdot 2950/60)^2} = 4,684 \cdot 10^{-4}.$$

Опір статора знаходиться з виразу:

$$\begin{aligned} R_s &= \frac{3}{2} \frac{(U_{\text{н}}/\sqrt{3})^2 (1-s_{\text{н}})}{c_1 (1+c_1/s_{\text{к}}) m_{\text{к}} (P_{\text{н}} + \Delta P_m)} = \\ &= \frac{3}{2} \cdot \frac{(380/\sqrt{3})^2 (1-0,017)}{1,02 \cdot (1+1,02/0,097) \cdot 3,0 \cdot (3,7 \cdot 10^4 + 44,701)} = 0,054 \text{ Ом}. \end{aligned}$$

Опір ротора:

$$R_r = \frac{1}{3} \frac{(P_{\text{н}} + \Delta P_m)}{(1-s_{\text{ном}}) \left(\frac{I_{\text{к}}}{I_{\text{н}}} \right)^2 I_{\text{н}}^2} = \frac{1}{3} \cdot \frac{(3,7 \cdot 10^4 + 44,701)}{(1-0,017) \cdot 7,5^2 \cdot 68^2} = 0,048 \text{ Ом}.$$

Індуктивність статора і ротора:

$$L_s \equiv L_r = \frac{1}{2\pi f_H I_H} \frac{(U_H/\sqrt{3})}{\left(\sqrt{1 - (\cos \varphi)^2} - \cos \varphi s_H/s_K\right)} =$$

$$= \frac{1}{2 \cdot 3,142 \cdot 50} \cdot \frac{(380/\sqrt{3})}{68 \left(\sqrt{1 - 0,89^2} - 0,89 \cdot 0,017/0,097\right)} = 0,034 \text{ Гн.}$$

Індуктивність розсіювання статора і ротора:

$$L_{1s} \equiv L_{1r} = \frac{1}{4\pi f_H} \sqrt{\left[\frac{(U_H/\sqrt{3})}{(i_K I_H)}\right]^2 - (R_s + R_r)^2} =$$

$$= \frac{1}{4 \cdot 3,142 \cdot 50} \sqrt{\left[\frac{(380/\sqrt{3})}{(7,5 \cdot 68)}\right]^2 - (0,054 + 0,048)^2} = 6,648 \cdot 10^{-4} \text{ Гн,}$$

де $i_K = \frac{I_K}{I_H} = 7,5$.

Взаємоіндукція:

$$L_m = L_s - L_{1s} = 0,034 - 6,648 \cdot 10^{-4} = 0,033 \text{ Гн.}$$

Перераховуємо конструктивний коефіцієнт:

$$c_1 = 1 + \frac{L_{1s}}{L_m} = 1 + \frac{6,648 \cdot 10^{-4}}{0,033} = 1,02.$$

Збіг прийнятого і розрахункового конструктивного коефіцієнта досягнуто. Отже, розрахунок можна вважати прийнятним.

Для побудови механічної характеристики електродвигуна скористаємося спрощеною формулою залежності моменту від ковзання:

$$M = \frac{2M_K}{\frac{s}{s_K} + \frac{s_K}{s}}.$$

В пакеті програм MathCAD можна записати наступні програмні операції:

$$s := 0.0001, 0.00015.. 1 \quad M(s) := \frac{2 \cdot M_K}{\frac{s}{s_K} + \frac{s_K}{s}}$$

В результаті отримаємо графік механічної характеристики для електродвигуна RA200LB2 (рис. 3.2).

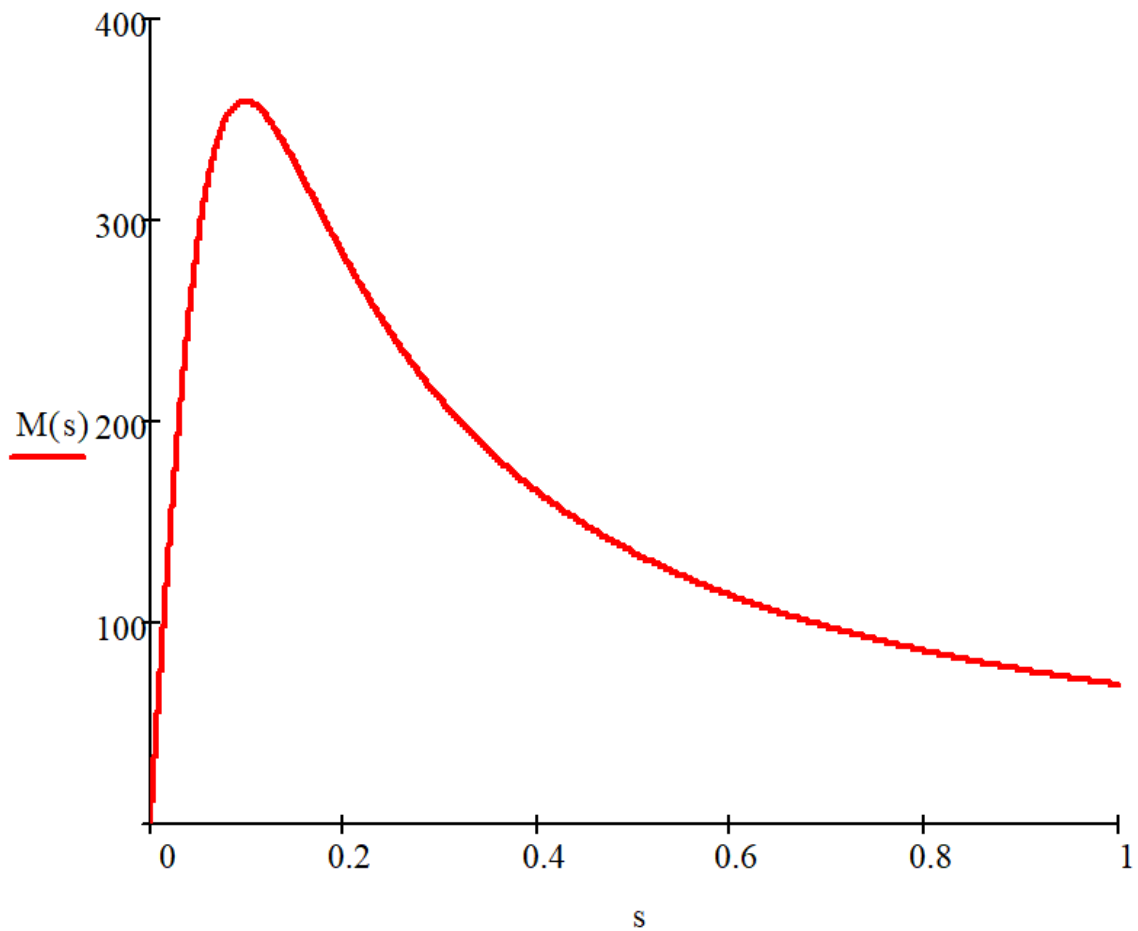


Рисунок 3.2 – Механічна характеристика приводного асинхронного двигуна RA200LB2 насоса суднової системи змащення

3.3 Вибір перетворювача частоти

Враховуючи потужність 37 кВт та номінальний струм 68 А приводного асинхронного двигуна RA200LB2 тривинтового насоса А1 ЗВ 4/160-5,8/160Б обираємо перетворювач частоти С200 з табл. 2.1. Модель перетворювача частоти С200-4Т-0370 потужністю 37 кВт і номінальним струмом 75 А.

Перетворювач частоти C200 забезпечує мінімізацію простоїв з надійними приводами. Конформні покриття друкованих плат – для підвищення стійкості до вологи, пилу, хімічних речовин і екстремальних температур. Запатентована система повітряного охолодження – ефективно охолоджується і захист внутрішніх компонентів. Захист від проникнення до IP21 - UL відкритий клас (NEMA 1). Перевантажувальна здатність 180 % для застосування в тяжких промислових машинах.

3.4 Синтез структури і розрахунок регуляторів системи керування електропривода насоса суднової системи змащення

Скалярний принцип частотного керування є найпоширенішим в асинхронному електроприводі. Йому властива технічна простота виміру й регулювання змінних асинхронного двигуна, а також можливість побудови розімкнутих систем керування швидкістю.

Формування необхідних статичних і динамічних властивостей асинхронного частотно-регульованого електропривода можливо лише в замкнутій системі регулювання його координат. Узагальнена функціональна схема подібної системи (рис. 3.3) крім асинхронного двигуна й керованого перетворювача частоти (ПЧ) містить регулятори Р и датчики Д змінних електропривода.

Система частотно-керованого електропривода нелінійна, тому аналітичний розрахунок регуляторів може бути виконаний досить наближено.

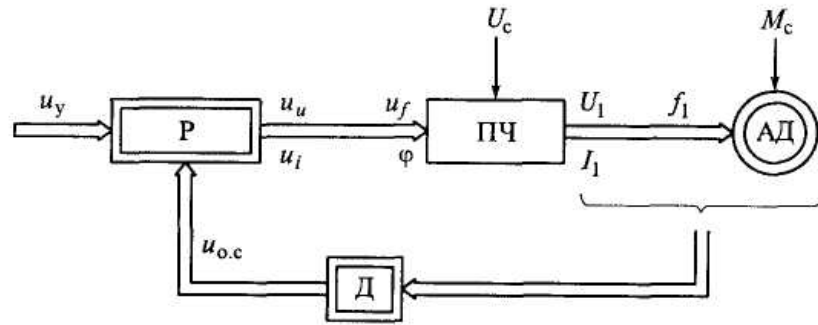


Рисунок 3.3 – Функціональна схема замкнутої системи керування типу ПЧ-АД зі скалярним керуванням

На рис. 3.4 зображено структурну схему лінеаризованої системи, функціональна схема якої приведена на рис. 2.8, при роботі асинхронного двигуна на ділянці механічної характеристики в межах значень абсолютного ковзання $s_a \leq s_k$. На схемі прийняті наступні позначення:

β – модуль жорсткості лінеаризованої механічної характеристики АД :

$$\beta = \frac{2M_k}{\omega_{0ннo} s_k};$$

$$\beta = \frac{2 \cdot 359,313}{314,159 \cdot 0,097} = 23,947.$$

T_e – еквівалентна електромагнітна постійна часу електрокіл статора та ротора АД, визначена по формулі:

$$T_e = \frac{1}{\omega_{0eел.но} s_k},$$

де $\omega_{0eел.но}$ – кутова швидкість електромагнітного поля асинхронного двигуна при його номінальній частоті живлення $f_{1ннo} = 50 \text{ Гц}$

($\omega_{0eел.но} = 2\pi f_{1ннo} = 2 \cdot 3,142 \cdot 50 = 314,159 \text{ c}^{-1}$).

$$T_e = \frac{1}{314,159 \cdot 0,097} = 0,033 \text{ с.}$$

Для асинхронних двигунів загальнопромислового виконання $s=0,05...0,5$ (менші значення характерні для потужних двигунів), $T_e=(0,006...0,06)$ с;

T_m – електромеханічна постійна часу двигуна

$$T_m = \frac{J}{k_\omega} = \frac{J}{\beta},$$

де J – зведений момент інерції двигуна.

$$T_m = \frac{0,1326}{23,947} = 5,537 \cdot 10^{-3} \text{ с.}$$

Передавальний коефіцієнт перетворювача частоти (ПЧ) $k_{пч}$:

$$k_{пч} = \frac{\Delta\omega_0}{\Delta u_{рш}} = \frac{2\pi\Delta f_1}{p_n \Delta u_{рш}},$$

де $p_n = 1$ – кількість пар полюсів двигуна (синхронна частота 3000 об/хв).

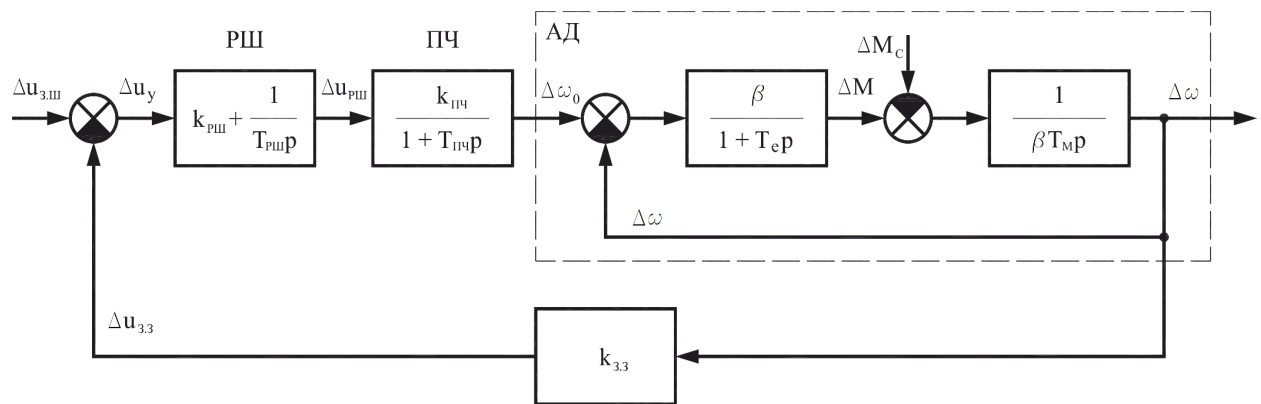


Рисунок 3.4 – Спрощена структурна схема системи ПЧ – АД зі зворотним зв'язком по швидкості

При роботі асинхронного двигуна в зоні частот $f_1 \leq f_{1\text{ннo}} = 50$ Гц і номінальному сигналі керування перетворювачем $u_{у.ПЧ\text{ном}}$ співвідношення

$$\frac{\Delta f_1}{\Delta u_{рш}} = \frac{f_1}{u_{у.ПЧ\text{ном}}};$$

$$k_{\text{пч}} = \frac{2 \cdot 3,142 \cdot 50}{1 \cdot 10} = 31,416.$$

$T_{\text{пч}}$ – постійна часу ланцюга керування ПЧ, що при високих частотах модуляції вихідної напруги промислових ПЧ (2...50 кГц) не перевищує 0,001 с.

Передавальна функція ПІ-регулятора швидкості

$$W_{\text{рш}}(p) = \frac{\Delta u_{\text{рш}}}{\Delta u_y} = k_{\text{рш}} + \frac{1}{T_{\text{рш}} p} = \frac{k_{\text{рш}} T_{\text{рш}} p + 1}{T_{\text{рш}} p}.$$

Передавальна функція ланцюга зворотного зв'язка за швидкістю двигуна:

$$W_{3.3}(p) = \frac{\Delta u_{3.3}}{\Delta \omega} = k_{3.3}.$$

При номінальному сигналі керування електроприводом, рівному $u_{3.\text{ном}}$, і відповідній йому номінальній швидкості асинхронного двигуна:

$$k_{3.3} = \frac{u_{3.\text{ном}}}{\omega_{\text{ном}}}.$$

$$k_{3.3} = \frac{1}{308,923} = 3,237 \cdot 10^{-3}.$$

У відповідності зі структурною схемою асинхронного двигуна його результуюча передавальна функція стосовно відхилення $\Delta \omega_0$:

$$W_d(p) = \frac{\Delta \omega}{\Delta \omega_0} = \frac{1}{T_e T_m p^2 + T_m p + 1}.$$

При $T_m \geq 4T_e$ передавальна функція асинхронного двигуна (коливальна ланка) може бути представлена у вигляді двох аперіодичних ланок:

$$W_d(p) = \frac{1}{(T_{01} p + 1)(T_{02} p + 1)},$$

де

$$\frac{1}{T_{01}} = \frac{1}{2T_e} \left(1 + \sqrt{1 - \frac{4T_e}{T_m}} \right); \quad \frac{1}{T_{02}} = \frac{1}{2T_e} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{4T_e}{T_m}} \right).$$

Приймаємо $T_m = 4T_e = 4 \cdot 0,033 = 0,131$, тоді

$$T_{01} = \frac{1}{\frac{1}{2T_e} \left(1 + \sqrt{1 - \frac{4T_e}{T_m}} \right)} = \frac{1}{\frac{1}{2 \cdot 0,033} \left(1 + \sqrt{1 - \frac{4 \cdot 0,033}{0,131}} \right)} = 0,066 \text{ с};$$

$$T_{02} = \frac{1}{\frac{1}{2T_e} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{4T_e}{T_m}} \right)} = \frac{1}{\frac{1}{2 \cdot 0,033} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{4 \cdot 0,033}{0,131}} \right)} = 0,066 \text{ с}.$$

Якщо віднести постійні T_{02} і $T_{пч}$ до малих постійних, що не компенсуються і в якості оцінки їхнього впливу прийняти

$$T_\mu = T_{02} + T_{пч} = 0,066 + 0,001 = 0,067 \text{ с},$$

то при настроюванні електропривода на модульний оптимум постійна інтегрування й коефіцієнт передачі пропорційної частини регулятора РС визначаються наступним чином:

$$T_{рш} = k_{з.з} k_{пч} a_\mu T_\mu;$$

$$T_{рш} = 3,237 \cdot 10^{-3} \cdot 31,416 \cdot 1 \cdot 0,067 = 6,766 \cdot 10^{-3} \text{ с};$$

$$k_{рш} = \frac{T_{01}}{T_{рш}}.$$

$$k_{рш} = \frac{0,066}{6,766 \cdot 10^{-3}} = 9,686.$$

3.5 Побудова перехідних процесів за швидкістю

Вивчення електромагнітних перехідних процесів в асинхронному двигуні має теоретичне і практичне значення, оскільки виключення з розгляду їх впливу змінює дійсне представлення про характер перехідних процесів в асинхронному електроприводі. Дослідження показують, що максимальні значення перехідного моменту можуть суттєво перевищувати

номінальний момент двигуна при пуску в 2-4 рази, при реверсуванні в 8-15 разів, що слід враховувати при аналізі властивостей конкретного електроприводу.

MATLAB – це високопродуктивна мова для технічних розрахунків. Вона містить у собі обчислення, візуалізацію і програмування у зручному вигляді, де задачі й розв’язки виражаються у формі, близькій до математичної. Типовим використанням MATLAB є математичні обчислення; створення алгоритмів; моделювання; аналіз даних, дослідження і візуалізація; наукова й інженерна графіка; розробка додатків, зокрема створення графічного інтерфейсу.

Simulink – це інтерактивна система для моделювання динамічних систем. Вона являє собою середовище, що дозволяє моделювати процес з переміщенням блоків та їх маніпуляцією для побудови перехідних процесів за структурною схемою. Simulink працює з лінійними, нелінійними, безперервними, дискретними, багатомірними системами.

На рис. 3.5 представлено схему для моделювання у програмі Simulink, за якою побудовано графік перехідного процесу на рис. 3.6. Цей перехідний процес побудований за допомогою розрахованих постійних часу та коефіцієнтів.

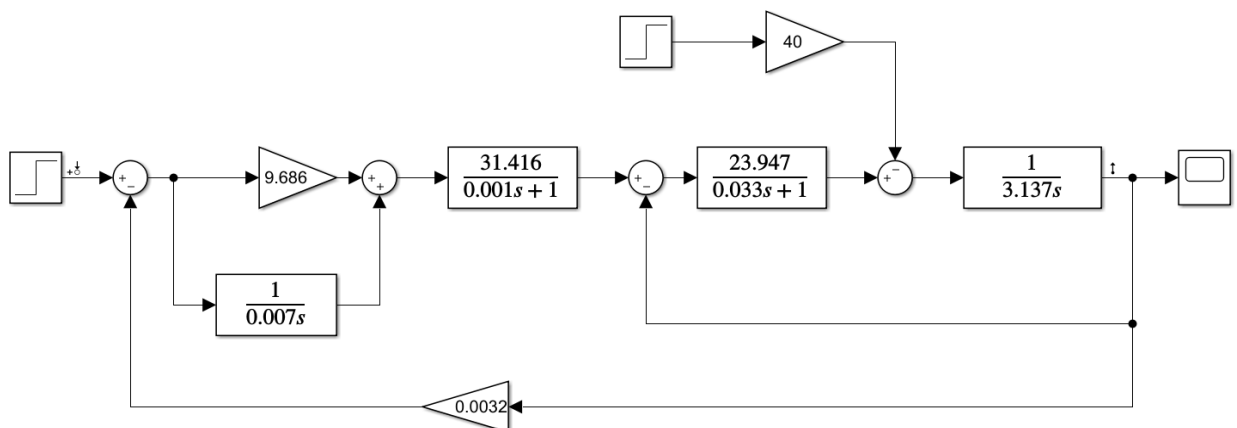


Рисунок 3.5 – Схема моделювання у програмі Simulink

при $k_{рш}=9,686$; $T_{рш}=0,007$ с

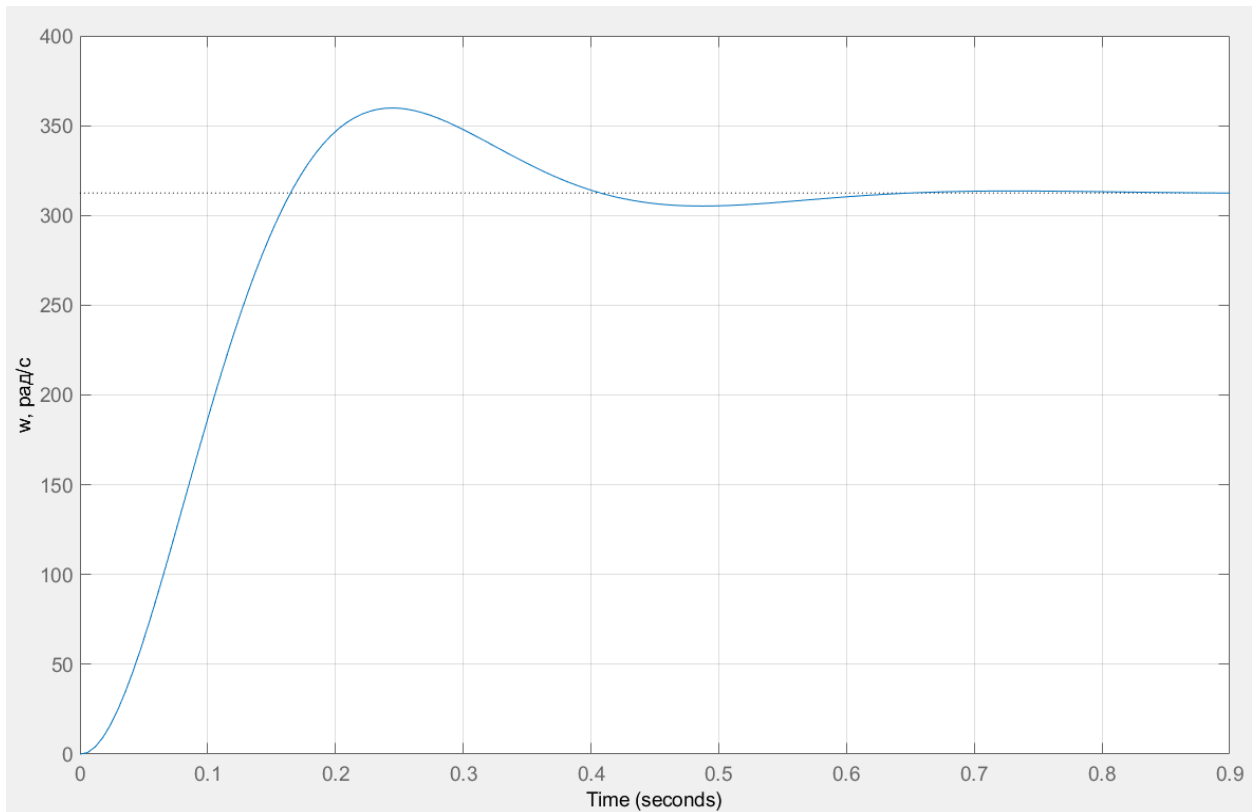


Рисунок 3.6 – Графік перехідного процесу за швидкістю
при $k_{рш}=9,686$; $T_{рш}=0,007$ с

Перехідний процес (рис. 3.6) побудовано при наступних параметрах регулятора швидкості: при $k_{рш}=9,686$; $T_{рш}=0,007$ с. З даного графіка видно, що час перехідного процесу становить $t_{пш}=0,9$ с, а перерегулювання $\sigma=15,1$ %.

Побудуємо ще один графік перехідного процесу при іншому значенні коефіцієнта передачі пропорційної частини ПІ-регулятора швидкості $k_{рш}$.

На рис. 3.7 представлено схему для моделювання у програмі Simulink і на рис. 3.8 відповідний їй графік перехідного процесу при $k_{рш}=0,969$; $T_{рш}=0,007$ с.

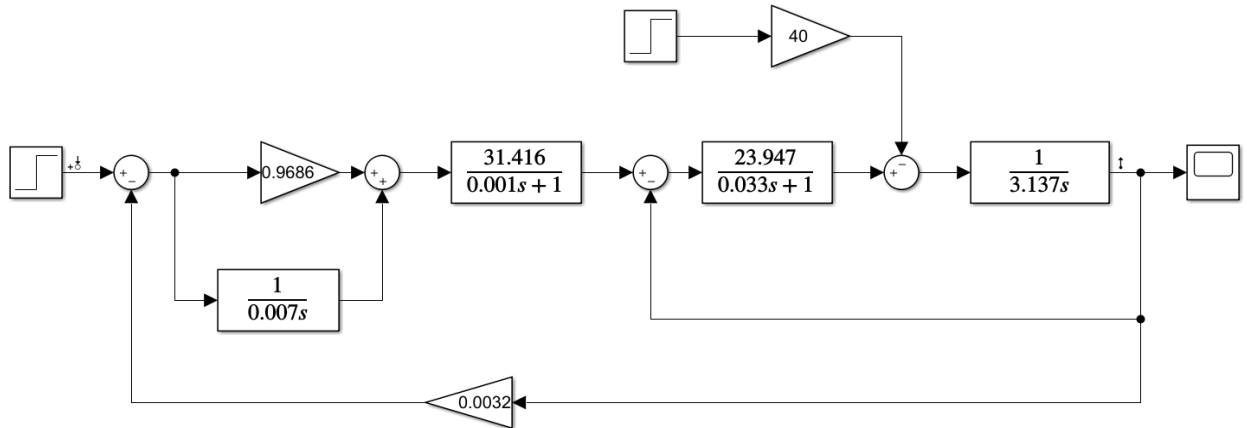


Рисунок 3.7 – Схема моделювання у програмі Simulink
при $k_{рш}=0,969$; $T_{рш}=0,007$ с

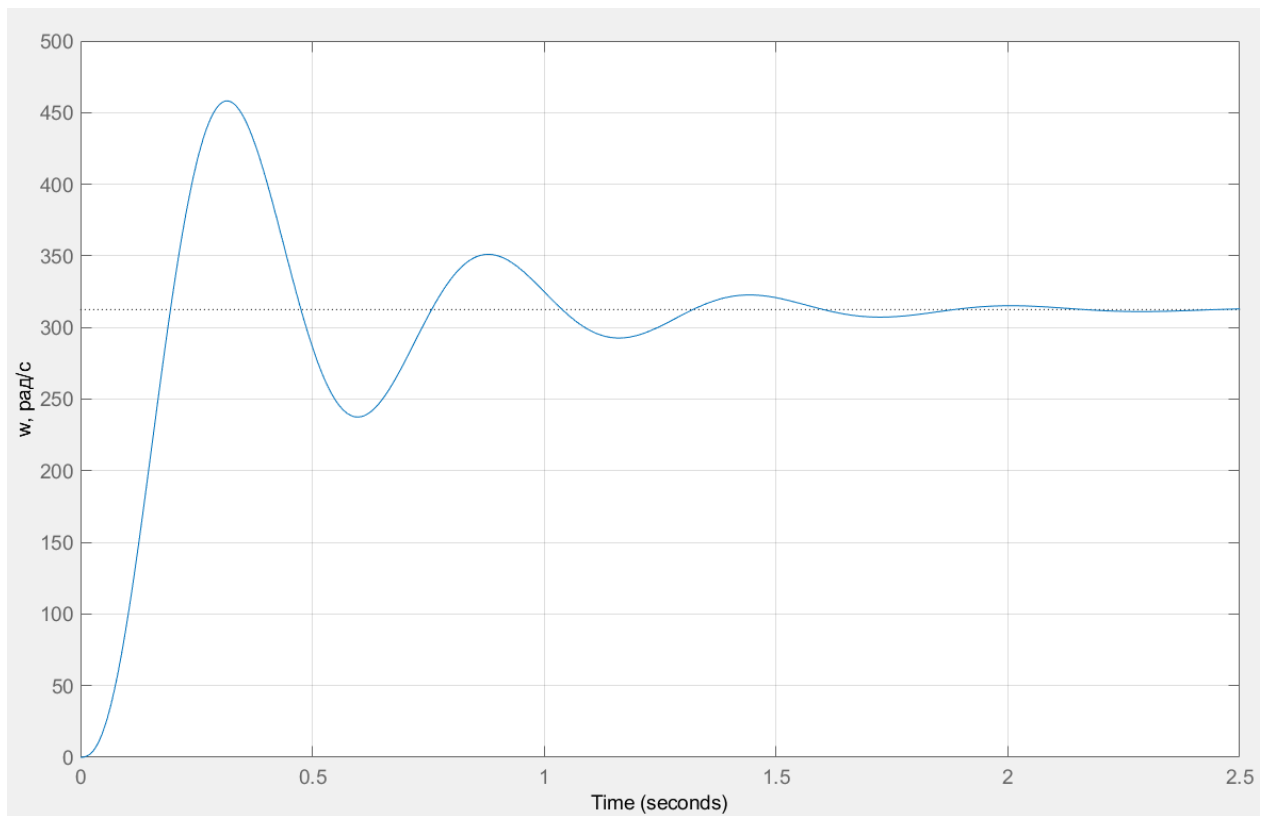


Рисунок 3.8 – Графік перехідного процесу за швидкістю
при $k_{рш}=0,969$; $T_{рш}=0,007$ с

Перехідний процес (рис. 3.8) побудовано при наступних параметрах регулятора швидкості: при $k_{рш}=0,969$; $T_{рш}=0,007$ с. З даного графіка видно, що час перехідного процесу збільшився і становить $t_{пш}=2,5$ с,

перерегулювання перевищило допустиме значення 30 % і становить $\sigma=46,6$ %.

Слід зазначити, що лише графік перехідного процесу за швидкістю на рис. 3.6 відповідає вимогам щодо показників якості керування, тому обираємо його та відповідні налаштування регулятора швидкості.

РОЗДІЛ 4

АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ПРАВИЛ МІЖНАРОДНОЇ КОНВЕНЦІЇ MARPOL-73/78

4.1 Основні правила міжнародної конвенції MARPOL-73/78

До Міжнародної конвенції по запобіганню забруднення з суден 1973 року (зі змінами 17.02.1978 р.) Україна приєдналась 21.09.1993 р., датою набуття чинності для України є 25.01.1994 р.

Всі сторони-підписанти-підписанти даної Конвенції, усвідомлюючи необхідність охорони навколишнього середовища взагалі і морського середовища, зокрема, визнаючи, що навмисне, випадкове скидання або скидання по недбалості з суден нафти та інших шкідливих речовин є серйозним джерелом забруднення, визнаючи також значення Міжнародної конвенції по запобіганню забруднення моря нафтою 1954 р. як першого багатостороннього акту, укладеного з першочерговою метою захисту навколишнього середовища, та високо оцінюючи значний внесок, який ця Конвенція зробила у справу охорони морів і узбережжя від забруднення, бажаючи досягти повного припинення навмисного забруднення морського середовища нафтою та іншими шкідливими речовинами і звести до мінімуму випадкові скидання таких речовин, вважаючи, що кращим способом досягнення цієї мети є встановлення правил, що не обмежуються запобіганням забруднення тільки нафтою, а мають всеосяжний характер погодили цілий ряд правил.

Сторони-підписанти Конвенції зобов'язуються здійснювати положення цієї Конвенції і тих додатків до неї, якими вони зв'язані, з метою запобігання забруднення морського середовища шкідливими речовинами або стоками, що містять такі речовини, шляхом їх скидання з порушенням положень Конвенції.

Слід зазначити, що будь-яке посилання на цю Конвенцію, якщо спеціально не передбачено інше, означає одночасно посилання на її протоколи і додатки.

Для цілей цієї Конвенції, якщо спеціально не передбачено інше є основні визначення:

– "Правила" означають правила, що містяться в додатках до цієї Конвенції.

– "Шкідлива речовина" означає будь-яку речовину, яка при попаданні в море здатна створити небезпеку для здоров'я людей, завдати шкоди живим ресурсам, морській флорі і фауні, погіршити умови відпочинку або перешкодити іншим видам правомірного використання моря, і включає будь-яку речовину, що підлягає контролю відповідно до цієї Конвенції.

– "Скидання" стосовно шкідливих речовин або стоків, що містять такі речовини, означає будь-яке скидання з судна, якими б причинами воно не викликалося, і включає будь-який витік, видалення, розлив, протікання, відкачку, виділення або спорожнювання.

"Скидання" не включає:

– скидання в значенні, передбаченому Конвенцією по запобіганню забруднення моря викидами відходів та інших матеріалів, укладеною в Лондоні 13.11.1972 р.;

– викиду шкідливих речовин, що відбувається безпосередньо внаслідок розвідки, розробки і пов'язаних з ними процесів обробки в морі мінеральних ресурсів морського дна;

– скидання шкідливих речовин для проведення правомірних наукових досліджень з метою боротьби з забрудненням або контролю над ним.

– "Судно" означає експлуатоване в морському середовищі судно будь-якого типу і включає судна на підводних крилах, судна на повітряній

подушці, підводні судна, плавучі засоби, а також стаціонарні або плавучі платформи.

– "Адміністрація" означає уряд держави, за уповноваженням якого експлуатується судно. Відносно судна, що має право плавання під прапором будь-якої держави, адміністрацією є уряд такої держави.

Щодо стаціонарних або плавучих платформ, зайнятих розвідкою і розробкою поверхні і надр морського дна, що прилягає до берега, над яким прибережна держава здійснює суверенні права в цілях розвідки і розробки їхніх природних багатств, адміністрацією є уряд відповідної прибережної держави.

– "Інцидент" означає подію, що спричинила або може спричинити скидання в море шкідливої речовини або стоків, що містять таку речовину.

– "Організація" означає міжурядову морську консультативну організацію.

Ця Конвенція застосовується до суден, що мають право плавання під прапором сторони-підписанта Конвенції і до суден, що не мають права плавання під прапором сторони-підписанта Конвенції, але експлуатованих під керуванням такої сторони-підписанта. Ніщо в статті «застосування» Конвенції не повинне тлумачитися як обмеження або розширення суверенних прав сторін-підписантів на поверхню і надра морського дна, що прилягає до їхніх берегів, здійснюваних з метою розвідки і розробки їхніх природних багатств згідно з міжнародним правом. Ця Конвенція не застосовується до будь-яких військових кораблів, військово-допоміжних суден або інших суден, що належать державі або експлуатуються нею і використовуються нині винятково для урядової некомерційної служби. Однак кожна сторона-підписант шляхом вживання відповідних заходів, що не завдають збитку експлуатації або експлуатаційним можливостям таких кораблів і суден, що належать їй або експлуатуються нею, повинна

забезпечити, щоб ці кораблі і судна діяли, наскільки це доцільно і практично можливо, таким чином, який відповідає цій Конвенції.

Будь-яке порушення положень цієї Конвенції, незалежно від місця його здійснення, забороняється, і санкції за таке порушення встановлюються законодавством адміністрації відповідного судна. Якщо адміністрація одержить інформацію про таке порушення і переконається в наявності достатніх доказів, що дозволяють порушити переслідування відносно передбачуваного порушення, вона дає розпорядження про порушення такого переслідування якнайшвидше згідно зі своїм законодавством.

Будь-яке порушення положень цієї Конвенції, вчинене у межах юрисдикції сторони-підписанта Конвенції, забороняється, і санкції за таке порушення встановлюються законодавством цієї сторони-підписанта. У випадку здійснення такого порушення ця сторона-підписант на вибір:

- дає розпорядження про порушення переслідування відповідно до свого законодавства;
- надсилає адміністрації судна таку інформацію і такі докази на підтвердження факту порушення, які є в її розпорядженні.

У випадку, коли інформація або докази відносно порушення судном цієї Конвенції надсилаються адміністрації такого судна, ця адміністрація без зволікання інформує про вжиті нею заходи сторону, що надіслала їй інформацію або докази, і організацію.

Санкції, передбачені законодавством сторін, повинні бути достатньо суворими для припинення порушень цієї Конвенції та однаково суворими незалежно від місця їхнього здійснення.

Статтею 4 Конвенції визначаються свідоцтва і спеціальні правила інспектування суден:

1. З урахуванням положень пункту 2 цієї статті свідоцтво, видане за уповноваженням сторони Конвенції відповідно до положень правил, приймається іншими сторонами-підписантами і розглядається для будь-яких

передбачених цією Конвенцією цілей як таке, яке має таку ж силу, як і видане ними свідоцтво.

2. Судно, яке зобов'язане мати свідоцтво згідно з положеннями правил, під час перебування в портах або віддалених від берега терміналах, що знаходяться під юрисдикцією якої-небудь сторони-підписанта, підлягає інспектуванню, яке здійснюється посадовими особами, належним чином уповноваженими цією стороною. Будь-яке таке інспектування обмежується лише перевіркою наявності на судні дійсного свідоцтва, якщо в цієї сторони-підписанта не буде очевидних підстав думати, що стан судна або його устаткування значною мірою не відповідає зазначеним у свідоцтві даним. У цьому випадку або у випадку, якщо судно не має дійсного свідоцтва, сторона-підписант, що здійснює інспектування, вживає заходів, що забезпечують невихід у море такого судна доти, поки воно не зможе вийти в море, не представляючи надмірної загрози для морського середовища. Однак така сторона-підписант може дозволити судну залишити порт або віддалений від берега термінал для прямування на найближчу підходящу судноремонтну верф.

3. Якщо сторона-підписант відмовляє іноземному судну в заходженні в порти або віддалені від берега термінали, що знаходяться під її юрисдикцією, або вживає які-небудь заходи проти такого судна на підставі того, що це судно не відповідає положенням цієї Конвенції, така сторона-підписант негайно інформує консула або дипломатичного представника сторони-підписанти, під прапором якої судно має право плавання, або, якщо це не можливо, – адміністрацію такого судна. Перш ніж відмовити судну в заходженні або вжити такі заходи, сторона-підписант може провести консультації з адміністрацією цього судна. Інформація направляється адміністрації також у випадку, коли судно не має дійсного свідоцтва відповідно до положень правил.

Сторони застосовують вимоги цієї Конвенції до суден держави, що не є

сторонами-підписантами Конвенції, оскільки це необхідно, щоб для таких суден не створювалися більш сприятливі умови.

Статтею 6 Конвенції визначаються виявлення порушень і забезпечення виконання Конвенції:

1. Сторони Конвенції співпрацюють у виявленні порушень і забезпеченні виконання положень цієї Конвенції, використовуючи усі відповідні і практично доступні засоби виявлення і постійного спостереження за навколишнім середовищем, а також відповідні способи передачі повідомлень і збору доказів.

2. Судно, до якого застосовується ця Конвенція, у будь-якому порту або віддаленому від берега терміналі сторони-підписанта може бути піддано інспектуванню посадовими особами, призначеними або уповноваженими такою стороною-підписантом, щоб перевірити, чи не зробило таке судно скидання шкідливих речовин на порушення положень правил. Якщо в результаті інспектування буде виявлене порушення положення Конвенції, то адміністрації надсилається про це повідомлення для вжиття відповідних заходів.

3. Кожна сторона-підписант надає адміністрації докази, якщо такі є, того, що судно на порушення положень правил зробило скидання шкідливих речовин або стоків, що містять такі речовини. Якщо це практично можливо, компетентна влада цієї сторони-підписанта повідомляє капітана судна про передбачуване порушення.

4. Після отримання таких доказів адміністрація проводить розслідування справи і може просити іншу сторону-підписант надати додаткові або більш переконливі докази передбачуваного порушення. Якщо адміністрація переконається в наявності достатніх доказів, що дозволяють порушити переслідування відносно передбачуваного порушення, вона дає розпорядження про порушення такого переслідування відповідно до свого законодавства якомога швидше. Адміністрація без зволікання інформує про

вжиті нею заходи сторону-підписанта, що повідомила про передбачуване порушення, а також організацію.

Сторона може піддати інспектуванню судно, до якого застосовується Конвенція, коли воно заходить у порти або віддалені від берега термінали, що знаходяться під її юрисдикцією, якщо від іншої сторони-підписанта отримано прохання про таке інспектування разом з достатніми доказами того, що це судно зробило в якому-небудь місці скидання шкідливих речовин або стоків, що містять такі речовини. Доповідь про таке інспектування надсилається стороні-підписанту, що просила про інспектування, і адміністрації для того, щоб можна було вжити відповідні заходи відповідно до положень цієї Конвенції.

Питанням необґрунтовані затримки суден присвячена стаття 7 Конвенції:

- при застосуванні статей 4, 5 і 6 цієї Конвенції вживаються всі можливі заходи для того, щоб уникнути необґрунтованої затримки судна або необґрунтованої відстрочки його відходу.

- будь-яке судно, що було необґрунтовано затримане або відхід якого був необґрунтовано відстрочений на підставі статей 4, 5, 16 цієї Конвенції, має право на відшкодування будь-яких понесених у зв'язку з цим збитків або шкоди.

Повідомлення про інциденти, пов'язані з скиданням шкідливих речовин:

- повідомлення про інцидент передається без затримки й якомога більш повному обсязі відповідно до положень протоколу I цієї Конвенції.

- кожна сторона-підписант Конвенції:

- а) вживає всіх необхідних заходів, щоб відповідна посадова особа або організація одержували й аналізували всі повідомлення про інциденти;

- б) повідомляє організації повні дані про вжиття таких заходів для надсилання іншим сторонам і державам – членам організації.

Коли сторона-підписант одержує повідомлення то, така сторона без затримки передає його адміністрації судна, з яким відбувся інцидент і будь-якій іншій державі, яку може це торкатися.

Кожна сторона Конвенції зобов'язується дати інструкції своїм суднам і літакам морської інспекції та іншим відповідним службам повідомляти своїм владам про будь-який інцидент, згаданий в протоколі I цієї Конвенції. Така сторона, якщо вона вважатиме за потрібне, повідомляє про це також організацію і будь-яку іншу зацікавлену сторону.

Будь-який спір між двома або декількома сторонами Конвенції щодо тлумачення або застосування цієї Конвенції, якщо врегулювання його шляхом переговорів між такими сторонами виявилось неможливим і, якщо тільки ці сторони не домовляться про інше, передається на прохання кожної з них на розгляд арбітражу, як це передбачено в протоколі II цієї Конвенції.

Сторони Конвенції зобов'язуються надсилати організації:

- а) тексти законів, наказів, декретів, правил та інших актів, виданих ними з різних питань щодо застосування цієї Конвенції;
- б) список неурядових організацій, уповноважених від їхнього імені займатися питаннями проектування, конструкції й устаткування суден, що перевозять шкідливі речовини відповідно до положень правил;
- в) достатня кількість зразків свідоцтв, виданих ними відповідно до положень правил;
- г) перелік прийомних пристроїв із вказівкою їх місцезнаходження, пропускної здатності, наявних пристосувань та інших характеристик;
- д) офіційні доповіді або огляди офіційних доповідей, що відображають результати застосування цієї Конвенції;
- е) щорічна статистична доповідь про фактично накладені за порушення цієї Конвенції санкції, складена за розробленою організацією єдиною формою.

Організація повідомляє сторони про одержання нею будь-якої

інформації відповідно до цієї статті і направляє всім сторонам будь-яку інформацію.

Під час аварії із суднами:

– Кожна адміністрація зобов'язується проводити розслідування будь-якої аварії, що трапилася з будь-яким з її суден, які підпадають під положення правил, якщо такою аварією морському середовищу заподіяна значна шкода.

– Кожна сторона Конвенції зобов'язується передавати організації інформацію про результати такого розслідування, якщо вона вважає, що така інформація може сприяти визначенню того, які зміни було б бажано внести в цю Конвенцію.

Підписання, ратифікація, прийняття, схвалення і приєднання відбувається згідно наступних пунктів:

– ця Конвенція відкрита для підписання в штаб-квартирі організації з 15 січня 1974 р. по 31 грудня 1974 р. і потім буде відкрита для приєднання до неї. Держави можуть стати сторонами цієї Конвенції шляхом вибору одного з наступних варіантів:

а) підписання без застереження про ратифікацію, прийняття або схвалення;

б) підписання з застереженням про ратифікацію, прийняття або схвалення з наступною ратифікацією, прийняттям або схваленням;

в) приєднання.

Ратифікація, прийняття, схвалення або приєднання здійснюються шляхом здачі на зберігання відповідного документа генеральному секретарю організації.

Генеральний секретар організації інформує всі держави, що підписали цю Конвенцію або приєдналися до неї, про будь-яке підписання або про здачу на зберігання будь-якого нового документа про ратифікацію, прийняття, схвалення або приєднання і про дату його здачі на зберігання.

Ця Конвенція набуває чинності після закінчення дванадцяти місяців з дати, на яку її сторонами згідно зі статтею 13 стануть не менше 15 держав, загальна валова місткість торговельних суден яких становить не менше п'ятдесяти відсотків валової місткості суден світового торговельного флоту.

Сторони Конвенції після консультації з організацією та іншими міжнародними організаціями, а також за сприяння і координації з боку виконавчого директора програми захисту навколишнього середовища Організації Об'єднаних Націй надають підтримку тим з сторін, що звертаються з проханням про надання технічної допомоги в частині:

- навчання наукового і технічного персоналу;
- поставки устаткування і пристроїв, необхідних для прийому шкідливих речовин, а також засобів виявлення забруднення;
- розробки інших заходів, спрямованих на запобігання або зменшення забруднення морського середовища із суден; і
- заохочення досліджень;
- здійснюючи таку допомогу переважно на території зацікавлених країн для подальшого сприяння виконанню цілей і завдань цієї Конвенції.

Ця Конвенція або будь-який факультативний додаток можуть бути денонсовані будь-якою стороною Конвенції в будь-який час після закінчення п'яти років з дати набуття чинності для цієї сторони Конвенції або такого додатка.

Денонсація здійснюється шляхом надсилання відповідного письмового повідомлення генеральному секретарю організації, що інформує всі інші сторони про зміст і дату одержання такого повідомлення, а також про дату набуття чинності такої денонсації.

Денонсація набуває чинності після закінчення дванадцяти місяців з дати одержання генеральним секретарем організації повідомлення про денонсацію або після закінчення більшого терміну, що може бути зазначений у цьому повідомленні.

Ця Конвенція здається на зберігання генеральному секретарю організації, що надсилає її завірнені копії всім державам, що підписали її або приєдналися до неї.

Як тільки ця Конвенція набуде чинності, генеральний секретар організації передає її текст генеральному секретарю Організації Об'єднаних Націй для реєстрації й опублікування згідно зі статтею 102 Статуту Організації Об'єднаних Націй.

Розглядувана Конвенція була складена в одному примірнику англійською, іспанською, російською і французькою мовами, причому всі тексти є автентичними. Офіційні переклади на арабську, італійську, німецьку і японську мови будуть підготовлені і здані на зберігання разом з підписаним оригіналом.

4.2 Методи запобігання нафтового забруднення з суден при плаванні в особливих районах

Особливими районами є район Середземного моря, район Балтійського моря, район Чорного моря, район Червоного моря, "Район заток", Аденська затока і район Антарктики, які визначені в такий спосіб:

– район Середземного моря означає власне Середземне море з розташованими в ньому затоками і морями, обмежений з боку Чорного моря паралеллю 41° з північної широти, а на заході – меридіаном $5^{\circ}36'$ західної довготи, які перетинають Гібралтарську протоку;

– район Балтійського моря означає власне Балтійське море з Ботнічеським і Фінською затоками і з проходом в Балтійське море, обмежений паралеллю $57^{\circ}44,8'$ північної широти біля мису Скаген в протоці Скагеррак;

– район Чорного моря означає власне Чорне море, обмежене з боку

Середземного моря паралеллю 41° північної широти;

- район Червоного моря означає власне Червоне море з Суецькою і Акабською затоками, обмежений з півдня прямою лінією, що проходить між Рас-сі-Ан ($12^{\circ}28,5'$ північної широти, $43^{\circ}19,6'$ східної довготи) і Хусн-Мурад ($12^{\circ}40,4'$ північної широти, $43^{\circ}30,2'$ східної довготи);

- "Район заток" означає морський район, розташований на північний захід від прямої лінії, що проходить між Рас-Ель-Хадда ($22^{\circ}30'$ північної широти, $59^{\circ}48'$ східної довготи) і Рас-Ель-Фастів ($25^{\circ}04'$ північної широти, $61^{\circ}25'$ східної довготи);

- Аденська затока означає частину Аденської затоки між Червоним морем і Аравійським морем, обмежену із заходу прямою лінією, що проходить між Рас-сі-Ан ($12^{\circ}28,5'$ північної широти, $43^{\circ}19,6'$ східної довготи) і Хусн-Мурад ($12^{\circ}40,4'$ північної широти, $43^{\circ}30,2'$ східної довготи), і зі сходу прямою лінією, що проходить між Рас-Асир ($11^{\circ}50'$ північної широти, $51^{\circ}16,9'$ східної довготи) і Рас-Фартак ($15^{\circ}35'$ північної широти, $52^{\circ}13,8'$ східної довготи);

- "район Антарктики" означає морський район на південь від 60° південної широти.

З урахуванням положень правила 11 додатка конвенції:

- в особливому районі забороняється будь-яке скидання в море нафти або містить нафту суміші з будь-якого нафтового танкера і судна валовою місткістю 400 рег. т і більш, яка не є нафтовим танкером. Відносно району Антарктики будь-яке скидання в море нафти або містить нафту суміші з будь-якого судна забороняється;

- в особливому районі забороняється будь-яке скидання в море нафти або нафтовмісної суміші з судна валовою місткістю менше 400 рег. т, яка не є нафтовим танкером, крім випадків, коли зміст нафти в стоці без його розведення не перевищує 15 мільйонних часток;

Положення пункту 2 цього правила не застосовуються до скидання

чистого і ізолюваного баласту;

Положення підпункту 2(а) цього правила не застосовуються до скидання оброблених льяльних вод з машинних приміщень за умови, що одночасно дотримуються всі наступні умови:

- джерелом льяльних вод не є льяла відділення вантажних насосів;
- льяльні води не змішані з залишками нафтового вантажу;
- судно знаходиться в русі;
- вміст нафти в стоці без розведення не перевищує 15 мільйонних часток;
- на судні знаходиться в дії устаткування для фільтрації нафти, яке задовольняє пункту 5 правила 16 додатка конвенції;
- система фільтрації обладнана пристроєм, що забезпечує автоматичне припинення скидання, коли вміст нафти в стоці перевищує 15 мільйонних часток.

Скидний в море стік не повинен містити хімічних або інших речовин, кількість або концентрація яких є небезпечними для морського середовища, а також хімічних або інших речовин, введених з метою обійти умови скидання, встановлені в цьому правилі.

Нафтові залишки, які не можуть бути скинуті в море, зберігаються на борту або скидаються на приймальні споруди.

Ніщо не забороняє судну, лише частина шляху якого проходить по особливому району, проводити за межами особливого району скидання.

У всіх випадках, коли в безпосередній близькості від судна або його кильватерного струменя на поверхні води або під нею виявлені видимі сліди нафти, уряду сторін конвенції в межах своїх можливостей невідкладно розслідують факти, що відносяться до даного випадку, для встановлення, чи мало місце порушення положень правил. Розслідування, зокрема, має включати відомості про вітер і стан моря, про шляхи і швидкості судна, про інших можливих джерелах появи поблизу судна видимих слідів нафти, а

також про будь-яких записах, які стосуються скидання нафти.

Приймальні споруди в межах особливих районів:

1. Райони Середземного, Чорного і Балтійського морів:

– уряд кожної сторони Конвенції, берегова лінія якої прилягає до одного з цих районів, зобов'язується забезпечити, щоб не пізніше 1 січня 1977 року в усіх нафтоналивних терміналах і ремонтних портах, що знаходяться в межах особливого району, були передбачені споруди, достатні для прийому від нафтових танкерів і обробки всього брудного баласту і промивної води з танків. Крім того, у всіх портах в межах особливого району передбачаються прийомні споруди, достатні для прийому від всіх судів інших залишків і нафтовмісних сумішей. Такі споруди повинні мати пропускну спроможність достатню для задоволення потреб користуються ними судів і не приводить до їх надмірного простою;

– уряд кожної сторони Конвенції, яка має юрисдикцією над входами в морські шляхи з невеликими глибинами, які можуть зажадати зменшення осадки судна шляхом зливу баласту, зобов'язуються передбачити споруди, із застереженням, що судна, яким необхідно здати нафтові залишки або брудний баласт, можуть зазнати деяку затримку;

– в період між вступом в силу цієї Конвенції (якщо це станеться раніше 1 січня 1977 року) та 1 січня 1977 року судна при плаванні в особливих районах виконують вимоги правила 9 додатка Конвенції. Однак уряди сторін Конвенції, берегова лінія яких прилягає до якого-небудь особливому району, згаданого в цьому підпункті, можуть встановити дату, що передує 1 січня 1977, але наступну за датою вступу в силу цієї Конвенції, починаючи з якої вимоги цього правила щодо згаданих районів будуть передбачені всі необхідні приймальні споруди;

– зацікавлені сторони повідомлять організацію про встановлену дату не менше ніж за шість місяців до її настання для сповіщення інших сторін;

– починаючи з 1 січня 1977 року або попередньої 1 січня 1977 року

дати, кожна сторона повідомляє організацію для сповіщення зацікавлених договорами урядів про всі передбачувані випадки невідповідності споруд встановленим вимогам;

2. Район Червоного моря, "Район заток" та район Аденської затоки:

– уряд кожної сторони, берегова лінія якої прилягає до цих особливих районів, зобов'язується забезпечити, щоб у всіх нафтоналивних терміналах і портах ремонту суден, розташованих в цих особливих районах, як можна швидше були передбачені споруди, достатні для прийому від танкерів і обробки всього брудного баласту і промивної води з танків. Крім того, у всіх портах в межах особливого району передбачаються прийомні споруди, достатні для прийому від всіх судів інших залишків і нафтовмісних сумішей. Такі споруди повинні мати пропускну здатність, достатню для задоволення потреб користуються ними судів і не приводить до їх надмірного простою;

– уряд кожної сторони Конвенції, яка має юрисдикцією над входами в морські шляхи з невеликими глибинами, які можуть зажадати зменшення осадки судна шляхом зливу баласту, зобов'язується забезпечити спорудження, із застереженням, що суду, яким необхідно здати нафтові залишки або брудний баласт, можуть зазнати деяку затримку;

– кожна зацікавлена сторона повідомляє організацію про вжиті заходи. Після отримання достатньої кількості повідомлень організація встановлює дату, починаючи з якої вимоги цього правила вступають в дію по відношенню до даного особливого району. Організація повідомляє всі сторони про таку дату не менше ніж за дванадцять місяців до її настання;

– в період між вступом в силу цієї Конвенції і такою датою суду, перебуваючи в особливих районах, виконують вимоги правила 9 додатка Конвенції;

– після такої дати нафтові танкери, які вантажаться в портах тих особливих районів, де ще поки відсутні такі приймальні споруди, також повністю виконують вимоги цього правила. Однак нафтові танкери, що

заходять в такі особливі райони з метою завантаження, повинні зробити все можливе, щоб входити в район, маючи на борту тільки чистий баласт;

– після дати, починаючи з якої вступають в дію вимоги щодо особливого району, кожна сторона повідомляє організацію для сповіщення зацікавлених сторін про всі випадки передбачуваного невідповідності споруд встановленим вимогам;

– щонайменше ті приймальні споруди, які передбачені правилом 12 додатка Конвенції, повинні бути забезпечені станом на 1 січня 1977 року або через рік після вступу в силу цієї Конвенції залежно від того, яка дата настане пізніше.

До району Антарктики застосовуються такі особливі правила:

– уряд кожної сторони Конвенції, з портів якої судна відправляються додому в рейс в район Антарктики чи в порти якої суду прибувають з району Антарктики, зобов'язується забезпечити, як тільки це буде практично можливо, надання відповідних споруд для прийому всіх нафтовмісних опадів, брудного баласту, промивальної води з танків, а також інших нафтовмісних залишків і сумішей для задоволення потреб, якими користуються судна, і які не призводять до їх надмірного простоїв;

– уряд кожної сторони Конвенції забезпечує, щоб всі судна, які мають право плавання під її прапором, до входу в район Антарктики були обладнані танком або танками достатньої місткості для збереження всіх нафтовмісних опадів, брудного баласту, промивальної води з танків, а також інших нафтовмісних залишків і сумішей при плаванні в цьому районі і мали домовленості про здачу таких нафтовмісних залишків на приймальне спорудження після виходу з цього району.

Правила 9 та 10 додатка конвенції не застосовуються:

– до скидання в море нафти або містить нафту суміші з метою забезпечення безпеки судна або порятунку людського життя на морі;

– до скидання в море нафти або нафтовмісної суміші в результаті

пошкодження судна або його обладнання;

– за умови, що після отримання пошкодження або виявлення скиду були прийняті всі розумні запобіжні заходи для запобігання або зведення до мінімуму такого скидання;

– за винятком випадків, коли судновласник або капітан діяли або з наміром заподіяти пошкодження судну, або безвідповідально і розуміючи, що це може привести до пошкодження;

– до скидання в море речовин, що містять нафту і схвалених адміністрацією, які використовуються для боротьби з особливими випадками забруднення моря з метою зведення до мінімуму шкоди від забруднення. Будь-подібний скидання підлягає схваленню всяким урядом, в чийй юрисдикції знаходиться район, в якому передбачається здійснити таке скидання.

На підставі існуючих правил, уряд кожної сторони зобов'язується передбачити в нафтоналивних терміналах, портах ремонту суден та інших портах, в яких судна повинні здавати нафтові залишки, споруди для прийому таких залишків і нафтовмісних сумішей, що залишаються на нафтових танкерах і інших судах, достатні для задоволення потреб, якими користуються судна, не призводячи до надмірного простою цих суден.

4.3 Технічне обслуговування електропривода насоса суднової системи змащення

Ремонт і технічне обслуговування електропривода насоса суднової системи змащення дозволяє уникнути можливих поломок, які можуть негативно вплинути як на саме обладнання, так і на обслуговуючий персонал.

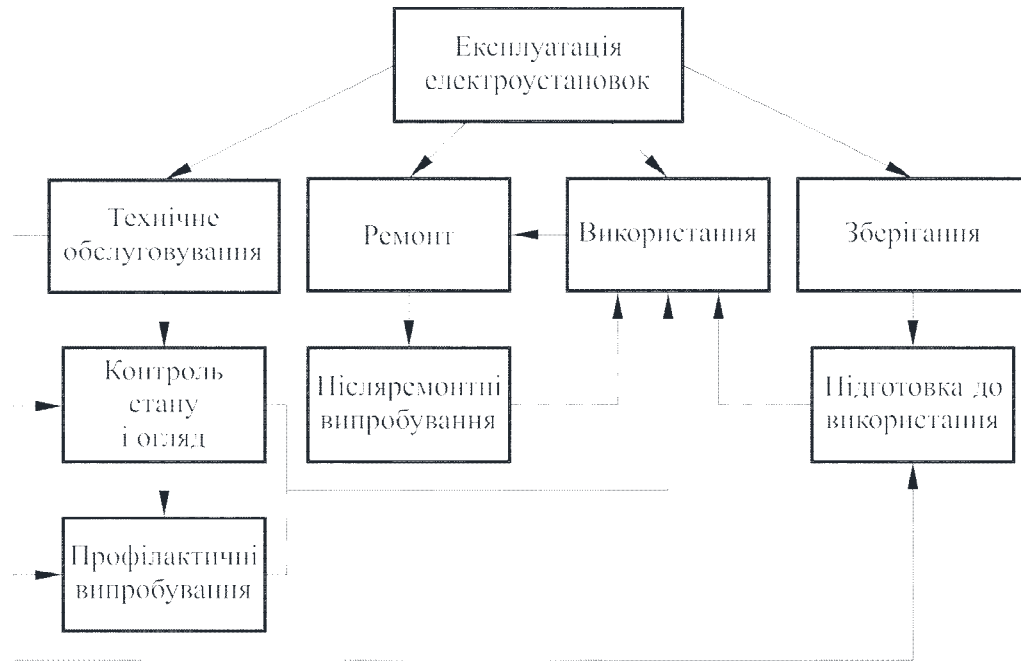


Рисунок 4.2 – Схема ремонту та технічного обслуговування електропривода насоса суднової системи змащення

Експлуатація електроприводів насосів суднових систем змащення проводиться на основі планово-попереджувального технічного обслуговування та ремонту (ППТОР), що є основою під час експлуатації електрообладнання суднових систем змащення (рис. 4.2). Суть даної системи полягає в тому, що крім щоденного нагляду за подібним електротехнічним устаткуванням, його через певні тривалі проміжки часу піддають плановим профілактичним оглядам, а також перевіркам і випробуванням, а також різноманітним типовим видам ремонту.

Зазначену систему (рис. 4.2) слід використовувати для забезпечення підтримки в нормальному технічному стані основних параметрів електротехнічного устаткування, усунення випадків відмов, зниження витрати на ремонт, поліпшення технічних характеристик під час планових ремонтів в результаті модернізаційних робіт і робіт з автоматизації.

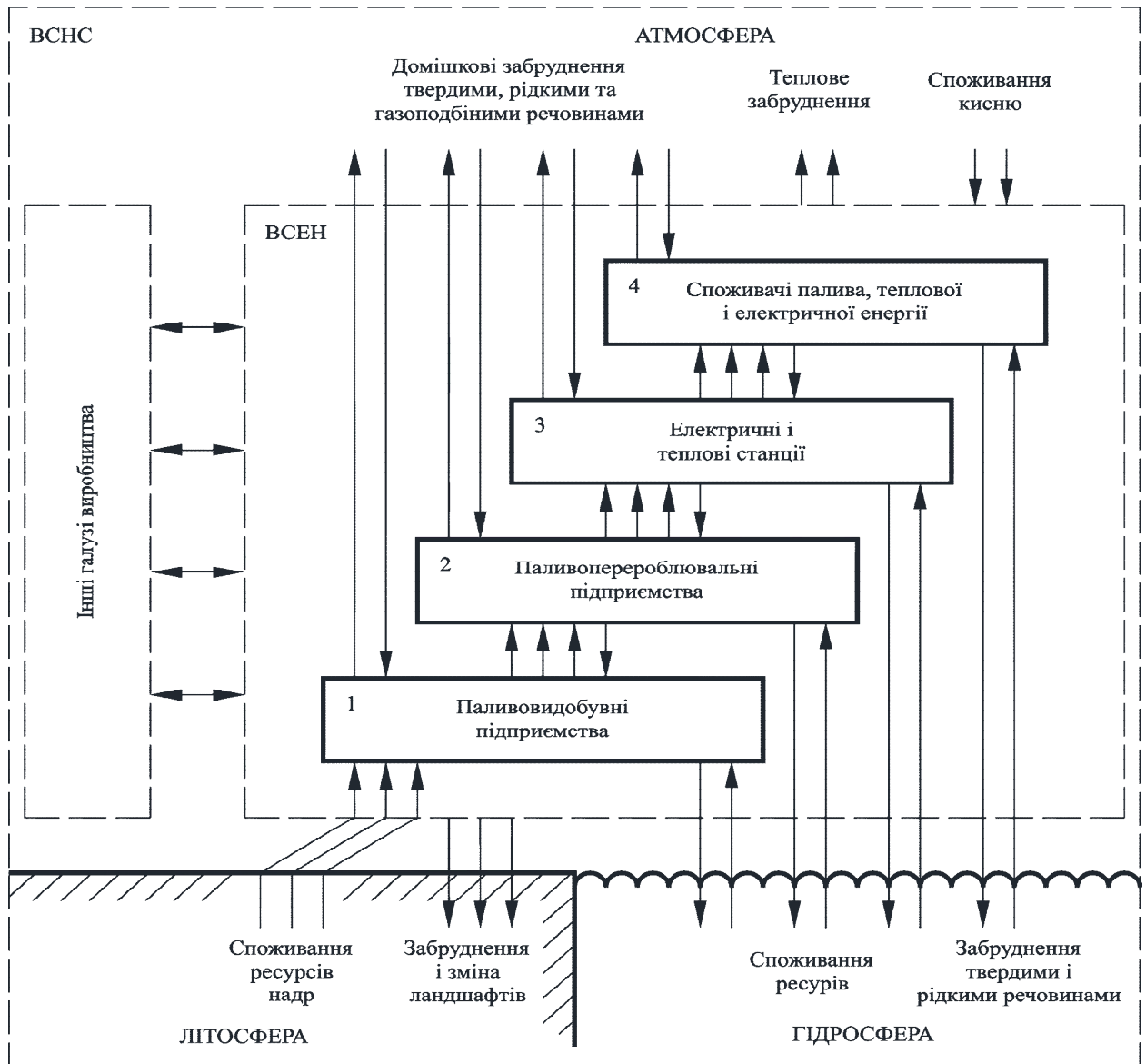


Рисунок 4.3 – Дієвий вплив енергетики як галузі народного господарства на охорону праці і навколишнє середовище

Енергетика як галузь народного господарства значно впливає на питання охорону праці і навколишнє середовище, подібний вплив можна описати на основі двох пов'язаних між собою систем (рис. 4.3).

Під час роботи з електроприводами слід дотримуватись правил охорони праці та електричної безпека як системи організаційних і технічних засобів, що запобігають шкідливому і небезпечному впливові на працюючих від електричного струму, електричної дуги, електромагнітного поля і статичної електрики.

До роботи на електроустановках допускаються особи не молодші 18 років, які пройшли інструктаж та навчання з безпечних методів праці, перевірку знань правил безпеки та інструкцій відповідно до займаної посади та кваліфікаційної групи з електробезпеки, і які не мають проти показів, визначених Міністерством охорони здоров'я України.

Для забезпечення безпеки робіт у діючих електроустановках належить виконувати наступні організаційні заходи:

- призначення осіб, які відповідають за організацію та проведення робіт;
- оформлення наряду чи розпорядження на проведення робіт;
- організація нагляду за проведенням робіт;
- оформлення закінчення робіт, перерв у роботі, переведення на інші робочі місця.

До технічних заходів, які необхідно виконувати в діючих електроустановках для забезпечення безпеки робіт при проведенні робіт зі зняттям напруги в діючих електроустановках чи поблизу них:

- вимкнення установки (частини установки) від джерела живлення електроенергії;
- механічне блокування приводів апаратів, які здійснюють вимкнення, зняття запобіжників, від'єднання кінців лінії, яка здійснює електропостачання та інші заходи, що унеможливають випадкову подачу напруги до місця проведення робіт;
- встановлення знаків безпеки та захисних огорож біля струмопровідних частин, що залишаються під напругою і до яких в процесі роботи можливе доторкання або наближення на недопустиму відстань;
- встановлення заземлення (ввімкнення заземлювальних ножів чи встановлення переносних заземлень);
- огороження робочого місця та вивішування плакатів безпеки;

До технічних заходів, які необхідно виконувати в діючих електроустановках для забезпечення безпеки робіт при проведенні робіт на струмопровідних частинах, які знаходяться під напругою та поблизу них відноситься виконання робіт за нарядом не менш ніж двома працівниками зі застосуванням електрозахисних засобів, під постійним наглядом, із забезпеченням безпечного розташування працівників, використовуваних механізмів та пристосувань.

ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі магістра розроблено систему керування електропривода насоса А1 ЗВ 4/160-5,8/160Б перекачування мастила суднової системи змащення. Розглянуто схеми приймання, видачі, перекачування і сепарації мастила на судні.

Застосовано систему скалярного керування, наведено її функціональну і структурну схеми. В автоматизованому електроприводі насоса суднової системи змащення використано асинхронний двигун RA200LB2 потужністю 37 кВт з частотою обертів 2950 об/хв та перетворювач частоти C200-4T-0370 потужністю 37 кВт.

В роботі виконано синтез структури і розрахунок налаштувань регуляторів системи скалярного керування електропривода насоса А1 ЗВ 4/160-5,8/160Б перекачування мастила суднової системи змащення, побудовано перехідні характеристики за швидкістю. Отримано основні показники якості керування: перерегулювання – 15,1 %, час перехідного процесу 0,9 с.

Також, в кваліфікаційній роботі магістра приділена увага по запобіганню забруднення з суден шляхом аналізу основних правил міжнародної конвенції MARPOL-73/78.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Овчинников И.Н. Судовые системы и трубопроводы / И.Н. Овчинников, Е.И. Овчинников. – Л.: Судостроение, 1988. – 312 с.
2. Системы судовых энергетических установок / Г.А. Артемов, В.П. Волошин, А.Я. Шквар, В.П. Шостак. – Л.: Судостроение, 1990. – 376 с.
3. Корнилов Э.В. Судовые главные двигатели с электронным управлением / Э.В. Корнилов, А.А. Фока, П.В. Бойко, Э.И. Голофастов. – Одесса: Экспрес-Реклама, 2010. – 224 с.
4. Кравцов А.И. Пособие по эксплуатации двигателей внутреннего сгорания рыбопромысловых судов / А.И. Кравцов. – М.: Пищевая промышленность, 1972. – 360 с.
5. Трифонов Л.К. Судовой моторист / Л.К. Трифонов, В.И. Макаренко. – М.: Транспорт, 1975. – 296 с.
6. Возницкий И.В. Практика использования морских топлив на судах / И.В. Возницкий. – СПб: КСИ, 2005. – 124 с.
7. Пахомов Ю.А. Топливо и топливные системы судовых дизелей / Ю.А. Пахомов, Ю.П. Коробков, Дмитриевский Е.В., Г.Л. Васильев. – М.: Рконсульт, 2004. – 496 с.
8. Грабченко А.І. Методи наукових досліджень / А.І. Грабченко В.О. Федорович, Я.М. Гаращенко. – Х.: ХПІ, 2009. – 142 с.
9. Терехов В.М. Системы управления электроприводов. – М.: Академия, 2004. – 296 с.
10. Белов М.П. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов. – М.: «Академия», 2007. – 576 с.
11. Соколовский Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием. – М.: «Академия», 2006. – 265 с.

12. Драчев Г.И. Теория электропривода. – Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2002. – 137 с.
13. Ключев В.И. Электропривод и автоматизация общепромышленных механизмов / В.И. Ключев, В.М. Терехов. – М.: Энергия, 1980. – 360 с.
14. Москаленко В.В. Электрический привод. – Москва: Академия, 2007. – 368 с.
15. Солодовников В.В. Теория сложности и проектирование систем управления / В.В. Солодовников, В.И. Тумаркин. – М.: Наука, 1990. – 168 с.
16. Фираго Б.И., Павлячик Л.Б. Регулируемые электроприводы переменного тока. – Мн.: Техноперспектива, 2006. – 363 с.
17. Усольцев А.А. Частотное управление асинхронными двигателями / А.А. Усольцев. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2006. – 94 с.
18. Алиев И.И. Асинхронные двигатели в трехфазном и однофазном режимах. – М.: ИП РадиоСофт, 2004. – 128 с.
19. Шаруда В.Г. Практикум з теорії автоматичного управління. – Дніпропетровськ: Національна гірничча академія України, 2002. – 414 с.
20. Винокурова Л.Е. Основи охорони праці / Л.Е. Винокурова, М.В. Васильчук, М.В. Гаман. – К.: Вікторія, 2001. – 192 с.
21. Сибикин Ю.Д. Электробезопасность при эксплуатации электроустановок промышленных предприятий / Ю.Д. Сибикин, М.Ю. Сибикин. – М.: Академия, 2004. – 240 с.