

Національний університет кораблебудування  
імені адмірала Макарова

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

Кафедра автоматики  
(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»  
Завідувач кафедри

  
(підпис)

І. С. Білюк

« 20 » 12 2024 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
на здобуття ступеня магістра

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

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

на тему: Автоматизований електропривод насоса системи охолодження  
суднового дизеля

Виконав: студент групи 6372м

Хижняк Вадим Васильович

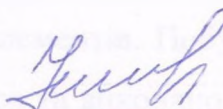
(прізвище, ім'я, по батькові)

  
(підпис)

Керівник

проф. каф. автоматики, д.е.н.,  
проф. Надточій І. І.

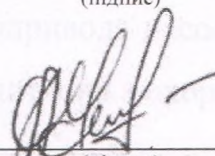
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

  
(підпис)

Рецензент

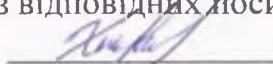
проф. каф. ПЕЕТ, д.т.н.,  
проф. Ушкаренко О. О.

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

  
(підпис)

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

Студент

  
(підпис)

м. Миколаїв – 2024 року

## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота: 101 с., 4 р., 25 рис., 5 табл., 1 дод., 11 джерел.

**Ключові слова:** асинхронний електропривод, моделювання, насос, перехідна характеристика, система охолодження, судновий дизель.

Об'єкт дослідження — перехідні процеси в асинхронному електроприводі насоса системи охолодження суднового дизеля.

Мета роботи — синтез системи керування електропривода насоса системи охолодження суднового дизеля.

Методи дослідження — моделювання перехідних процесів в асинхронному електроприводі насоса системи охолодження суднового дизеля з використанням сучасної теорії автоматичного керування та електропривода, імітаційне моделювання в MATLAB, обробка та аналіз отриманих результатів.

У першому розділі розглянуто системи дизельних енергетичних установок. Розділ 2 містить аналіз устаткування систем охолодження суднового дизеля. Розглянуто температурний режим у системах охолодження, відкриті та закриті системи охолодження суднового дизеля. У розділі 3 побудовано функціональну схему автоматизованого електропривода насоса та наведено опис її елементів. Побудовано динамічну модель автоматизованого електропривода насоса та виконано розрахунок параметрів її елементів. Досліджено динаміку електропривода насоса в MATLAB та проаналізовано якість керування. Розділ 4 містить питання з охорони праці. Додаток містить слайди мультимедійної презентації.

## ЗМІСТ

|                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------|----|
| ВСТУП.....                                                            | 5  |
| 1 СИСТЕМИ ДИЗЕЛЬНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК .....                      | 7  |
| 1.1 Паливна система.....                                              | 7  |
| 1.2 Система змащування.....                                           | 10 |
| 1.3 Система охолодження.....                                          | 12 |
| 1.4 Система повітропостачання .....                                   | 16 |
| 1.5 Система газовідведення.....                                       | 18 |
| 1.6 Система керування.....                                            | 20 |
| 1.7 Система регулювання та контролю.....                              | 23 |
| 2 УСТАТКУВАННЯ СИСТЕМ ОХОЛОДЖЕННЯ СУДНОВОГО ДИЗЕЛЯ ....               | 26 |
| 2.1 Температурний режим у системах охолодження .....                  | 26 |
| 2.2 Суднові системи охолодження .....                                 | 28 |
| 2.3 Склад суднової системи охолодження.....                           | 33 |
| 2.4 Технічні характеристики системи охолодження .....                 | 45 |
| 3 АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД НАСОСА                                |    |
| СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ.....                                              | 47 |
| 3.1 Функціональна схема автоматизованого електропривода насоса .....  | 47 |
| 3.2 Структурна схема автоматизованого електропривода насоса .....     | 54 |
| 3.3 Дослідження динаміки.....                                         | 63 |
| 4 ОХОРОНА ПРАЦІ.....                                                  | 70 |
| 4.1 Забезпечення безпеки виробничих процесів на морському             |    |
| транспорті .....                                                      | 70 |
| 4.2 Техніка безпеки при експлуатації суднових технічних засобів ..... | 75 |
| 4.3 Загальні вимоги до використання і безпечного обслуговування       |    |
| суднових технічних засобів .....                                      | 81 |

|                                                                |     |
|----------------------------------------------------------------|-----|
| 4.4 Техніка безпеки при експлуатації суднових дизелів.....     | 82  |
| 4.5 Безпечна експлуатація іншого допоміжного устаткування..... | 87  |
| 4.6 Організація пожежної безпеки на судах.....                 | 93  |
| ВИСНОВКИ.....                                                  | 98  |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....                            | 100 |
| ДОДАТОК А. Мультимедійна презентація.....                      | 102 |

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Очевидною тенденцією розвитку техніки є все більш широке застосування регульованого електропривода з метою енерго- і ресурсозбереження, підвищення надійності устаткування, автоматизації технологічних процесів. Для електропривода насоса системи охолодження суднового дизеля зберігаються всі переваги приводів змінного струму при запуску під повною напругою. Знижується загальна витрата енергії і скачки напруги під час пусків, і система може забезпечити більш сталий тиск в залежності від потреб.

**Мета і завдання дослідження.** Метою роботи є синтез системи керування електропривода насоса системи охолодження суднового дизеля. Щоб досягти поставленої мети, слід розв'язати наступні завдання:

- 1) розглянути системи дизельних енергетичних установок. Проаналізувати устаткування систем охолодження суднового дизеля;
- 2) побудувати функціональну схему автоматизованого електропривода насоса та навести опис її елементів;
- 3) побудувати модель асинхронного електропривода насоса та виконати розрахунок параметрів її елементів;
- 4) провести моделювання асинхронного електропривода насоса в MATLAB та проаналізувати якість керування.

**Об'єкт дослідження.** Перехідні процеси в асинхронному електроприводі насоса системи охолодження суднового дизеля.

**Предмет дослідження.** Структура та параметри регулятора напору/тиску асинхронного електропривода насоса системи охолодження суднового дизеля, які впливають на якість керування.

**Методи дослідження.** Моделювання перехідних процесів в асинхронному електроприводі насоса системи охолодження суднового дизеля з використанням сучасної теорії автоматичного керування та електропривода, імітаційне моделювання в MATLAB, обробка та аналіз отриманих результатів.

## **1 СИСТЕМИ ДИЗЕЛЬНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК**

Для забезпечення протікання робочого процесу, ефективного та безаварійного функціонування дизельного двигуна призначені системи ГЕУ (головна енергетична установка). До систем, що обслуговують роботу дизеля, належать [1]:

- паливна система;
- система змащення;
- система охолодження;
- система повітропостачання;
- система газовідведення;
- система керування;
- система регулювання та контролю.

### **1.1 Паливна система**

Паливна система забезпечує подачу палива у робочі циліндри. Паливна система дизельного двигуна складається з паливних систем низького та високого тиску.

1.1.1 Паливна система низького тиску призначена для попередньої підготовки палива та подачі його до паливної системи високого тиску. Попередня підготовка включає підігрів палива до необхідної температури (зниження його в'язкості), фільтрацію, введення присадок та інші необхідні операції. Паливна система низького тиску включає такі основні елементи: запасні і витратні паливні цистерни, фільтри, насоси, сепаратори, підігрівачі палива і паливопроводи низького тиску.

1.1.2 Паливна система високого тиску здійснює точне дозування палива в залежності від режиму роботи дизеля, розподіл палива по циліндрах та впорскування палива в камеру згоряння двигуна з необхідним тиском. Паливна система високого тиску включає: паливний насос високого тиску – ПНВТ, форсунки і паливопроводи високого тиску. Паливні системи високого тиску можуть виконуватися розділеного

та нерозділеного типів. У розділених системах ПНВТ та форсунка з'єднані між собою паливопроводом високого тиску, у нерозділених – об'єднані у загальному корпусі та утворюють систему насос-форсунка.

ПНВТ в МОД (малообертовий двигун) і СОД(середньообертовий двигун) зазвичай виконуються автономними для кожного циліндра. Для ВОД (високообертовий двигун) зазвичай використовуються блокові насоси, в яких плунжерні пари, що складаються з плунжера і втулки, розміщуються в загальному корпусі (рядному або V-подібному). Привід ПНВТ судових дизелів зазвичай виконується механічним від кулачкового розподільчого валу.

Форсунки призначені для впорскування порції палива в камеру згоряння двигуна у дрібно розпорошеному вигляді. Зазвичай у дизельних двигунах застосовуються форсунки різних типів: відкриті, нормальні закриті, клапано-соплові та штифтові. Тип форсунки, що використовується в дизелі, визначають: спосіб подачі палива в циліндр і необхідна при згорянні форма факела.

Насос-форсунки застосовують для отримання високого тиску впорскування, що перевищує 100 МПа. Насос-форсунка поєднує в одному агрегаті насосну секцію та розпилювач форсунки. Це дозволяє уникнути застосування товстостінних паливопроводів високого тиску. Насос-форсунки встановлюються, як правило, безпосередньо на кришці циліндра та мають індивідуальний важільний або штанговий привід.

#### 1.1.3 Основними функціями паливної апаратури є:

- точне дозування подачі палива на цикл;
- забезпечення необхідного тиску упорскування палива на певній ділянці робочого циклу протягом короткого проміжку часу;
- можливість зміни моментів випередження упорскування палива;
- рівномірний розподіл палива за окремими циліндрами;
- забезпечення оптимального характеру перебігу процесу упорскування;
- забезпечення надійної роботи апаратури всіх заданих режимах;

1.1.4 Схема типової паливної системи дизельної енергетичної установки, що працює на тяжкому паливі, зображена на рисунку 1.1.

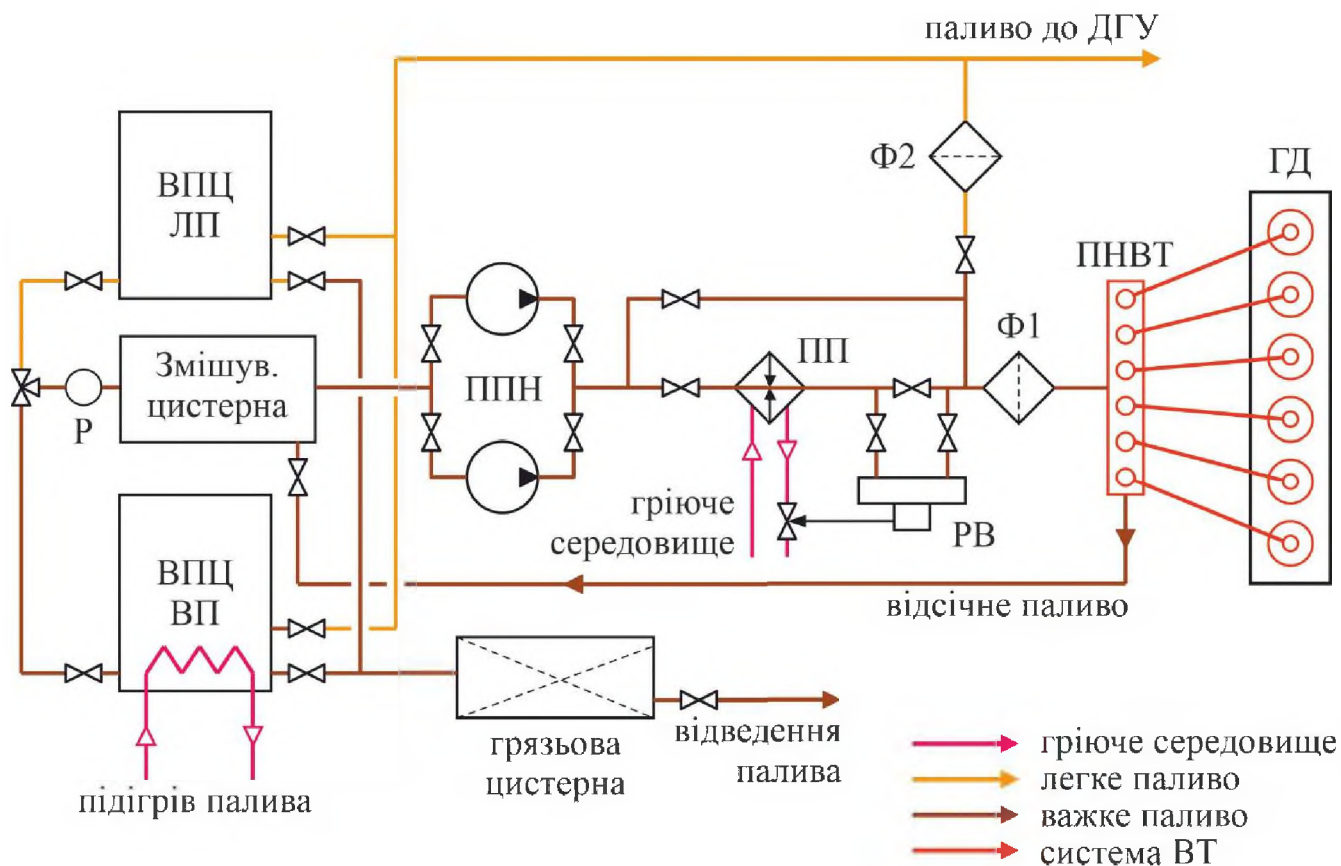


Рисунок 1.1 – Схема паливної системи ДЕУ, що працює на важкому паливі

Зображена на рисунку система пристосована для роботи на мало- та високов'язкому паливі, а також їх суміші в різних пропорціях. Перед запуском головного двигуна ГД система має бути заповнена легким паливом, що не вимагає підігріву. Паливо з витратної цистерни легкого палива ВПЦ ЛП через витратомір Р подається в цистерну змішувача. Малов'язке паливо із змішувальної цистерни надходить до паливопідкачувальних насосів ППН і через фільтр тонкого очищення Ф1 до насоса високого тиску ПНВТ і форсунок ГД, минаючи гілку підігрівача ПП. На режимі роботи ГД, що встановився, його можна переводити на високов'язке паливо. Для цього попередньо підігріте паливо з цистерни важкого палива ВПЦ ВП через витратомір Р починають подавати в цистерну змішувача, а подачу малов'язкого палива з цистерни легкого палива припиняють. У міру збільшення вмісту високов'язкого палива в цистерні змішувача в'язкість суміші зростає, і суміш подається до двигуна через гілку підігріву з регулятором в'язкості РВ, що впливає на

витрату гріючого середовища через підігрівач палива. Двигун переходить на висок'язке паливо. Відсічне паливо від насосів високого тиску та форсунок повертається в змішувальну цистерну трубопроводом. Через окремий трубопровід проводиться подача малов'язкого палива до дизель-генераторної установки ДГУ. Можливе подання на ДГУ підігрітого важкого палива через фільтр Ф2. Як гріюче середовище в підігрівачі палива можуть використовуватися: пар від допоміжної котельної установки, вода системи охолодження двигуна.

## 1.2 Система змащування

Система змащування забезпечує подачу мастила до поверхонь дизельного двигуна, що труться з метою зменшення сил тертя, відведення теплоти, що виділяється при терті, очищення поверхонь тертя від продуктів зносу, нагару та інших сторонніх частинок.

Системи змащування, що застосовуються в суднових ДЕУ, можна класифікувати за такими ознаками:

- за способом забезпечення напору: на гравітаційні, примусові та комбіновані. У гравітаційних системах необхідний тиск мастила забезпечується за рахунок напору стовпа рідини при розміщенні видаткової масляної цистерни над двигуном. У примусових системах необхідний тиск мастила створюється масляним насосом.
- за рухом мастила: на циркуляційні (замкнуті) та лінійні (лубрикаторні). У циркуляційній системі мастило проходить через змащуваний вузол і багаторазово здійснює замкнутий цикл; у лінійній системі мастило підводиться до поверхні змащення один раз і назад в систему не повертається (згоряє в циліндрах двигуна разом із паливом).
- за кількістю марок мастила: на одномасляні та багатомасляні. У одномасляних системах на всі змащувані вузли подається мастило однієї марки. У багатомасляних системах для частини вузлів, що змащуються, подається мастило своєї марки. У потужних суднових дизелях, як правило, застосовуються три незалежні системи змащення:

1) для змащення підшипників колінчастого валу, шатуна, крейцкопфа, механізму привода газорозподілу та паливних насосів;

2) для змащення дзеркала циліндрів та поршнів;

3) для змащення підшипників турбокомпресора.

— за способом змащення поверхні циліндра: на системи з примусовою подачею мастила та з подачею мастила розбризкуванням. У системах з примусовою подачею мастила невеликими порціями подається на внутрішню поверхню втулки циліндра через отвори від спеціального насоса – лубрикатора. У системах з розбризкуванням змащення дзеркала циліндра здійснюється краплями, що розбризкуються кривошипами в обсязі картера.

— з розміщення мастила в системі: на системи з сухим картером, з мокрим картером та комбіновані. У системах з сухим картером мастило зі піддона через спеціальний отвір стікає в цистерну і не накопичується в картері двигуна; у системах з мокрим картером картер служить як ємність для мастила; у комбінованих системах частина мастила знаходиться в картері, частина зливається у витратну цистерну.

До складу масляної системи зазвичай входять: запасні та видаткові масляні цистерни, масляні фільтри, маслоохолоджувачі та маслопідігрівачі, масляні насоси, регулятори температури масла, арматура, трубопроводи, КВП.

На рисунку 1.2 зображені типові схеми систем мастила МОД.

1.2.1 У циркуляційній системі змащення (рисунк 1.2, а) циркуляція мастила здійснюється масляними насосами МН, які забезпечують прокачування мастила через фільтри МФ та маслоохолоджувач МО до вузлів тертя головного двигуна. Один із масляних насосів знаходиться постійно у роботі, другий є резервним. Для підтримки необхідної температури мастила паралельно маслоохолоджувачу включена обвідна лінія з терморегулюючим клапаном ТРК. Після змащування вузлів двигуна мастило стікає в картер, звідки через фільтр забирається масляними насосами і знову подається в систему.

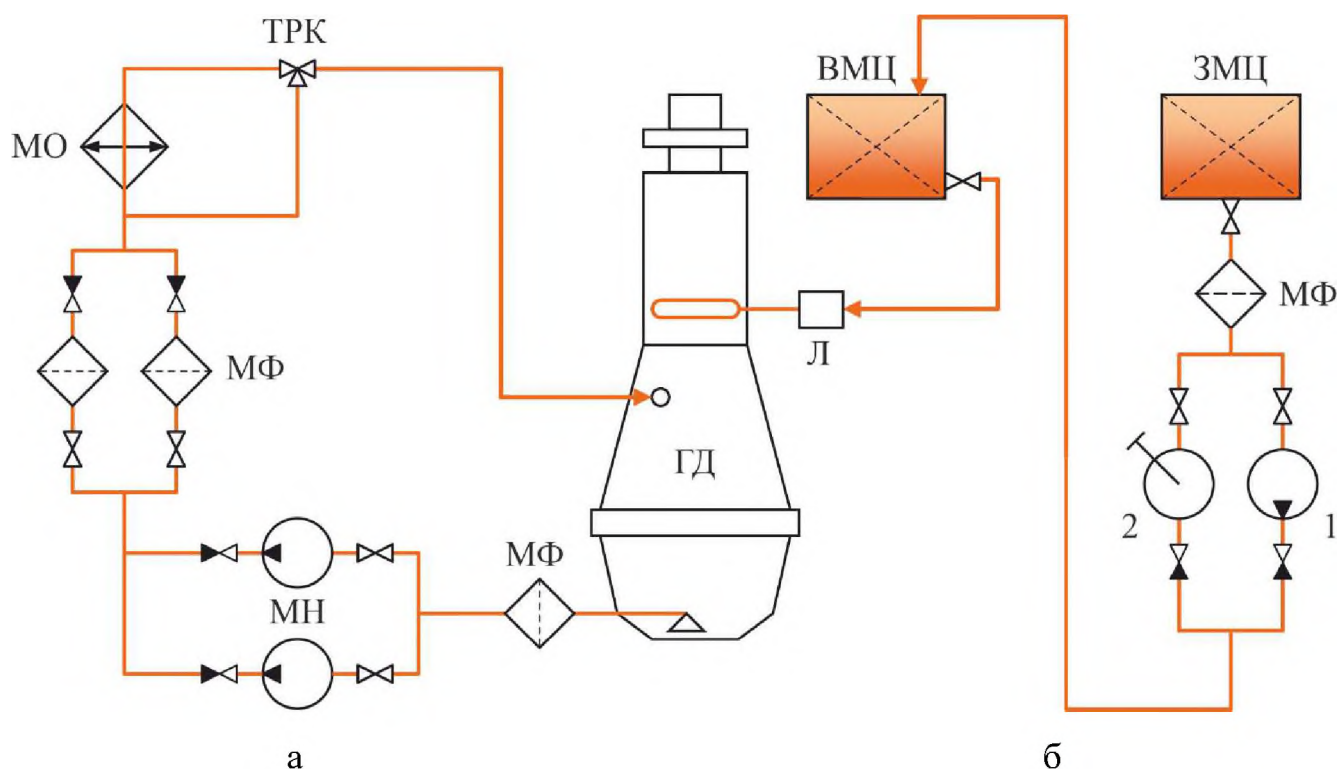


Рисунок 1.2 – Схеми циркуляційної (а) та лубрикаторної (б) систем змащення МОД

1.2.2 У лубрикаторній системі (рисунок 1.2, б) циліндрове мастило з витратної масляної цистерни ВМЦ самопливом надходить до блоку насосів-лубрикаторів Л і потім під тиском – у циліндри двигуна. У циліндрах двигуна мастило, здійснивши змащення, повністю згоряє і назад у систему не повертається.

Заповнення витратної масляної цистерни ВМЦ із запасної ЗМЦ проводиться через фільтр за допомогою маслоперекачувального насоса 1 з електроприводом або ручного масляного насоса 2.

### 1.3 Система охолодження

Система охолодження призначена для охолодження деталей, які нагріваються від тертя та теплоти згорання палива, і для відведення теплоти від робочих рідин (мастила, палива, води) та наддувного повітря.

1.3.1 Системи охолодження, які застосовуються в суднових ДЕУ, можна класифікувати за такими ознаками:

- за кількістю водяних контурів: на одноконтурні (проточні) – у яких для охолодження використовується забортна вода; та двоконтурні (замкнуті) – у яких є два контури охолодження: внутрішній (прісна вода), що охолоджує порожнини ГД, і зовнішній (забортна вода), яка охолоджує через теплообмінник воду внутрішнього контуру. Мастило, паливо та наддувне повітря охолоджуються зазвичай забортною водою.

- за температурним рівнем: на низькотемпературні – температура охолоджувальної води до 50 °С (як правило, одноконтурні системи); помірні – температура охолоджувальної води в межах 70-90 °С (як правило, двоконтурні); високотемпературні з підвищеним тиском (температура охолоджувальної води >100 °С) та випарні з частковим випаром (температура охолоджувальної води ~100 °С при нормальному тиску);

- у напрямку руху охолоджувальної води в двигуні: на системи з природним напрямом руху потоку – вода, що охолоджує, підводиться в нижню частину порожнини охолодження, піднімається вгору мірою підвищення температури та відводиться з верхньої частини; термосифонні – вода підводиться у верхній частині порожнини охолодження, а відводиться із нижньої.

### 1.3.2 До складу системи охолодження зазвичай входить таке обладнання:

- водяні насоси, що забезпечують циркуляцію охолоджувальної води в системі; У двоконтурних системах застосовуються забортні насоси води та насоси прісної води;

- теплообмінники, що забезпечують відведення в охолоджувальну воду надлишкової теплоти від рідин (палива, мастила, води внутрішнього контуру) та наддувного повітря;

- розширювальна цистерна, призначена для компенсації розширення води внаслідок зміни її температури, заповнення втрат води внаслідок витоків та випаровування, видалення з системи повітря та водяної пари;

- терморегулятори, що забезпечують автоматичну підтримку температури води та охолоджуваних рідин у заданих межах;

- трубопроводи, КВП та арматура.

Для покращення охолодження поршнів потужних крейцкопфних двотактних дизелів іноді застосовується окрема система охолодження зі своїм насосом. Як робоча рідина в такій системі використовується дистильована вода.

1.3.3 Принципову схему двоконтурної системи охолодження ДЕУ зображено на рисунку 1.3.

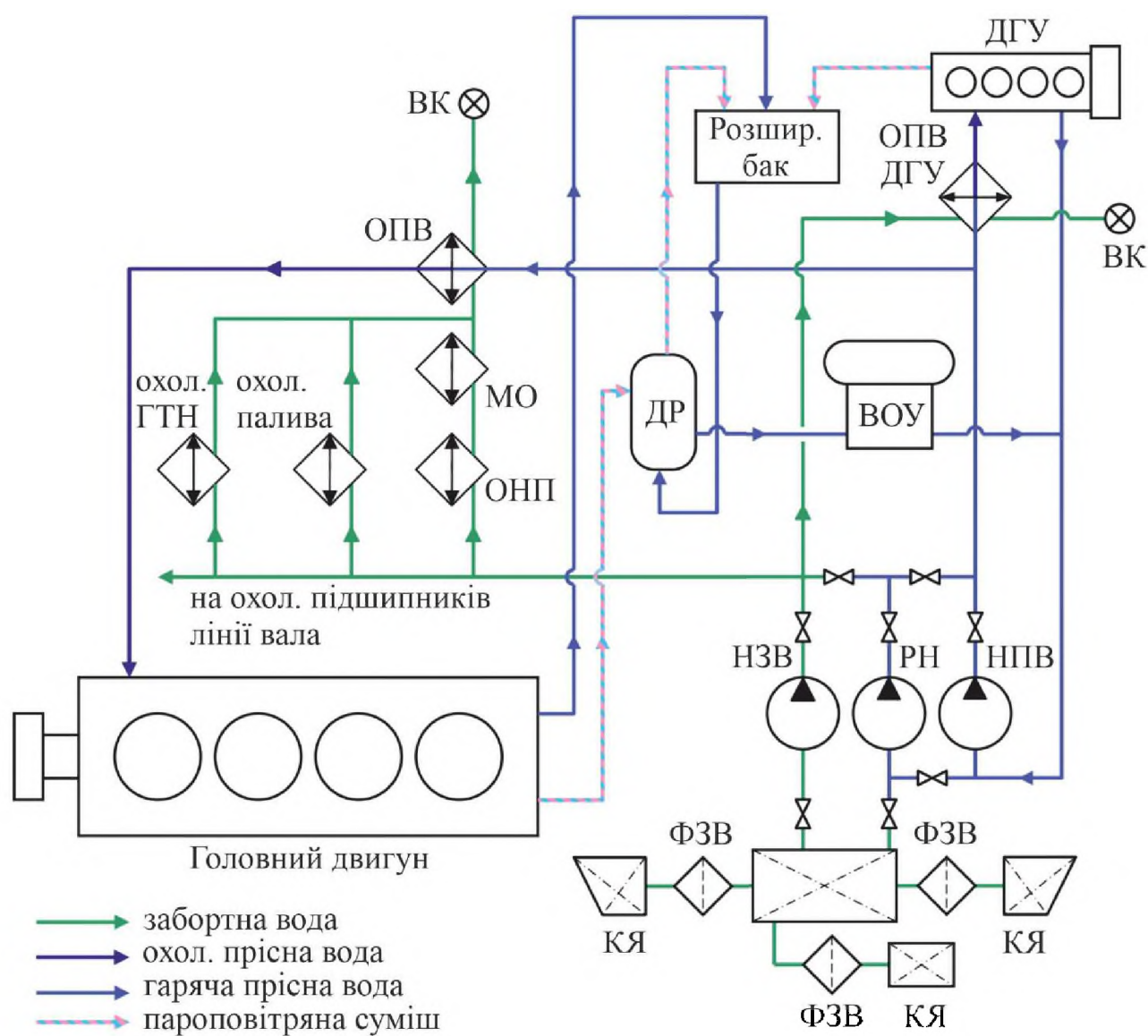


Рисунок 1.3 – Принципова схема двоконтурної системи охолодження ДЕУ

Головний двигун та ДГУ охолоджуються прісною водою, що подається до магістралі насосом прісної води НПВ. Через охолоджувач ОПВ прісна вода надходить на охолодження ГД, а потім через деаератор ДР та водоопріснювальну установку ВОУ подається до приймального патрубку НПВ. По другій гілці прісна вода через охолоджувач прісної води ДГУ – ОПВ ДГУ надходить на охолодження дизель-генератора. Циркуляція прісної води здійснюється по замкненому контуру насосом прісної води.

У систему включений розширювальний бак, який служить для поповнення витоків та компенсації теплових розширень прісної води У нього ж відводиться пароповітряна суміш із порожнин охолодження двигунів та теплообмінних апаратів.

Система заборотної води складається з окремих функціональних ділянок, з'єднаних між собою з метою резервування механізмів. З кінгстонних ящиків КЯ забортна вода через фільтри ФЗВ надходить у розподільчий канал. Головний циркуляційний насос заборотної води НЗВ подає забортну воду в суднову магістраль, звідки вона йде на охолодження теплообмінників і потім зливається за борт через відливні кінгстони ВК. На ГД забортною водою прокачуються наступні теплообмінники: охолоджувач наддувного повітря ОНП, маслоохолоджувач МО, охолоджувач прісної води ОПВ, охолоджувач масла газотурбонагнітачів охол. ГТН та охолоджувач палива охол. палива. Також забортна вода подається на охолоджувачі мастила та повітря ДГУ (на схемі не показано). Насос РН є резервним на випадок виходу з ладу насосів прісної або заборотної води.

Для подачі заборотної води до системи зазвичай використовуються насоси відцентрового типу. На великих суднових двигунах водяні насоси мають автономний привод. На дизелях малої потужності насоси прісної, і часто заборотної води, що приводяться в дію від колінчастого валу двигуна.

## 1.4 Система повітропостачання

Система повітропостачання призначена для подачі повітря, необхідного для згоряння палива та продування циліндра, у визначеній кількості та із заданими параметрами.

1.4.1 Системи повітропостачання дизельних двигунів можна класифікувати за такими ознаками:

- за кількістю ступенів стиснення повітря: на одноступінчасті, у яких повітря стискається одноразово в одноступеневому компресорі; багатоступінчасті, в яких повітря стискається кілька разів, переходячи з одного ступеня стиснення в інший (зазвичай використовується 2 ступені стискування); без попереднього стискування;
- за кількістю компресорів: безкомпресорні; однокомпресорні, в яких повітря подається у всі циліндри від одного компресора; багатокомпресорні;
- за способом підтримки параметрів повітря, що надходить у циліндр: нерегульовані, у яких параметри наддувного повітря змінюються мимоволі зі зміною зовнішніх умов або режиму роботи двигуна; регульовані, в яких за допомогою спеціальних пристроїв підтримується постійне значення будь-якого параметра повітря (температура, тиск, витрата) або їх зміна по заданому закону залежно від навантаження ГД.

1.4.2 Основними елементами системи повітропостачання дизеля є:

- компресори, що служать для підвищення щільності повітря та переміщення стисненого повітря;
- теплообмінники, призначені для підвищення густини повітря за рахунок зниження температури;
- повітропроводи, ресивери, які служать для рівномірного розподілу повітря за циліндрами дизеля;
- глушники шуму – зниження рівня шуму системи повітропостачання.

1.4.3 У нерегульованій системі повітропостачання (рисунок 1.4, а) компресор першого ступеня К1 забирає повітря з атмосфери, стискає його і подає по повітропроводу в проміжний охолоджувач ПОП. Ущільнене повітря надходить у компресор другого ступеня стиску К2, звідки прямує через кінцевий охолоджувач ОП повітря ОП у наддувний ресивер Р, і далі до циліндрів дизельного двигуна.

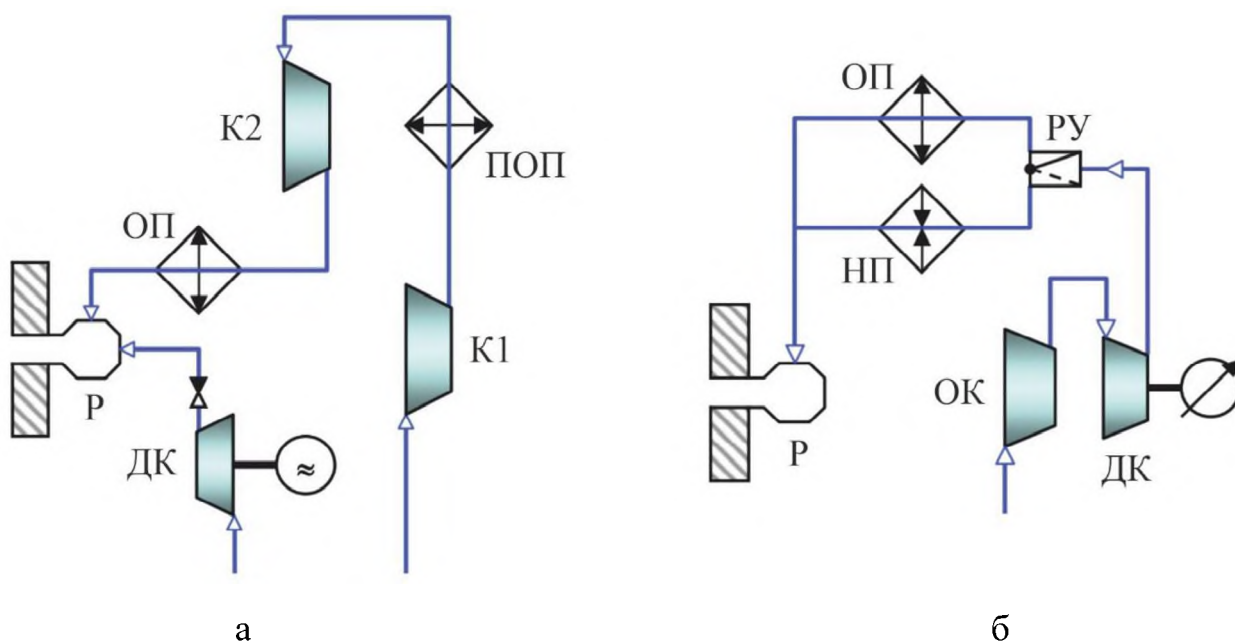


Рисунок 1.4 – Системи повітропостачання дизелів:

а – двоступінчаста нерегульована; б – з регулюванням параметрів повітря

У двотактних дизелях часто передбачають додатковий компресор ДК, який подає повітря через безповоротний клапан в ресивер двигуна в аварійних випадках, у період пуску двигуна та при роботі на малих навантаженнях, коли продуктивності основних компресорів не вистачає для подачі потрібної кількості повітря у циліндри.

У системі повітропостачання з регульованими параметрами повітря (рисунок 1.4, б) основний компресор ОК, який працює в режимі, що залежить від режиму роботи двигуна, подає повітря у допоміжний компресор ДК, який завдяки автоматично регульованому приводу забезпечує оптимальне значення тиску повітря. Стиснуте повітря через розподільник РУ надходить у охолоджувач ОП, що охолоджується забортною водою, та нагрівач НП, до якого подається гаряча вода з контуру

охолодження двигуна. Залежно від зовнішніх умов розподільник регулює сумішотворення холодного та гарячого повітря, чим оптимізує його температуру перед надходженням у циліндр.

У системах повітропостачання використовуються відцентрові, поршневі та роторно-лопатеві компресори. Їх компонування та способи привода дуже різноманітні. Відцентрові компресори найчастіше використовуються в агрегатах газотурбінного наддуву. Поршневі та роторно-лопатеві використовуються як продувні компресори в системах двотактних дизелів і приводяться в дію від колінчастого валу двигуна.

## **1.5 Система газовідведення**

Система газовідведення призначена для забезпечення найбільш раціонального відведення відпрацьованих газів із циліндрів двигуна.

Під раціональним відведенням розуміється така організація газовипуску, яка сприяє максимальному використанню енергії робочого тіла як у циліндрі двигуна, так і поза ним, а також якісному очищенні і наповненню циліндрів.

1.5.1 Системи газовідведення дизельних двигунів можна класифікувати за такими ознаками:

- по глибині утилізації теплоти: без утилізації, у цих системах гази, що відпрацьовали, викидаються в атмосферу; з помірною утилізацією, в яких енергія газів використовується в газовій турбіні для здійснення турбонаддуву дизеля; з глибокою утилізацією — як механічна і теплова енергія газів використовується в спеціальних пристроях-утилізаторах, як правило, утилізаційні парові котли.

- за особливостями руху газу в колекторах: на ізобарні, в яких тиск газів у колекторі постійний; імпульсні, в яких тиск газів у колекторі змінний та залежить від числа циліндрів двигуна; комбіновані, що мають змінний тиск газів у колекторі, але що вирівнюється перед надходженням у газову турбіну.

1.5.2 Загалом, у систему газовідведення може входити таке обладнання:

- випускні колектори, призначені для відведення газів із циліндрів двигуна з максимально можливим збереженням їхньої енергії;
- глушники шуму, що знижують акустичне поле під час роботи двигуна;
- утилізаційні газові турбіни та парові котли, що перетворюють кінетичну та теплову енергію газів у механічну роботу або теплову енергію робочого тіла для часткового повернення її до циклу дизельної установки;
- трубопроводи (газоходи).

1.5.3 Типова схема системи газовідведення ДЕУ з глибоким ступенем утилізації теплоти в імпульсній газовій турбіні та утилізаційний паровий казан зображено на рисунку 1.5.

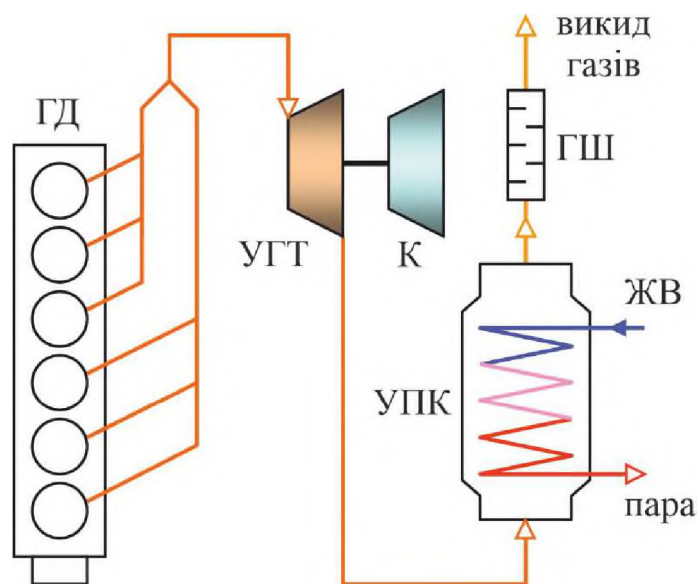


Рисунок 1.5 – Схема системи газовідведення дизеля з глибоким ступенем утилізації теплоти

У системах із глибокою утилізацією теплоти відпрацьовані в циліндрах газу надходять у колектор малого об'єму, потім в утилізаційну газову турбіну УГТ, що перетворює кінетичну, потенційну та теплову енергію газів в механічну роботу стиснення повітря в компресорі К. З УГТ газу надходять до утилізаційного парового котла УПК, де теплова енергія відпрацьованих газів передається живильній воді

ЖВ. З УПК охолоджені продукти згоряння потрапляють у глушник шуму ГШ та викидаються у повітря.

Утилізаційні газові турбіни можуть бути: наддувними, в яких механічна енергія, яка отримана при розширенні газів, передається компресору наддувного повітря; і силовими, що передають механічну енергію через передачу на загальну лінію валу чи генератор.

Утилізаційні парові котли можуть виробляти водяну пару використання його на судні з різною метою, або служать для отримання гарячої води або пари інших рідин.

## **1.6 Система керування**

Система керування призначена для пуску та зупинки дизельного двигуна, зміни напрямку та частоти обертання колінчастого валу.

Для запуску двигуна необхідно створити умови, що забезпечують самозаймання палива у циліндрах. Це досягається розкручуванням колінчастого валу двигуна та створенням у циліндрах тиску та температури повітря, у яких відбувається займання палива.

1.6.1 Розкручування колінчастого валу дизельного двигуна можна здійснити наступними способами:

- прикладенням крутного моменту до КШМ ззовні (вручну, гідро-, пневмо- або електродвигуном (стартером) або за рахунок використання штатного електрогенератора, що працює в режимі пускового електродвигуна (для дизель-генераторів);
- створенням у циліндрі зусилля, яке приведе в рух КШМ (подача в циліндри дизеля пускового повітря).

Пристрої повітряного пуску часто використовуються для гальмування КШМ з метою прискорення зупинки двигуна при реверсуванні шляхом подачі в циліндри контрповітря.

1.6.2 Системи керування дизельних установок можна класифікувати за наступним ознакам:

- за схемою повітряного пуску: на повнопроточні (з автоматичними пусковими клапанами). У таких системах керування все пускове повітря, яке спрямовується до пускових клапанів, проходить через повітророзподільник; частково проточні (з пневматично керованими пусковими клапанами). У цих системах через повітророзподільник проходить тільки та частина повітря, яка керує відкриттям та закриттям пускового повітря;
- за способом реверсування двигуна: із заміною кулачкових шайб переднього ходу на кулачкові шайби заднього ходу шляхом переміщення кулачкового валу; та зі зміною кута заклинки шайб за рахунок провертання кулачкового валу щодо колінчастого валу;
- за типом: на механічні, гідравлічні, пневматичні, електричні, електронні та змішані.

1.6.3 Система керування дизельною установкою складається з наступного обладнання:

- постів керування, призначених для введення команд на виконання будь-якої операції;
- пускових пристроїв, призначених для початкового розкручування КШМ з метою приведення двигуна в дію;
- механізму реверсування, призначеного для зміни обертання валу двигуна в протилежний бік, забезпечення правильного чергування та зміни фаз розподілу органів пуску, газорозподілу, паливоподачі, а також реверсування навішених на двигун механізмів;
- блокуючих пристроїв, що запобігають пуску двигуна при включеному валоповоротному пристрої, відсутності тиску мастила в системі змащення, закритих захлипках газоходів та інших позаштатних ситуаціях.

1.6.4 В основі системи керування лежить система пускового повітря, що складається, як правило, з наступного обладнання: пускових балонів, редукційного клапана, пневмостартера, пневмомотора агрегату прокачування паливом та олією,

блоку електропневмоклапанів, запобіжного клапана. Схема системи пускового повітря дизельного судна зображена на рисунку 1.6.

Системи стиснутого та пускового повітря на дизельних суднах аналогічні. Балони пускового повітря головного двигуна БПП ГД та дизель-генераторів БПП ДГ заповнюються за допомогою головних компресорів ГК1 та ГК2 через водомас-тиловіддільник ВМВ. З балонів частина повітря через редуктор ПР прямує на господарські потреби. По мірі витрачання повітря та зниження тиску в балонах поповнення здійснюється автоматично за допомогою підкачувального компресора невеликої продуктивності ПК. При високих витратах пускового повітря, що спостерігається при маневруванні головного двигуна, автоматично включається в роботу один з головних компресорів.

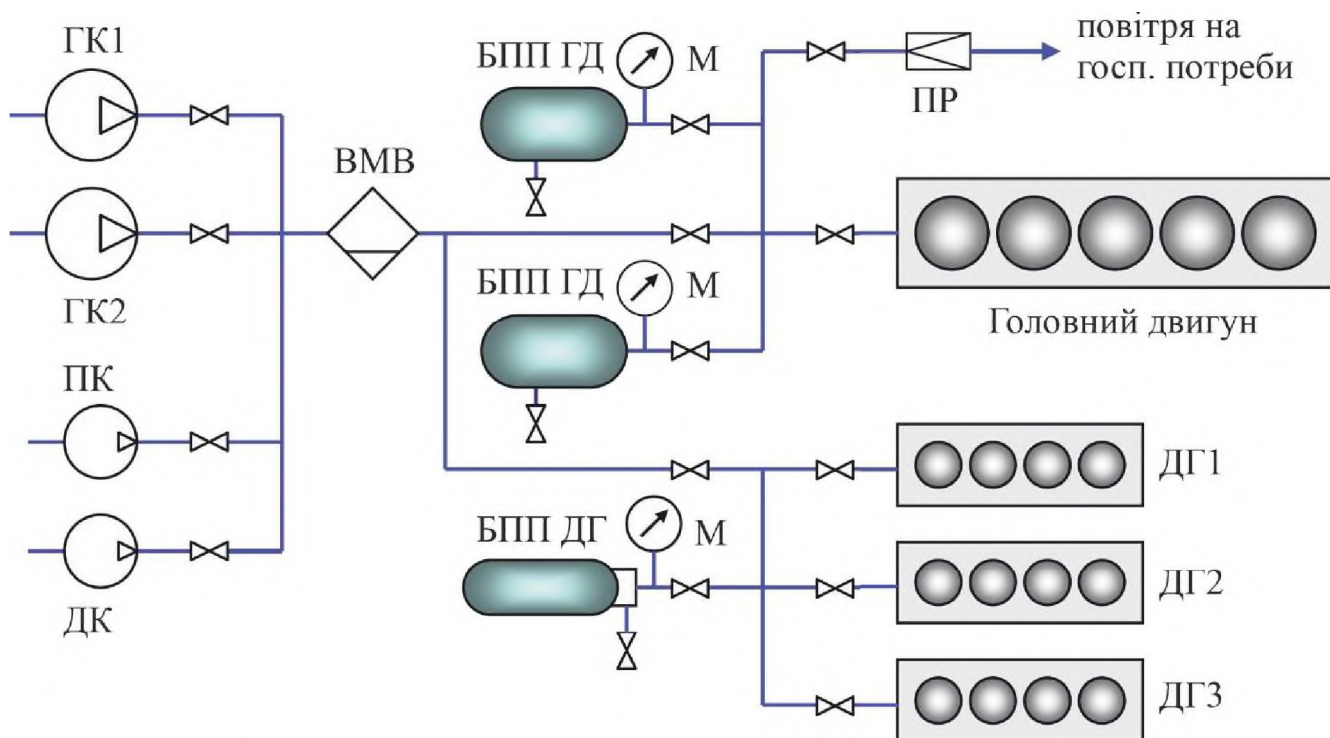


Рисунок 1.6 – Система стиснутого повітря дизельного судна

Початкове або аварійне заповнення балонів (за відсутності електроживлення) здійснюється автономним дизель-компресором ДК з ручним пуском.

## 1.7 Система регулювання та контролю

Система регулювання та контролю забезпечує підтримку заданого режиму роботи двигуна та значень його окремих параметрів допустимих межах, а також контроль показників, що характеризують режим та стан працюючого двигуна.

1.7.1 Системи регулювання та контролю, залежно від обсягу автоматично виконуваних операцій повинні забезпечувати:

1.7.1.1 Перший ступінь автоматизації – А1:

- автоматичне регулювання частоти обертання валу дизеля, напруги та температури в системах охолодження та (або) мастила;
- місцеве та (або) дистанційне керування пуском, зупинкою, передпусковими та післязупинковими операціями, а також частотою обертання (навантаженим) реверсуванням;
- автоматичну підзарядку АБ, що забезпечують пуск та (або) живлення засобів автоматизації (при електростартерному запуску);
- автоматичну аварійно-попереджувальну сигналізацію та захист;
- індикацію значень контрольованих параметрів на місцевому (дизельному) щитку та (або) дистанційному пульті.

1.7.1.2 Другий ступінь автоматизації – А2 (додатково до А1):

- дистанційне автоматизоване та (або) автоматичне керування пуском, зупиненням, передпусковими та післязупинковими операціями, частотою обертання (навантаженим) та реверсуванням за його наявності;
- автоматичний прийом навантаження під час автономної роботи або видача сигналу про готовність до прийому навантаження;
- автоматизацію спільної роботи двигунів, у тому числі автоматичний прийом навантаження під час синхронізації при паралельній роботі ДГ між собою або із зовнішньою мережею;
- автоматична підтримка двигуна у готовності до швидкого прийому навантаження;

- автоматичне регулювання в'язкості важкого палива та автоматизоване керування переходом з одного виду палива на інше;

- автоматизований екстрений пуск та (або) зупинка;

- виконавчу сигналізацію.

#### 1.7.1.3 Третій ступінь автоматизації – А3 (додатково до А1 та А2):

- автоматичне поповнення видаткових ємностей: палива, олії, охолоджуючої рідини та стиснутого повітря;

- автоматизоване та (або) автоматичне керування допоміжними агрегатами та (або) окремими операціями обслуговування двигуна.

#### 1.7.1.4 Четвертий рівень автоматизації – А4 (додатково до А1, А2, А3):

- централізоване керування двигуном за допомогою керуючих машин;
- централізований автоматичний контроль;
- автоматизоване та (або) автоматичне технічне діагностування стану двигуна в цілому або його окремих частин.

1.7.2 Залежно від ступеня автоматизації ДЕУ час необслуговуваного роботи установки складає (у дужках вказано час для ДЕУ з  $N_e > 100$  кВт):

А1 – 4 години (8, 12 годин); А2 – 24 години; (36, 50 годин); А3 – 150 годин (250 годин); А4 – 250 годин (375 годин).

1.7.3 Під час роботи двигуна його потужність або крутний момент при заданих частотах обертання повинні дорівнювати потужності або крутному моменту споживача. У разі невідповідності між потужністю двигуна та навантаженням кількість оборотів двигуна може надмірно збільшитися (двигун піде врознос) або зменшитися (двигун зупиниться).

Можливі наступні способи регулювання потужності та частоти обертання двигунів внутрішнього згорання:

1.7.3.1 Кількісне регулювання – зміна кількості свіжого заряду, що надходить у циліндр двигуна. В цьому випадку для зниження потужності двигуна зменшують кількість свіжого заряду, не змінюючи складу горючої суміші. Таке регулювання можна здійснити встановленням додаткового опору у вигляді дросельної заслінки

у впускному трубопроводі. Чим більше прикриває заслінка прохідна переріз впускного трубопроводу, тим більше опір впуску та менше наповнення циліндра, а отже, і потужність двигуна.

Кількісне регулювання застосовується в двигунах із зовнішнім сумішоутворенням та примусовим займанням суміші (карбюраторних та газових двигунах).

1.7.3.2 Якісне регулювання – зміна кількості палива, яке впорскується через форсунку в циліндр двигуна, при постійній витраті повітря, що надходить у циліндр. Такий спосіб регулювання призводить до зміни якості горючої суміші (зміна коефіцієнта надлишку повітря).

Цей спосіб регулювання застосовується у всіх дизельних двигунах.

1.7.3.3 Змішане регулювання – використовується в газових двигунах та поєднує в собі якісний та кількісний способи регулювання.

При змішаному регулюванні зміна потужності в області великих навантажень проводиться шляхом зміни складу суміші в межах допустимих значень коефіцієнта надлишку повітря, а області малих навантажень – шляхом зміни кількості суміші, що надходить у циліндри.

Регулювання температур та витрат охолоджувальної води, мастила, повітря, рівнів у цистернах, температури палива та ін. параметрів роботи двигуна здійснюється локальними регуляторами. Зазвичай у якості регуляторів використовуються механічні, гідравлічні та пневматичні пристрої. Але останнім часом замість цих типів регуляторів все частіше застосовують електронні датчики та мікропроцесорні блоки керування, що дозволяє значно знизити габарити систем регулювання та забезпечує виконання обчислень для оптимізації процесів регулювання роботи дизелів.

## 2 УСТАТКУВАННЯ СИСТЕМ ОХОЛОДЖЕННЯ СУДНОВОГО ДИЗЕЛЯ

### 2.1 Температурний режим у системах охолодження [2]

Автоматичне регулювання температур є частиною загальної проблеми автоматизації дизельних установок.

У дизельних установках при охолодженні циліндрів та кришок циліндрів, поршнів, форсунок, мастила двигунів і турбонагнітачів, а також при охолодженні продувного повітря регулюється температура охолоджуючого середовища.

У зв'язку із застосуванням важких сортів палива, які вимагають підігріву, автоматично регулюється температура палива при його сепарації, а також температури палива у відстійних та видаткових цистернах. Крім того, за відсутності регуляторів в'язкості необхідну в'язкість палива перед двигуном підтримують автоматичним регулятором температури.

Для процесів та об'єктів регулювання температури характерні такі особливості: велика інерційність об'єктів та вимірювачів, фізична складність теплообміну, залежність розподілу потоків охолоджувальної рідини від гідродинамічних характеристик системи охолодження та регулювального органу. На теплообмін впливає велика кількість факторів: стан та ступінь забрудненості поверхонь; конструктивні параметри двигуна та теплообмінних пристроїв; стан та режим роботи (навантаження) двигуна; стан та щільність регулювального органу (клапану), а також зовнішні умови та насамперед температура забортної води.

У дизельних установках морських транспортних суден застосовуються виключно замкнені системи охолодження, у яких робочим середовищем служать: прісна вода, мастило, паливо. Забортна вода використовується для охолодження робочого середовища замкненого контуру, а також охолодження повітря в системі наддуву.

Охолодження окремих елементів двигуна: циліндрів, кришок, поршнів, форсунок може здійснюватися самостійним контуром із незалежним холодильником

(теплообмінником), але можливе також об'єднання контурів у групи, що залежить від типу установки та двигуна, його швидкохідності та металоємності.

Для підігріву важких сортів палива та регулювання його в'язкості зазвичай застосовують пару.

Як показує досвід, температурний режим у системах охолодження відбивається на техніко-економічних показниках роботи двигуна. Тому перш ніж сформулювати вимоги до систем автоматичного регулювання параметрів, що характеризують роботу систем охолодження, розглянемо умови, що визначають температурний режим роботи цих систем.

Зупинимось спочатку на умовах роботи системи охолодження циліндрів двигуна. Від температури охолоджувальної води в заоболонковому просторі значною мірою залежить температура стінки, яка в свою чергу впливає на перебіг робочого процесу в циліндрі, величину роботи тертя в циліндро-поршневій групі та інтенсивність її зносу. Для двигунів малої та середньої потужності, а також щодо відносно швидкохідних двигунів з підвищенням температури охолоджувальної води ефективна потужність збільшується. Це збільшення залежить від типу двигуна і від сорту циліндрового мастила. Збільшення потужності пов'язане із зменшенням втрат на тертя. При повному навантаженні збільшення температури охолоджувальної води незначно змінює питому витрату палива, але в часткових навантаженнях виявляється зона оптимальної температури, при якій питома витрата палива мінімальна. Підвищення температури води, що охолоджує, до певних меж зменшує знос циліндро-поршневої групи.

Верхня межа підвищення температури визначається умовами забезпечення безпечної роботи двигуна: відсутністю парових мішків у водяній порожнині двигуна та місцевих перегрівів.

Останнім часом у зв'язку із застосуванням сірчистого та високов'язкого сорту палива намічається тенденція до підвищення температурного режиму в системі охолодження циліндрів та форсунок і у потужних малообертових двигунів до 62-70 і навіть до 85 °С.

Тому перед системою терморегулювання головних судових дизелів ставиться завдання підтримки постійної (у межах заданої нерівномірності) температури води, що охолоджує, на рівні 65-70 °С при різних навантаженнях і температурах заборотної води.

Найбільш прийнятною для таких двигунів в даний час вважається температура води на виході з двигуна 65 °С (двигуни Зульцер, Бурмейстер і Вайн та ін.), при якій забезпечується нормальний режим охолодження.

Підвищення рівня підтримки температури охолоджувальної води залежить від конструктивних особливостей двигуна, сорту застосовуваного мастила та сорту палива. У деяких випадках вона може досягати 75 °С.

Як охолоджувальне середовище циліндрів і поршнів застосовують прісну воду. Форсунки на деяких типах двигунів, наприклад, на двигунах типу Бурмейстер та Вайн, охолоджуються паливом.

## **2.2 Суднові системи охолодження [3]**

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

Для забезпечення безперервної подачі води (прісної або заборотної) для охолодження двигунів, механізмів або апаратів і призначена система охолодження судової енергетичної установки. На судні ця система забезпечує подачу охолоджувальної рідини не тільки до головних двигунів, а й до таких механізмів, апаратів та

пристроїв, як підшипники валопроводів, холодильники олії, паро- та електрокомпресори, конденсатні насоси та ін.

Для переміщення охолоджувальної води трубопроводами до місць охолодження необхідні насоси. Їх включають до загальної магістралі, від якої йдуть відростки, що підводять воду до всіх споживачів.

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

Системи охолодження двигунів поділяються на відкриті (одноконтурні) та закриті (двоконтурні).

2.2.1 Відкрита система на морських судах майже не застосовується. В цій системі охолодження двигуна проводиться заборотною водою, яка насосом прокачується по всій системі охолодження та відводиться за борт. Систему відкритого типу можна застосовувати там, де температура нагріву води, що виходить з двигуна, не перевищує 55 °С. За більшої температури розчинені у воді солі стають нерозчинними і осідають на поверхнях, які омиваються водою, у вигляді накипу, що погіршує умови тепловіддачі, а також засмічуючи проточні канали та порожнини охолодження, особливо в литих конструкціях головок та блоків циліндрів двигунів. Це порушує нормальне протікання робочого процесу двигуна і може бути причиною аварії.

На рисунку 2.1 зображено схему відкритої системи охолодження двигуна. Забортна вода при відкритому кінгстоні 10 надходить в теплий ящик заборотної води 9, з фільтром. Кінгстон відкривається та закривається рукояткою 8, виведеною на кришку ящика. При відкритому приймальному клапані 11 вода для охолодження забирається насосом 12 і трубою 13 подається до двигуна. Вода, що надійшла в порожнину охолодження блоку циліндрів 1 піднімається вгору і перетікає в кришки 2 циліндрів, звідки через патрубок 3 направляється в порожнину охолодження випускного колектора 6. З останнього вона відводиться за борт трубою 7. Температура охолоджувальної води, що пройшла через кожен циліндр, контролюється тер-

мометром 4 та регулюється клапаном 5 шляхом пропуску більшої чи меншої кількості води, що проходить через нього. Тиск води під час роботи системи контролюється манометром 14.

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

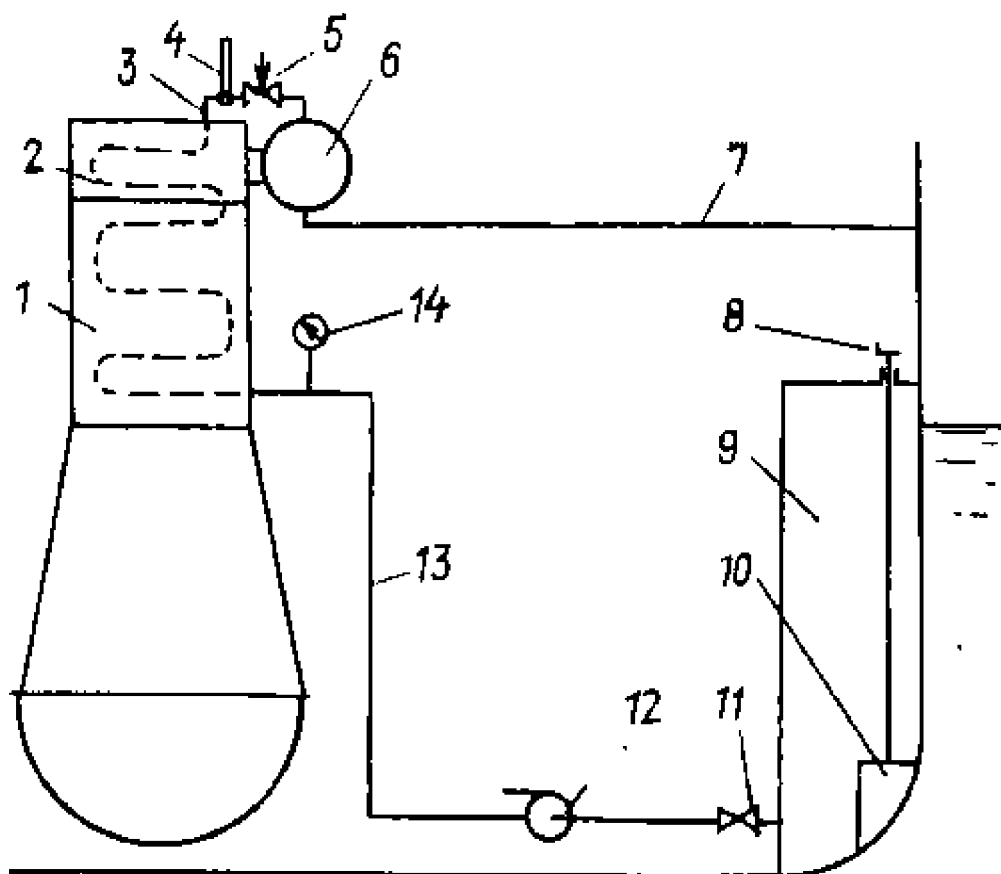


Рисунок 2.1 – Схема відкритої системи охолодження  
двигуна внутрішнього згоряння

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

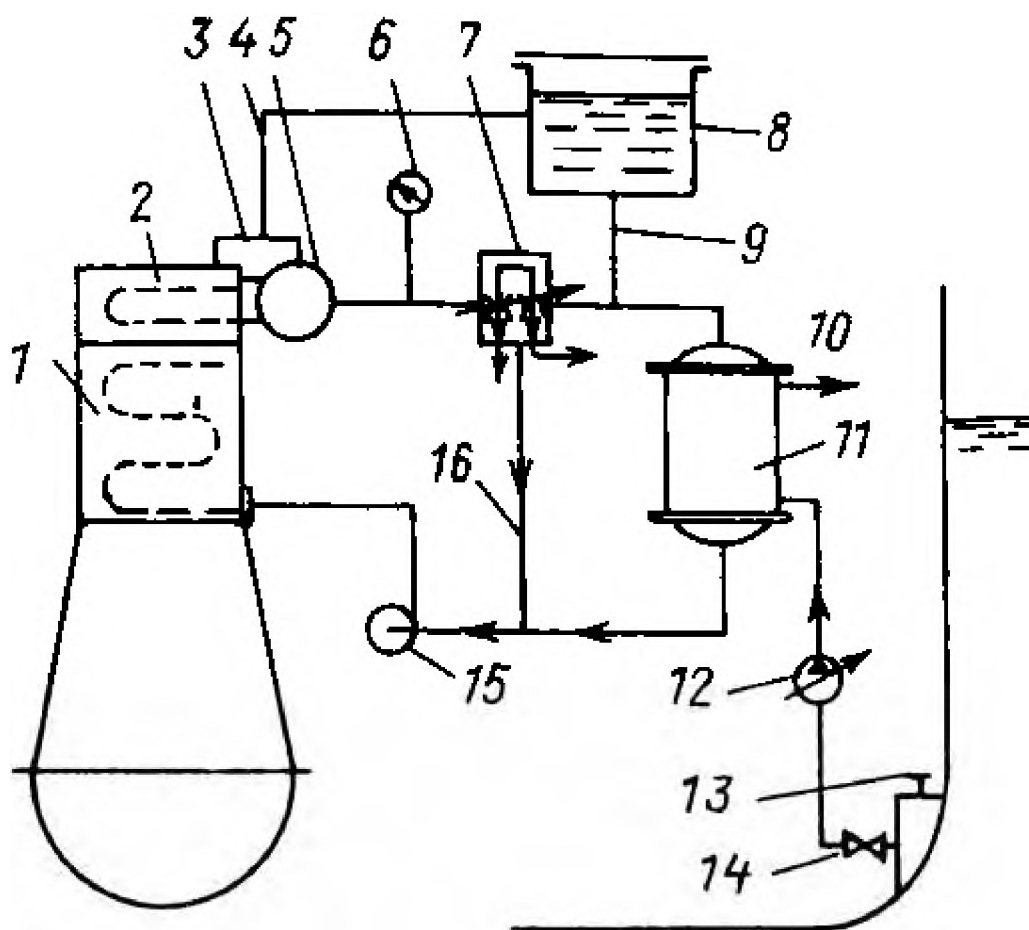


Рисунок 2.2 – Схема закритої системи охолодження  
двигуна внутрішнього згоряння

Температура води контролюється термометром 6. У зв'язку з високою температурою води, що виходить з двигуна, в окремих точках внутрішніх порожнин, заповнених водою, утворюється деяка кількість пари. Пара відводиться по трубі 4 до розширювального баку 8, що є компенсатором об'єму, який по трубі 9 витісняється надмірна кількість води, що розширилася при нагріванні. Завдяки цьому запобігається порушення щільності з'єднань елементів системи.

Забортна вода через кінгстон 13 приймальний клапан 14 забирається насосом 12 і проганяється через холодильник, де охолоджує прісну воду внутрішнього контуру, після чого відводиться за борт по трубі 10. Така система охолодження двигунів оберігає порожнини охолодження двигуна від відкладення солей та зменшує ймовірність утворення корозії та електрохімічної ерозії. Встановлений на приймальній гілці фільтр заборотної води оберігає систему від попадання мулу та піску.

2.2.3 У двигунах з високою середньою температурою циклу доводиться застосовувати охолодження поршнів шляхом підведення охолоджувальної рідини в головки. Зокрема, це можна здійснити за допомогою спеціального телескопічного механізму. Як видно на рисунку 2.3 охолодна рідина подається в трубу 1 телескопічного механізму поршня, далі переходить в рухому трубу 3, укріплену в поршні 4, а потім у порожнину 5 поршня і охолоджує його голівку. Відведення рідини можна зробити за допомогою такого телескопічного механізму, розташованого з іншого боку поршня. Наявний на телескопічній трубі сальник 2 не допускає пропуску охолоджувальної рідини у картер двигуна.

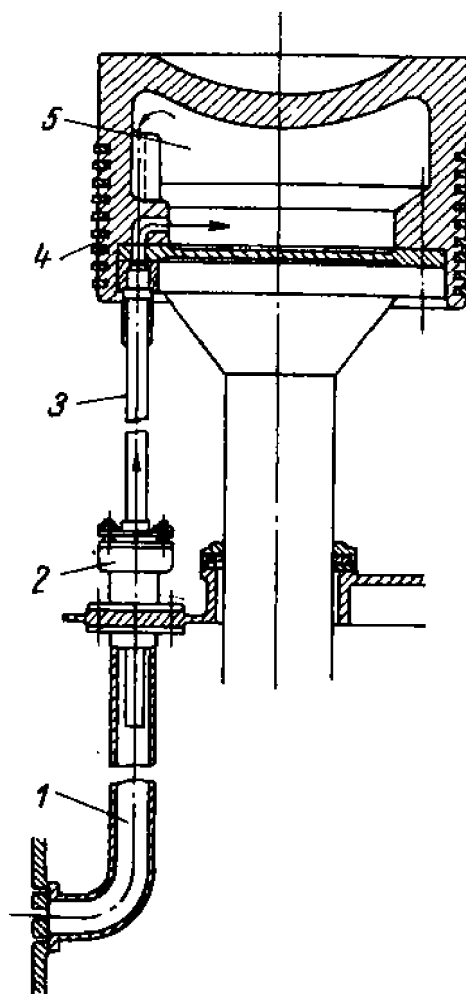


Рисунок 2.3 – Телескопічний механізм охолодження поршня  
двигуна внутрішнього згоряння

## 2.3 Склад суднової системи охолодження [4]

2.3.1 Відцентровий насос для зовнішнього контуру охолоджувальної (заборної) води. Відцентровий насос прифланцований до коробки насосів. Він приводиться в дію від приводної шестерні насоса, насадженої на колінчастому валу, через проміжну шестерню. Насос забезпечує зовнішній контур охолодження двигуна необхідною кількістю охолоджувальної води.

Вода надходить аксіально в робоче колесо відцентрового насоса та через напірний патрубок нагнітається в систему охолодження.

2.3.2 Відцентровий насос для внутрішнього контуру охолодження води (оборотної). Принцип дії та конструкція в основному ідентичні з відцентровим насосом зовнішнього контуру охолодження, описаним у розділі п.2.3.1.

Кришка всмоктування та нагнітальний корпус виконані з сірого чавуну.

2.3.3 Циркуляційний контур охолоджувальної прісної води (двоконтурна система охолодження). Оборотна вода, що подається відцентровим насосом, надходить через терморегулятор теплообмінник. Терморегулятор зберігає температуру оборотної води на виході з теплообмінника приблизно незмінною. З цією метою він регулює кількість води, що протікає через теплообмінник або байпасний трубопровід залежно від температури оборотної води перед теплообмінником. У випадку виходу регулятора з ладу можна керувати ним вручну.

Охолодження оборотної води здійснюється в теплообміннику, з якого вона надходить у блок циліндрів та омиває втулки циліндрів. З блоку циліндрів оборотна вода подається в кришки циліндрів, у яких потік її спрямовується таким чином, щоб забезпечувалось надійне охолодження всіх клапанів і особливо форсунки. Через перепускную трубу, яка є по одній у кожній кришці циліндрів, оборотна вода подається в охолоджувальну порожнину коробки вихлопного клапана, охолоджуючи його після чого вона надходить у колектор вихлопних газів (у двигунів без наддуву) або в збірну магістраль охолоджувальної води (у двигунів з наддувом). Потім через показчик-витратомір вона надходить назад до відцентрового насоса. У двигунів, обладнаних газотурбонагнітачем, частина оборотної води відгалужується від блоку циліндрів для охолодження газотурбонагнітачів з наступним підведенням її також до збірної магістралі охолоджувальної води.

Всмоктуючий трубопровід відцентрового насоса з'єднаний з зрівняльним баком. Для підключення резервного насоса служать крани, встановлені у всмоктувальному та нагнітальному трубопроводах відцентрового насоса. У цих же трубопроводах розташовані приєднувальні елементи для підключення пристрою попереднього підігріву охолоджувальної води.

Для аварійного режиму охолодження змонтовано додаткові крани за теплообмінником та за показчиком-витратоміром.

Температура охолоджувальної води у кожній кришці циліндрів вимірюється за допомогою термометра.

Температура охолоджувальної води на виході з двигуна у двигунів без наддуву вимірюється за допомогою термометра, встановленого у трубопроводі за двигуном, а у двигунів з наддувом – за допомогою термометра, встановленого у збірній магістралі води, що охолоджує. У двигунів з наддувом додатково вимірюється температура охолоджувальної води за газотурбонагнітачем.

Тиск охолоджувальної води вимірюється манометром, який підключений до торцевої сторони двигуна на стороні газорозподілу його.

Далі є додаткові можливості підключення датчиків для дистанційного вимірювання температури охолоджувальної води на виході з двигуна та тиску охолоджувальної води. Для знеповітрявання та зневоднення системи охолоджувальної води двигуна передбачені відповідні спускні крани.

2.3.4 Контур морської (забортної) води (двоконтурне охолодження у двигунів у виконанні головного або допоміжного суднового дизеля) / Контур сирії води (двоконтурне охолодження у двигунів у виконанні стаціонарного дизеля)

Принцип дії та конструкція. Забортна (сира вода) всмоктується відцентровим насосом через фільтр забортної (сирії) води. Відцентровий насос нагнітає цю воду через масляний холодильник до теплообмінника, де здійснюється зворотне охолодження оборотної прісної води забортною водою. Частина забортної води відгалужується для контуру охолодження навісного компресора пускового повітря, від теплообмінника вода трубопроводом відводиться назад через оглядовий пристрій за борт.

У двигунів, пристосованих для роботи на низькосортному важкому паливі, холодильник охолоджувального мастила форсунок включений у контур забортної води. При аварійному режимі охолодження відцентровим насосом зовнішнього контуру здійснюється охолодження всього двигуна, що забезпечується перемиканням відповідних кранів, розташованих у внутрішньому та зовнішньому контурах охо-

лодження. У цьому випадку забортна вода всмоктується відцентровим насосом зовнішнього контуру через фільтр забортної води та нагнітається через масляний холодильник, двигун, оглядовий пристрій за борт.

Для підключення резервного насоса служать крани, розташовані у всмоктувальному та нагнітальному трубопроводів відцентрового насоса.

Для контролю значень температур забортної води на вході в систему охолодження та на виході з неї у відповідних місцях встановлені термометри.

Для знеповітрявання та зневоднення системи охолоджувальної води двигуна передбачені відповідні спускні крани.

#### 2.3.5 Теплообмінник

Принцип дії та конструкція. У теплообміннику здійснюється зворотне охолодження оборотної охолоджувальної води. Залежно від обумовленого в контракті на постачання дизеля компонування та схеми охолодження він може розташовуватися на вихлопній стороні дизеля в горизонтальному положенні або може поставлятися і встановлюватися окремо від двигуна.

#### 2.3.6 Зрівняльний бак охолоджувальної води

Принцип дії та конструкція. Завдання зрівняльного бака охолоджувальної води полягає в тому, щоб протягом більш тривалого часу тримати незмінною є кількість охолоджуючої оборотної води в системі внутрішнього контуру охолодження двигуна і компенсувати зміни її об'єму внаслідок випаровування, теплового розширення та незначних витоків.

Зрівняльний бак охолоджувальної води встановлюється на рівні, що знаходиться вище за всю систему контуру оборотної охолоджувальної води. Він не входить в обсяг постачання двигуна.

#### 2.3.7 Робочі схеми двоконтурної системи охолодження суднового дизеля.

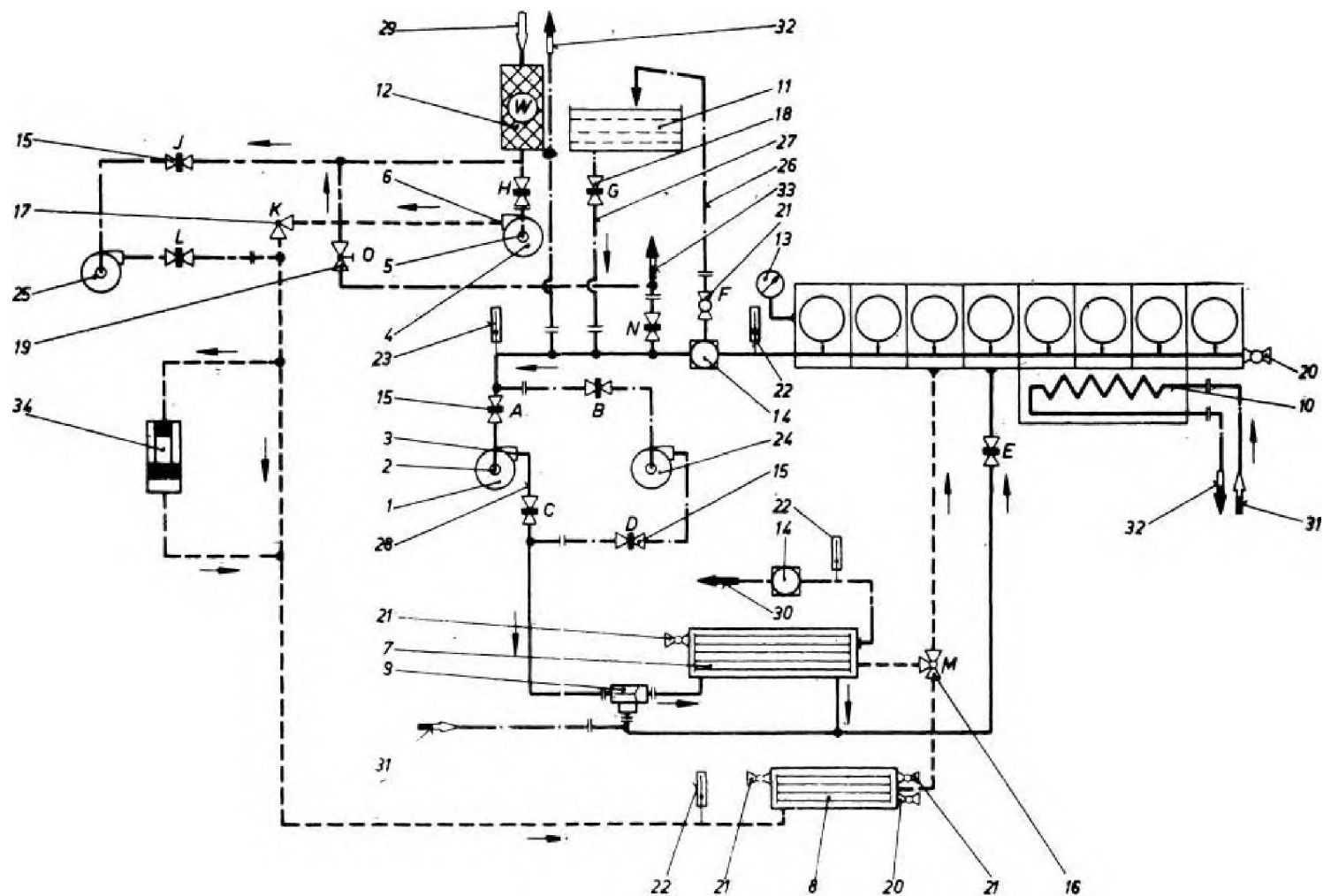
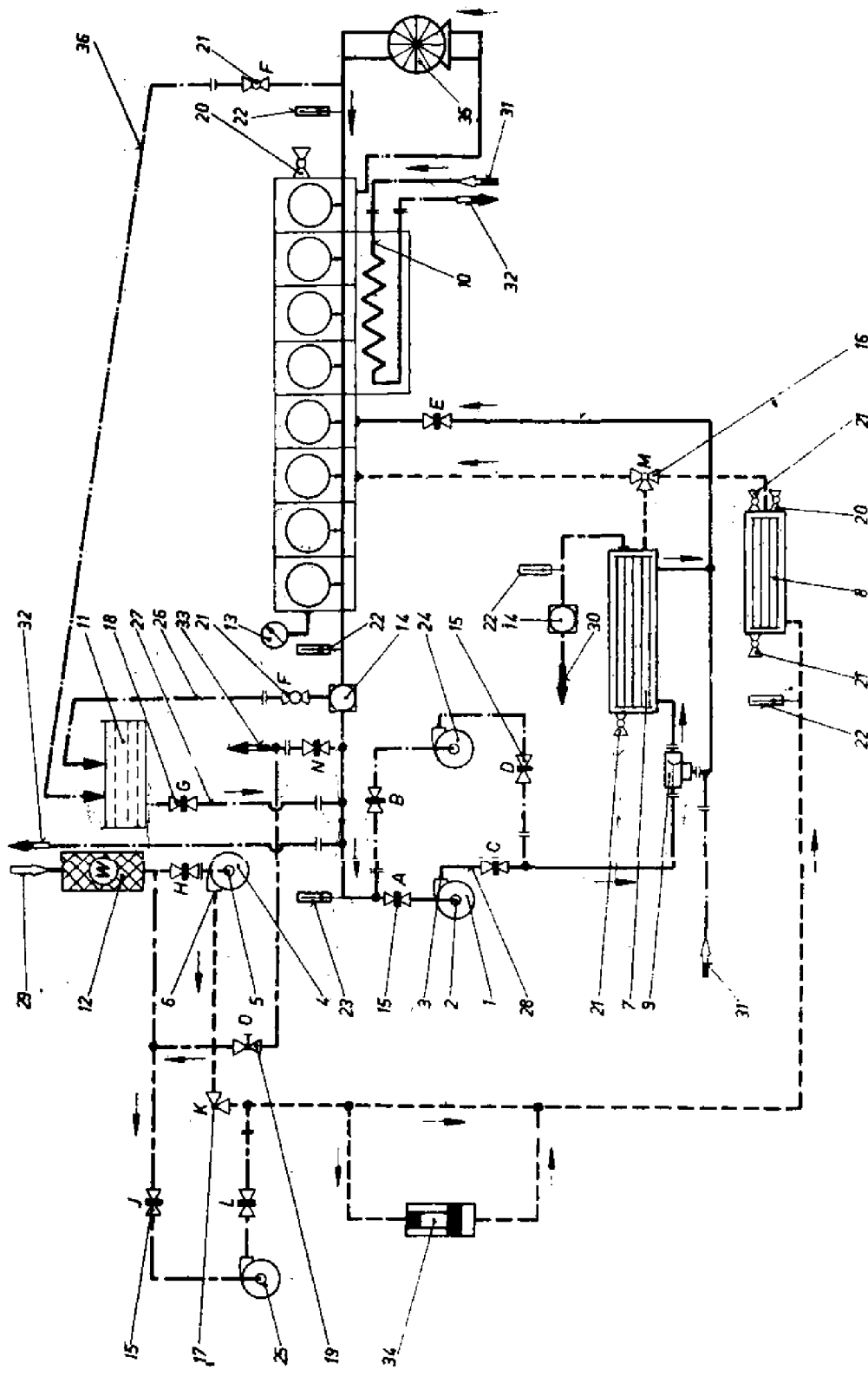


Рисунок 2.4 – Робоча схема двоконтурної системи охолодження суднового дизеля без газотурбонагнітача

На рисунку 2.4 прийнято наступні позначення:

- |                                                                              |                                                                                |
|------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| 1 – насос оборотної води (штатний);                                          | 19 – регулювальний клапан при аварійному охолодженні забортною водою;          |
| 2 – приєднувальний елемент на всмоктуванні контуру оборотної води;           | 20 – водоспускний кран;                                                        |
| 3 – приєднувальний елемент на нагнітанні контуру оборотної води;             | 21 – знеповітряний кран;                                                       |
| 4 – насос сирої або забортної води (штатний);                                | 22 – термометр;                                                                |
| 5 – приєднувальний елемент на всмоктуванні контуру сирої або забортної води; | 23 – дистанційний термометр;                                                   |
| 6 – приєднувальний елемент на нагнітанні контуру сирої або забортної води;   | 24 – насос оборотної води (резервний);                                         |
| 7 – теплообмінник;                                                           | 25 – насос сирої або забортної води (резервний);                               |
| 8 – масляний холодильник;                                                    | 26 – знеповітряний трубопровід;                                                |
| 9 – регулятор температури охолоджувальної води;                              | 27 – зрівняльний трубопровід;                                                  |
| 10 – підігрівальна спіраль для напірного бака мастила;                       | 28 – нагнітальний трубопровід, який веде до двигуна;                           |
| 11 – зрівняльний бак;                                                        | 29 – з-за борту чи з місця відбору сирої води;                                 |
| 12 – фільтр сирої або забортної води;                                        | 30 – за борт або до місця відбору сирої води;                                  |
| 13 – манометр;                                                               | 31 – від підігрівального пристрою;                                             |
| 14 – оглядове скло протоки охолоджувальної води;                             | 32 – до підігрівального пристрою;                                              |
| 15 – засувка;                                                                | 33 – за борт чи до місця відбору сирої води при аварійному режимі охолодження; |
| 16 – триходовий кран;                                                        | 34 – охолодження навісного компресора пускового повітря                        |
| 17 – кутовий клапан;                                                         |                                                                                |
| 18 – зрівняльна засувка;                                                     |                                                                                |



————— трубопровід прісної води, навішаний на двигуні;  
 - - - - - трубопровід забортної чи сирії води, навішаний на двигуні;  
 - - - - - трубопровід прісної води, прокладений на судні;  
 - - - - - трубопровід забортної чи сирії води, прокладений на судні або на електростанції

Рисунок 2.5 – Робоча схема двоконтурної системи охолодження суднового дизеля, який обладнано газотурбонагнітачем

— трубопровід прісної води, навішаний на двигуні;

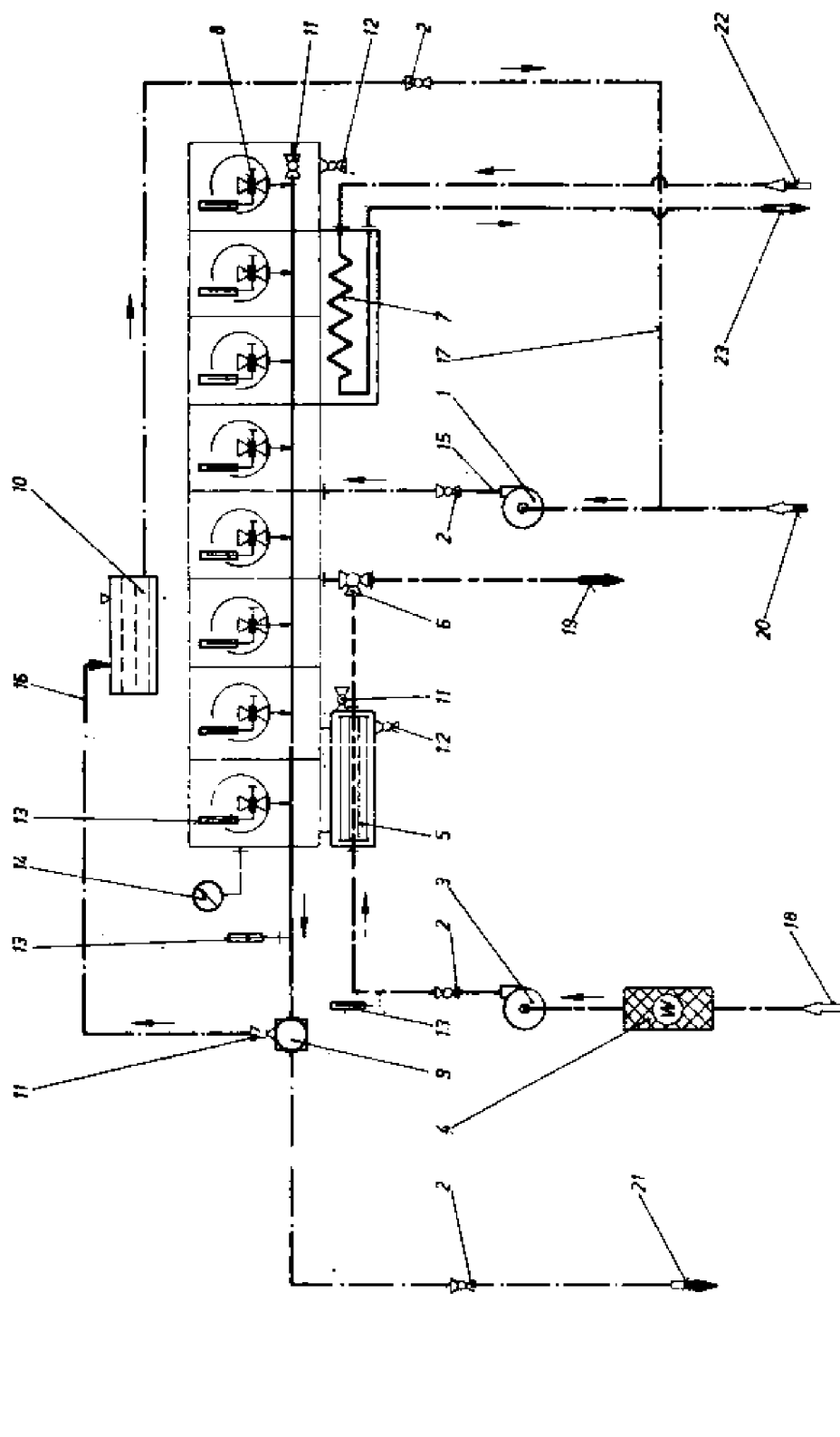
..... трубопровод забортової чи сирієї води, навішаний на двигуні;

----- трубопровід прісної води, прокладений на судні;

Рисунок 2.5 – Робоча схема двоконтурної системи охолодження суднового дизеля,

На рисунку 2.5 прийнято наступні позначення:

- |                                                                              |                                                                                 |
|------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| 1 – насос оборотної води (штатний);                                          | 19 – регулювальний клапан при аварійному охолодженні забортною водою;           |
| 2 – приєднувальний елемент на всмоктуванні контуру оборотної води;           | 20 – водоспускний кран;                                                         |
| 3 – приєднувальний елемент на нагнітанні контуру оборотної води;             | 21 – знеповітряний кран;                                                        |
| 4 – насос сирої чи забортної води (штатний);                                 | 22 – термометр;                                                                 |
| 5 – приєднувальний елемент на всмоктуванні контуру сирої або забортної води; | 23 – дистанційний термометр;                                                    |
| 6 – приєднувальний елемент на нагнітанні контуру сирої або забортної води;   | 24 – насос оборотної води (резервний);                                          |
| 7 – теплообмінник;                                                           | 25 – насос сирої або забортної води (резервний);                                |
| 8 – масляний холодильник;                                                    | 26 – знеповітряний трубопровід;                                                 |
| 9 – регулятор температури охолоджувальної води;                              | 27 – зрівняльний трубопровід;                                                   |
| 10 – підігрівальна спіраль для напірного бака мастила;                       | 28 – нагнітальний трубопровід, який веде до двигуна;                            |
| 11 – зрівняльний бак;                                                        | 29 – з-за борту або з місця відбору сирої води;                                 |
| 12 – фільтр сирої або забортної води;                                        | 30 – за борт або до місця відбору сирої води;                                   |
| 13 – манометр;                                                               | 31 – від підігрівального пристрою;                                              |
| 14 – оглядове скло протоки охолоджувальної води;                             | 32 – до підігрівального пристрою;                                               |
| 15 – засувка;                                                                | 33 – за борт або до місця відбору сирої води при аварійному режимі охолодження; |
| 16 – триходовий кран;                                                        | 34 – охолодження навісного компресора пускового повітря;                        |
| 17 – кутовий клапан;                                                         | 35 – газотурбонагнітач;                                                         |
| 18 – зрівняльна засувка;                                                     | 36 – знеповітряний трубопровід                                                  |



На рисунку 2.6 прийнято наступні позначення:

- |                                                       |                                       |
|-------------------------------------------------------|---------------------------------------|
| 1 – насос оборотної води;                             | 19 – за борт або, до місця відбору    |
| 2 – запірний кран;                                    | сирої води через центральний          |
| 3 – насос сирої або забортної води;                   | теплообмінник;                        |
| 4 – фільтр сирої або забортної води;                  | 20 – від центрального теплообмінника; |
| 5 – масляний холодильник;                             | 21 – до центрального теплообмінника;  |
| 6 – триходовий кран;                                  | 22 – від підігрівального пристрою;    |
| 7 – підігрівальна спіраль для напірного бака мастила; | 23 – до підігрівного пристрою         |
| 8 – регулювальна засувка;                             |                                       |
| 9 – показчик-витратомір;                              |                                       |
| 10 – зрівняльний бак;                                 |                                       |
| 11 – знеповітряний кран;                              |                                       |
| 12 – водоспускний кран;                               |                                       |
| 13 – точка вимірювання температури;                   |                                       |
| 14 – точка вимірювання тиску;                         |                                       |
| 15 – нагнітальний трубопровід, який веде до двигуна;  |                                       |
| 16 – знеповітряний трубопровід;                       |                                       |
| 17 – зрівняльний трубопровід;                         |                                       |
| 18 – з-за борту або з місця відбору сирої води;       |                                       |

2.3.8 На рисунку 2.7 наведено схему системи охолодження двигуна, двоконтурне водо-водяне охолодження.

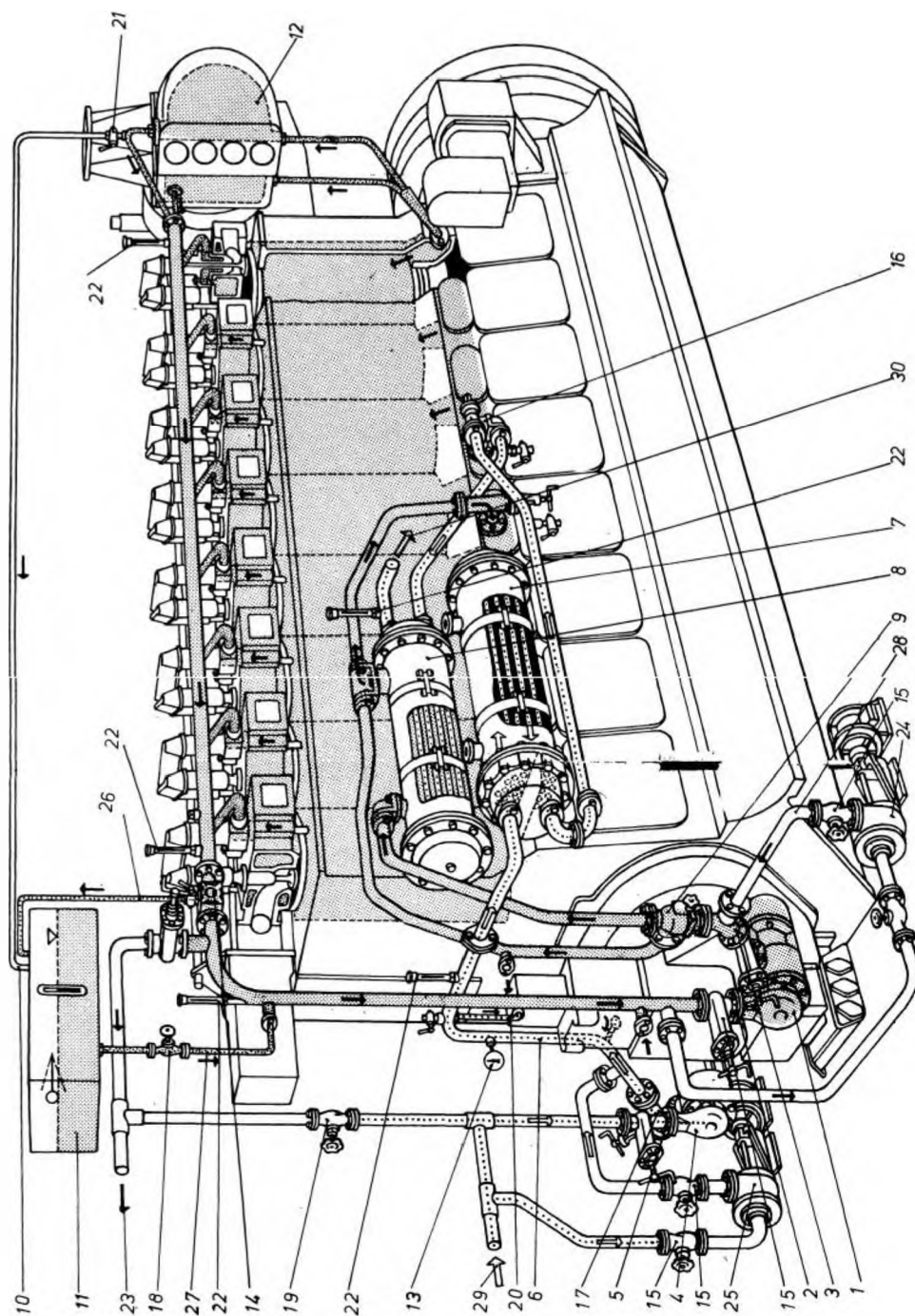


Рисунок 2.7 — Схема системи охолодження двигуна, двоконтурне водо-водяне охолодження

На рисунку 2.7 прийнято наступні позначення:

- |                                                                              |                                                                                                           |
|------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 – насос оборотної води (штатний);                                          | 19 – регулювальний клапан;                                                                                |
| 2 – приєднувальний елемент на всмоктуванні контуру оборотної води;           | 20 – охолодження навісного компресора пускового повітря;                                                  |
| 3 – приєднувальний елемент на нагнітанні контуру оборотної води;             | 21 – знеповітряний кран;                                                                                  |
| 4 – насос сирої чи забортної води (штатний);                                 | 22 – термометр;                                                                                           |
| 5 – приєднувальний елемент на всмоктуванні контуру сирої або забортної води; | 23 – стік охолоджувальної води до місця відбору сирої води або за борт при аварійному режимі охолодження; |
| 6 – приєднувальний елемент на нагнітанні контуру сирої або забортної води;   | 24 – насос оборотної води (резервний);                                                                    |
| 7 – теплообмінник;                                                           | 25 – насос сирої або забортної води (резервний);                                                          |
| 8 – масляний холодильник;                                                    | 26 – знеповітряний трубопровід;                                                                           |
| 9 – регулятор температури охолоджувального середовища;                       | 27 – зрівняльний трубопровід;                                                                             |
| 10 – знеповітряний трубопровід;                                              | 28 – нагнітальний трубопровід, який веде до двигуна;                                                      |
| 11 – зрівняльний бак;                                                        | 29 – з місця відбору сирої води або з-за борту;                                                           |
| 12 – газотурбонагнітач;                                                      | 30 – до місця відбору сирої води або за борт                                                              |
| 13 – манометр;                                                               |                                                                                                           |
| 14 – оглядове скло протоки охолоджувальної води;                             |                                                                                                           |
| 15 – засувка;                                                                |                                                                                                           |
| 16 – триходовий кран;                                                        |                                                                                                           |
| 17 – кутовий клапан;                                                         |                                                                                                           |
| 18 – зрівняльна засувка;                                                     |                                                                                                           |

## 2.4 Технічні характеристики системи охолодження

Таблиця 2.1 – Основні технічні характеристики системи охолодження дизеля 8NVD48U [5]

| Параметр                                                                                                                                                                                                                                  | Значення                                                                                              |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Система охолодження                                                                                                                                                                                                                       | Двоконтурна. Перший контур – прісної води – замкнений. Другий контур – заборотної води – розімкнений. |
| Тиск охолоджувальної води в системі, кПа                                                                                                                                                                                                  | 98                                                                                                    |
| Температура охолоджувальної води, °C <ul style="list-style-type: none"> <li>– прісної на вході в дизель</li> <li>– прісної на виході з дизеля</li> <li>– заборотної на вході в дизель</li> <li>– заборотної на виході з дизеля</li> </ul> | 60-75<br>70-85<br>20-30<br>40-55                                                                      |
| Насос прісної води: <ul style="list-style-type: none"> <li>– тип</li> <li>– продуктивність при частоті обертання 195,7 с-1 (1870 об/хв) та протитиску на виході 196 кПа, м³/с (м³/год)</li> </ul>                                         | відцентровий<br><br>0,00917 (33)                                                                      |
| Насос заборотної води: <ul style="list-style-type: none"> <li>– тип</li> <li>– продуктивність при числі подвійних ходів 350 за хвилину та протитиску на виході 196 кПа, м³/с (м³/год)</li> </ul>                                          | поршневий<br><br>0,0045 (16,2)                                                                        |

Подовження таблиці 2.1

| Параметр                                                                                                                               | Значення                  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|
| Водоохолоджувач:                                                                                                                       |                           |
| – тип                                                                                                                                  | протитечійний, трубчастий |
| – площа поверхні охолодження, м <sup>2</sup>                                                                                           | 6,45                      |
| Осушувальний насос:                                                                                                                    |                           |
| – тип                                                                                                                                  | поршневий                 |
| – продуктивність при частоті обертання 195,7 с-1 (1870 об/хв) та протитиску на виході 196 кПа, м <sup>3</sup> /с (м <sup>3</sup> /год) | 0,0045 (16,2)             |

### 3 АВТОМАТИЗОВАНІЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД НАСОСА СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ

#### 3.1 Функціональна схема автоматизованого електропривода насоса [6]

3.1.1 На рисунку 3.1 наведено функціональну схему автоматизованого електропривода насоса. На схемі сигнали  $i_{sa}$  і  $i_{sc}$  пропорційні миттєвим значенням струмів фаз А і С обмоток статора, з виходу датчиків ДТ<sub>а</sub> і ДТ<sub>с</sub> надходять до функціонального перетворювача струму, де формуються вихідні сигнали  $I_1$  і  $I_{1a}$ , пропорційні відповідно діючому значенню струму статора та активній складовій цього струму. У вузлах  $\Sigma_1$  та  $\Sigma_2$  підсумовуються сигнали керування і зворотних зв'язків, що надходять з функціональних пристроїв А1 і А3. Пристрій А4 забезпечує проходження сигналу  $I_1$  на вихід А3 лише при його перевищенні на суматорі  $\Sigma_3$  сигналу  $I_{1max}$ , пропорційного діючим значенням максимально допустимого струму статора асинхронного двигуна (АД).

Призначення кожного з контурів зворотних зв'язків та їх вплив на властивість електропривода доцільно розглянути окремо. Так, при дії лише позитивного зворотного зв'язку за струмом з боку А1 по мірі збільшення моменту статичного навантаження АД і відповідного збільшення струму статора на вхід суматора  $\Sigma_2$  надходить додатковий сигнал  $u_i$ , що збільшує сигнал  $u_u$ . Отже, в міру збільшення струму статора збільшується і вихідна напруга ПЧ. При цьому його вихідна частота, яка 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.

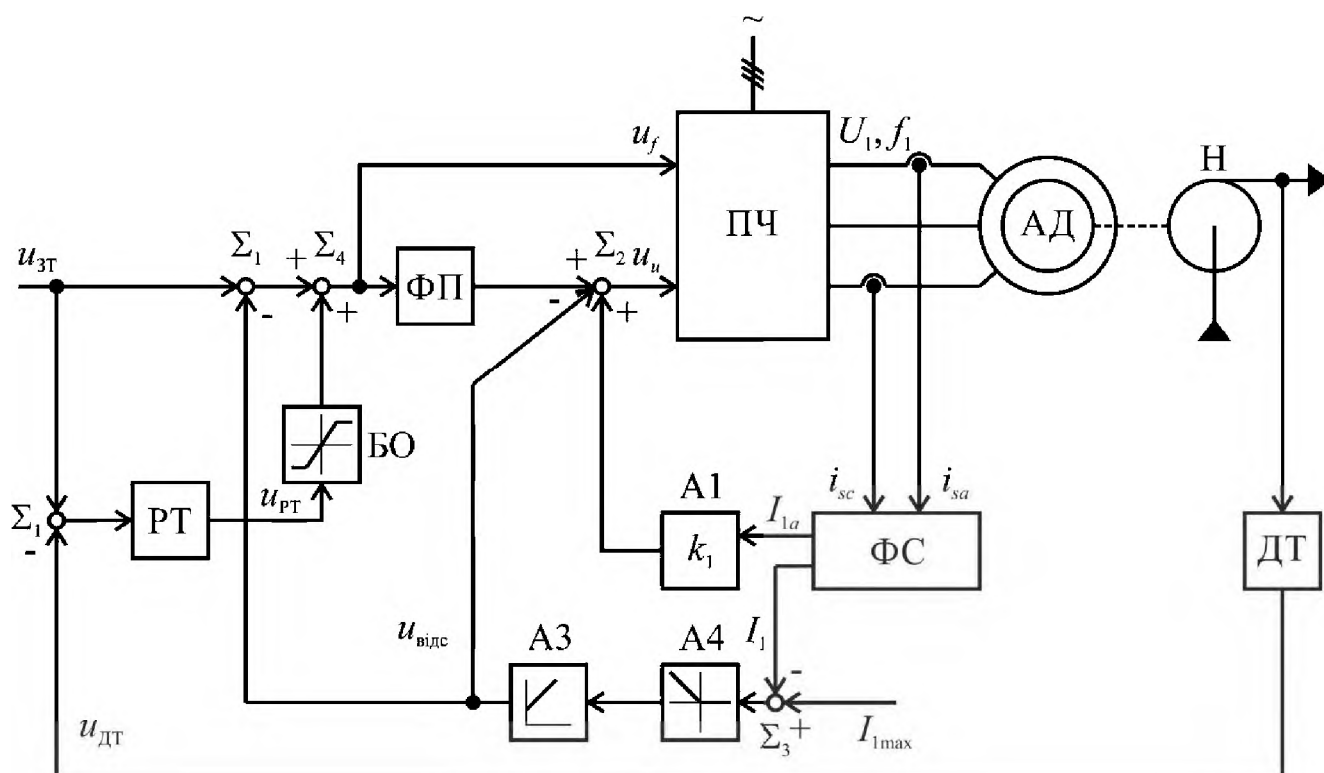


Рисунок 3.1 – Функціональна схема автоматизованого електропривода насоса

Ступінь компенсації визначається коефіцієнтом посилення  $k_1$  ланцюга позитивного зворотного зв'язку за струмом. Очевидно, чим більше  $k_1$ , тим більше буде потік при цьому ж абсолютному ковзанні. Межа збільшення  $k_1$  визначається умовами стійкості замкненої системи керування та допустимими значеннями потоку намагнічування і напруги живлення АД.

У міру зниження частоти напруги живлення повний опір ланцюга намагнічування а, отже, падіння напруги в статорі АД зменшуються. Тому для стабілізації і обмеження потоку намагнічування в замкненій за повним струмом системи ступінь компенсації падіння напруги, тобто коефіцієнт  $k_1$ , треба зменшувати в бік зниження частоти вихідної напруги ПЧ.

Для захисту перетворювача частоти і двигуна від перевантажень за струмом використовується режим струмового відсічення за допомогою суматора  $\Sigma_3$ . Вихідний сигнал АЗ  $u_{відс}$  може впливати як на зменшення вихідної напруги ПЧ (вузол  $\Sigma_2$ ), так і одночасно на зменшення частоти живлення АД (вузол  $\Sigma_1$ ).

Канал від'ємного зворотного зв'язку за тиском містить у собі датчик тиску, вузол  $\Sigma_5$  підсумовування напруг керування тиском (швидкістю АД)  $u_{зТ}$  й зворотного від'ємного зв'язку за тиском  $u_{дТ}$ , регулятор тиску РТ, блок БО обмеження його вихідної напруги  $u_{РТ}$ , а також вузол  $\Sigma_4$  підсумовування напруги  $u_{РТ}$  і результуючої напруги з виходу суматора  $\Sigma_1$ .

У міру збільшення навантаження на валу АД за рахунок зменшення швидкості АД й, отже, сигналу  $u_{РТ}$  збільшується сигнал неузгодженості  $\delta = u_{зТ} - u_{дТ} \equiv p_0 - p$ . Тут  $p_0$  – заданий тиск, що відповідає вихідному сигналу керування  $u_{зТ}$ ;  $p$  – дійсний тиск. При  $\delta \neq 0$  сигнал  $u_{РТ}$  на виході регулятора тиску, підсумовуючись із сигналом  $u_{зТ}$  (при  $I_1 < I_{1\max}$ ), за рахунок інтегральної передавальної функції РТ забезпечує збільшення сигналу керування  $u_f$  перетворювачем частоти. Одночасно із зміною частоти за рахунок функціонального перетворювача струму ФП змінюється у порівнянні з початковою напругою  $U_{10}$  і вихідна напруга перетворювача  $U_1$ . При цьому тиск в системі відновлюється до заданого значення  $p_0$ , тобто забезпечується сталість тиску.

### 3.1.2 Елементи автоматизованого електропривода

3.1.2.1 Асинхронний електродвигун MDEMA XX 132-2 2. Форма виконання ІМ 3001 (B5), ступінь захисту IP54. Всі мотори забезпечені датчиками температури, які використовуються для моніторингу температури обмоток і відповідають температурному класу F.

Технічні характеристики електродвигуна наведено в таблиці 3.1 [7].

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики електродвигуна MDEMA XX 132-2 2

| Параметр                                   | Значення |
|--------------------------------------------|----------|
| Номінальна потужність $P_n$ , Вт           | 7500     |
| Номінальна частота обертання $n_n$ , об/хв | 1455     |
| Номінальна напруга $U_n$ , В               | 400      |
| Частота мережі $f_{1n}$ , Гц               | 50       |
| Кількість пар полюсів $p_n$                | 2        |

Продовження таблиці 3.1

| Параметр                                    | Значення |
|---------------------------------------------|----------|
| Номинальний струм $I_n$ , А                 | 16,5     |
| Кратність $I_p/I_n$                         | 5,9      |
| Номинальний момент $M_n$ , Н·м              | 49,2     |
| Пусковий момент $M_p$ , Н·м                 | 100      |
| Критичний момент $M_k$ , Н·м                | 150      |
| Кратність $M_p/M_n$                         | 2,033    |
| Кратність $M_k/M_n$ ( $\lambda$ )           | 3,049    |
| Активний опір статора $R_1$ , Ом            | 0,697393 |
| Активний опір ротора $R_2$ , Ом             | 0,475044 |
| Реактивний опір статора $X_1$ , Ом          | 0,906590 |
| Реактивний опір ротора $X_2$ , Ом           | 1,251957 |
| $\cos\varphi$                               | 0,76     |
| Коефіцієнт корисної дії:                    |          |
| – $\eta_{100\%}$                            | 0,88     |
| – $\eta_{75\%}$                             | 0,87     |
| Момент інерції $J_{дв}$ , кг·м <sup>2</sup> | 0,0336   |

3.1.2.2 Перетворювач частоти МСЕ/Р – це новітня розробка в сімействі перетворювачів частоти DAB, оптимальна для професійного застосування і важких умов експлуатації. Призначені для роботи з насосами до 15 кВт. Даний тип перетворювачів частоти об'єднує в собі зручність і надійність конструкції. Зовнішній вигляд перетворювача частоти МСЕ/Р представлено на рисунку 3.2.

Перетворювачі МСЕ/Р монтуються на кришці електродвигуна і комплектуються датчиками тиску, а також датчиками витрати при необхідності. Використання датчика витрати покращує регулювання тиску в системі.

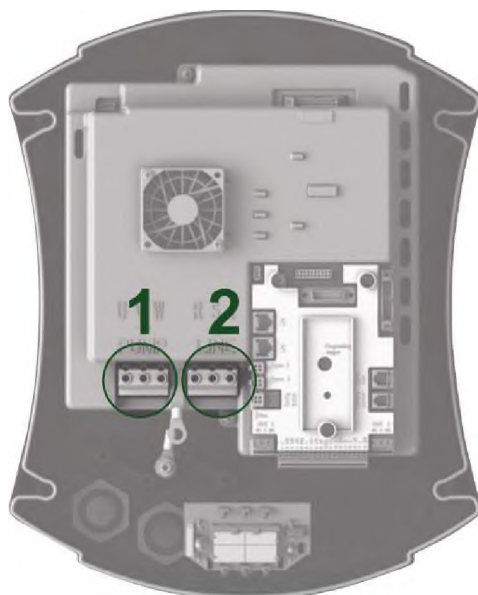


Рисунок 3.2 – Зовнішній вигляд перетворювача частоти MCE/P

MCE/P повинен міцно приєднуватися до двигуна за допомогою спеціальних систем кріплення. Комплект для кріплення слід вибирати відповідно до двигуна, до якого він повинен приєднуватися. Існують 2 способи механічного кріплення інвертора до двигуна:

- кріплення тягами;
- кріплення гвинтами.

MCE/P можна легко встановити в системах підвищення тиску завдяки стандартному кабельному з'єднанню. З'єднання між інвертором і електронасосом та між трифазною лінією живлення і перетворювачем здійснюється за допомогою чотирижильного кабелю (3 фази + заземлення). Вихідні клеми помічені надписами UVW PUMP (рисунок 3.3, поз. 1), вхідні клеми – надписами RST LINE (рисунок 3.3, поз. 2).



1 – вихідні клеми для підключення електронасоса;

2 – клеми підключення живлення перетворювача частоти

Рисунок 3.3 – Підключення силової частини перетворювача частоти MCE110/P

Технічні характеристики перетворювача MCE110/P наведено в таблиці 3.2 [8].

Таблиця 3.2 – Технічні характеристики перетворювача MCE110/P

| Параметр                   | Значення       |
|----------------------------|----------------|
| Потужність, Вт             | 11000          |
| Живлення інвертора:        |                |
| – напруга мережі $U_m$ , В | $3 \times 400$ |
| – частота мережі, Гц       | 50             |
| – струм, А                 | 32,5-26,0      |
| Вихід інвертора:           |                |
| – напруга, В               | $0-U_m$        |
| – частота, Гц              | 0-200          |
| – струм, А                 | 24,0           |
| Вид захисту                | IP55           |

Продовження таблиці 3.2

| Параметр                                                                                     | Значення                                                                                                                                                                                                           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Температура навколишнього середовища, град                                                   | -20...+ 40 °С                                                                                                                                                                                                      |
| Гідравлічні характеристики регулювання та роботи:<br>– діапазон регулювання тиску<br>– опція | 1-95 % діапазону шкали датчику тиску<br>датчик витрати                                                                                                                                                             |
| Датчик тиску:<br>– тип датчика<br>– шкала, МПа                                               | ратіометричний, 4-20 мА<br>1,6; 2,5; 4,0                                                                                                                                                                           |
| Функції та захист:<br>– функції                                                              | – U/F-керування (лінійне, квадратичне);<br>– послідовний інтерфейс;<br>– з'єднання мульти-інверторів;<br>– ПД-регулятор                                                                                            |
| – захист                                                                                     | – хід без води;<br>– амперометричний на вихідних фазах;<br>– перегрів внутрішньої електроніки;<br>– аномальна напруга живлення;<br>– пряме коротке замикання між вихідними фазами;<br>– несправність датчика тиску |

### 3.2 Структурна схема автоматизованого електропривода насоса

3.2.1 Оскільки при стабілізації напору (тиску) система працює в малих відхиленнях щодо робочої точки стабілізації, можливе використання лінійної моделі асинхронного двигуна, яку наведено на рисунку 3.4. На схемі прийнято наступні позначення:  $\omega_3(p)$ ,  $\omega(p)$  – задана та дійсна кутові швидкості обертання валу асинхронного двигуна, рад/с;  $M(p)$ ,  $M_o(p)$  – механічний момент двигуна і момент опору відповідно, Н·м.

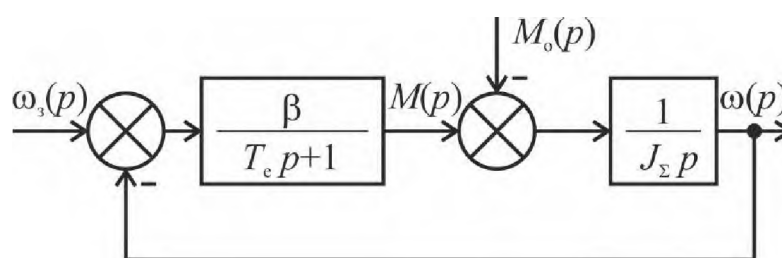


Рисунок 3.4 – Структурна схема лінеаризованої моделі асинхронного двигуна

Передавальна функція лінеаризованої моделі асинхронного двигуна  $W_{\text{дв}}(p)$  буде мати вигляд

$$W_{\text{дв}}(p) = \frac{\frac{\beta}{J_{\Sigma}p(T_e p + 1)}}{1 + \frac{\beta}{J_{\Sigma}p(T_e p + 1)}} = \frac{\beta}{J_{\Sigma}T_e p^2 + J_{\Sigma}p + \beta} = \frac{1}{T_M T_e p^2 + T_M p + 1}, \quad (3.1)$$

де  $\beta$  – модуль статичної жорсткості (жорсткість лінійної ділянки механічної характеристики асинхронного двигуна), Н·м·с;

$J_{\Sigma}$  – сумарний момент інерції, який приведено до валу двигуна, кг·м<sup>2</sup>

$T_e$  – електромагнітна стала часу, с;

$T_M$  – електромеханічна стала часу, с.

Модуль статичної жорсткості  $\beta$ , Н·м·с,

$$\beta = \frac{2M_K}{\omega_0 s_K}, \quad (3.2)$$

де  $\omega_0$  – кутова швидкість холостого ходу асинхронного двигуна, рад/с;

$s_K$  – критичне ковзання.

Швидкість холостого ходу  $\omega_0$ , рад/с,

$$\omega_0 = \frac{2\pi f_{1H}}{p_n},$$

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 50}{2} = 157,08 \text{ рад/с.}$$

Критичне ковзання  $s_K$

$$s_K = s_H(\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}), \quad (3.3)$$

де  $s_H$  – номінальне ковзання двигуна.

Номінальне ковзання двигуна  $s_H$  розраховуємо за формулою

$$s_H = \frac{\omega_0 - \omega_H}{\omega_0},$$

де  $\omega_H$  – номінальна кутова швидкість асинхронного двигуна, рад/с.

Номінальна кутова швидкість  $\omega_H$ , рад/с,

$$\omega_H = \frac{2\pi n_H}{60},$$

$$\omega_H = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 1450}{60} = 152,367 \text{ рад/с.}$$

Розраховуємо за формулою (3.4) номінальне ковзання двигуна  $s_H$

$$s_H = \frac{157,08 - 152,367}{157,08} = 0,03.$$

За формулою (3.3) знаходимо  $s_k$

$$s_k = 0,03 \cdot \left( 3,049 + \sqrt{3,049^2 - 1} \right) = 0,178.$$

Отже знаходимо за формулою (3.2) модуль статичної жорсткості  $\beta$

$$\beta = \frac{2 \cdot 150}{157,08 \cdot 0,178} = 10,738 \text{ Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с}.$$

Електромагнітна стала часу  $T_e$ , с,

$$T_e = \frac{1}{\omega_{\text{ел}} s_k},$$

де  $\omega_{\text{ел}}$  – кутова швидкість електромагнітного поля АД при його номінальній частоті напруги живлення  $f_{1H}=50$  Гц,  $\omega_{\text{ел}}=314$  рад/с;

Отже знаходимо електромагнітну сталу часу  $T_e$

$$T_e = \frac{1}{314 \cdot 0,178} = 0,018 \text{ с}.$$

Електромеханічна стала часу  $T_m$ , с,

$$T_m = \frac{J_\Sigma}{\beta}, \quad (3.4)$$

де  $J_\Sigma$  – сумарний момент інерції, кг·м<sup>2</sup>.

Сумарний момент інерції  $J_\Sigma$

$$J_\Sigma = J_{\text{дв}} + J_{\text{нас}},$$

де  $J_{\text{нас}}$  – момент інерції насоса,  $J_{\text{нас}}=0,08$  кг·м<sup>2</sup>.

$$J_\Sigma = 0,0336 + 0,08 = 0,114 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

За формулою (3.4) знаходимо  $T_M$

$$T_M = \frac{0,114}{10,738} = 0,011 \text{ с.}$$

На основі результатів розрахунків параметрів асинхронного двигуна, передавальна функція двигуна (3.1) буде мати вигляд

$$W_{\text{дв}}(p) = \frac{1}{0,00019p^2 + 0,011p + 1}. \quad (3.5)$$

Навантаження відцентрових і осьових насосів, вентиляторів та інших механізмів вентиляторного типу називається вентиляторним навантаженням. Статичний момент в подібних механізмах залежить від швидкості обертання робочого колеса в другій степені, тому в даній роботі момент опору двигуна приймаємо

$$M_o(p) = k_H \omega^2(p),$$

де  $k_H$  – коефіцієнт навантаження, Н·м·с<sup>2</sup>.

Коефіцієнт навантаження  $k_H$ , Н·м·с<sup>2</sup>, розраховуємо за формулою

$$k_H = \frac{M_H}{\omega_H^2},$$

$$k_H = \frac{49,2}{152,367^2} = 0,00212 \text{ Н·м·с}^2.$$

3.2.2 Як відомо, перетворювач частоти являє собою нелінійний дискретний динамічний об'єкт з обмеженою керованістю. Однак можна говорити, що специфіка перетворювача, як нелінійного об'єкта суттєво не позначається на роботі системи. Частота зрізу контуру регулювання в якому він знаходиться, значно нижче частот, суттєвих для динаміки самого перетворювача, при цьому час перехідних процесів у системі помітно перевищує період дискретизації системи. Найчастіше,

перетворювач частоти при розрахунках систем керування електроприводів представляють у вигляді аперіодичної ланки з передавальною функцією виду

$$W_{\text{ПЧ}}(p) = \frac{k_{\text{ПЧ}}}{T_{\text{ПЧ}}p + 1}, \quad (3.6)$$

де  $k_{\text{ПЧ}}$  – коефіцієнт передачі перетворювача частоти, 1/В·с;

$T_{\text{ПЧ}}$  – стала часу перетворювача частоти,  $T_{\text{ПЧ}}=0,01$  с.

Коефіцієнт передачі перетворювача частоти  $k_{\text{ПЧ}}$ , 1/В·с,

$$k_{\text{ПЧ}} = \frac{2\pi f_{1\text{н}}}{p_{\text{п}} U_{\text{РТ}}},$$

де  $U_{\text{РТ}}$  – напруга на виході регулятора тиску,  $U_{\text{РТ}}=10$  В.

$$k_{\text{ПЧ}} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 50}{2 \cdot 10} = 15,708 \text{ 1/В} \cdot \text{с}.$$

Звідси передавальна функція перетворювача частоти (3.6) буде мати вигляд

$$W_{\text{ПЧ}}(p) = \frac{15,708}{0,01p + 1}. \quad (3.7)$$

3.2.3 Насос являє собою інерційну ланку, яка може бути представлена передавальною функцією

$$W_{\text{нас}}(p) = \frac{k_{\text{нас}}}{T_{\text{нас}}p + 1}, \quad (3.8)$$

де  $k_{\text{нас}}$  – коефіцієнт передачі насоса, м·с;

$T_{\text{нас}}$  – стала часу насоса,  $T_{\text{нас}}=0,001$  с.

Сталою часу  $T_{\text{нас}}$  допустимо знехтувати при синтезі системи і вважати насос безінерційною ланкою з передавальною функцією

$$W_{\text{нас}}(p) = k_{\text{нас}}. \quad (3.9)$$

Структурна схема насоса буде мати вигляд, який зображено на рисунку 3.5.

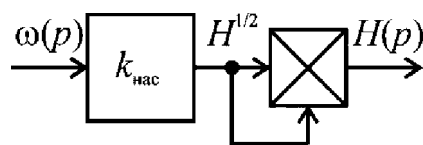


Рисунок 3.5 – Структурна схема насоса

Постійний коефіцієнт  $k_{\text{нас}}$

$$k_{\text{нас}} = \sqrt{\frac{H_{\text{н}}}{\omega_{\text{н}}^2}},$$

де  $H_{\text{н}}$  – номінальний напір насоса,  $H_{\text{н}}=80$  м.

$$k_{\text{нас}} = \sqrt{\frac{80}{152,367^2}} = 0,059.$$

3.2.4 Коефіцієнт передачі датчика тиску  $k_{\text{дт}}$ , В/м,

$$k_{\text{дт}} = \frac{U_{\text{дт}}}{H_{\text{н}}}. \quad (3.10)$$

Прийmemo для подальших розрахунків  $U_{\text{дт}}=U_{\text{зт}}=10$  В, тоді

$$k_{\text{дт}} = \frac{10}{80} = 0,125 \text{ В/м}.$$

3.2.5 При оптимізації контурів регулювання систем керування електроприводів широке поширення набули два методи стандартного налаштування: оптимум по модулю і симетричний оптимум. В процесі синтезу регулятора надаються певні динамічні властивості, тобто здійснюється вибір його параметрів [9].

Передавальна функція скоригованої розімкненої системи

$$W_{\text{роз}}(p) = W_{\text{РТ}}(p)W_{\text{НЧ}}(p),$$

де  $W_{\text{НЧ}}(p)$  – передавальна функція незмінної частини системи.

$$W_{\text{НЧ}}(p) = W_{\text{ПЧ}}(p)W_{\text{дв}}(p)W_{\text{нас}}(p)k_{\text{ДТ}} = \frac{k_{\text{ПЧ}}k_{\text{нас}}H_{\text{н}}k_{\text{ДТ}}}{(T_{\text{ПЧ}}p+1)(T_{\text{м}}T_{\text{е}}p^2+T_{\text{м}}p+1)}.$$

При налаштуванні на оптимум по модулю передавальна функція розімкненого контуру тиску буде мати вигляд

$$W_{\text{роз}}(p) = \frac{1}{2T_{\mu}p(T_{\mu}p+1)},$$

де  $T_{\mu}$  – мала некомпенсована стала часу,  $T_{\mu}=T_{\text{ПЧ}}=0,01$  с.

Тоді передавальна функція регулятора буде мати вигляд

$$W_{\text{РТ}}(p) = \frac{W_{\text{роз}}(p)}{W_{\text{НЧ}}(p)},$$

$$W_{\text{РТ}}(p) = \frac{\frac{1}{2T_{\mu}p(T_{\mu}p+1)}}{\frac{k_{\text{ПЧ}}k_{\text{нас}}H_{\text{н}}k_{\text{ДТ}}}{(T_{\text{ПЧ}}p+1)(T_{\text{м}}T_{\text{е}}p^2+T_{\text{м}}p+1)}} = \frac{(T_{\text{ПЧ}}p+1)(T_{\text{м}}T_{\text{е}}p^2+T_{\text{м}}p+1)}{2T_{\mu}p(T_{\mu}p+1)k_{\text{ПЧ}}k_{\text{нас}}H_{\text{н}}k_{\text{ДТ}}}.$$

Стала часу перетворювача частоти мала і становить 0,01 с, тому можна вважати, що  $T_{\mu}=T_{\text{ПЧ}}$ . Тоді передавальна функція регулятора буде мати вигляд

$$W_{\text{РТ}}(p) = \frac{(T_{\text{м}}T_{\text{е}}p^2+T_{\text{м}}p+1)}{2T_{\mu}pk_{\text{ПЧ}}k_{\text{нас}}H_{\text{н}}k_{\text{ДТ}}}. \quad (3.11)$$

Очевидно, що передавальна функція (3.11) є передавальною функцією пропорційно-інтегрально-диференціального регулятора (ПІД-регулятора) з відповідними коефіцієнтами передачі пропорційної  $k_{\text{п}}$ , інтегральної  $k_{\text{і}}$  і диференціальної  $k_{\text{д}}$  складових регулятора.

Коефіцієнт передачі пропорційної частини регулятора  $k_p$

$$k_p = \frac{T_M}{2T_\mu k_{ПЧ} k_{нас} H_N k_{ДТ}},$$

$$k_p = \frac{0,011}{2 \cdot 0,01 \cdot 15,708 \cdot 0,059 \cdot 80 \cdot 0,125} = 0,057.$$

Коефіцієнт передачі інтегральної частини регулятора  $k_i$

$$k_i = \frac{1}{2T_\mu k_{ПЧ} k_{нас} H_N k_{ДТ}},$$

$$k_i = \frac{1}{2 \cdot 0,01 \cdot 15,708 \cdot 0,059 \cdot 80 \cdot 0,125} = 5,422.$$

Коефіцієнт передачі диференціальної частини регулятора  $k_d$

$$k_d = \frac{T_M T_e}{2T_\mu k_{ПЧ} k_{нас} H_N k_{ДТ}},$$

$$k_d = \frac{0,011 \cdot 0,018}{2 \cdot 0,01 \cdot 15,708 \cdot 0,059 \cdot 80 \cdot 0,125} = 1,027 \cdot 10^{-3}.$$

Підставивши розраховані значення параметрів налаштування регулятора тиску в (3.11), отримаємо

$$W_{PT}(p) = 0,057 + \frac{5,422}{p} + 0,001p.$$

3.2.6 На базі математичного опису елементів автоматизованого електропривода насоса складено структурну схему системи (рисунок 3.6). Система являє собою одноконтурну систему керування, з одним зовнішнім контуром – контуром тиску.

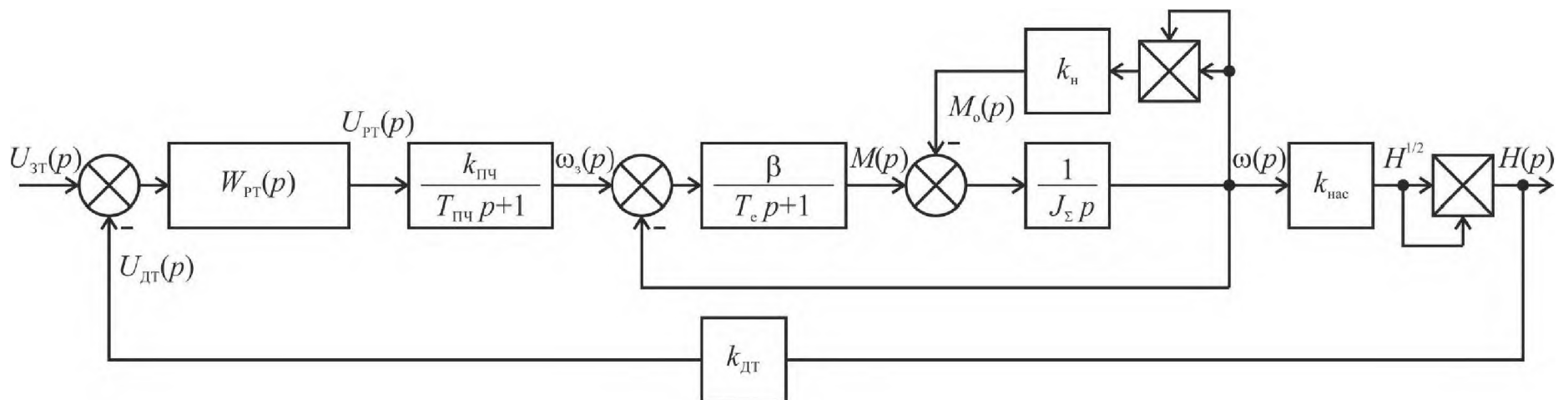


Рисунок 3.6 – Структурна схема автоматизованого електропривода насоса

### 3.3 Дослідження динаміки

3.3.1 Для аналізу динамічних характеристик автоматизованого електропривода насоса скористаємося моделюванням системи в програмі Simulink. При моделюванні з використанням Simulink реалізується принцип візуального програмування, відповідно до якого користувач на екрані з бібліотек стандартних блоків створює модель системи і здійснює розрахунки.

У відповідності зі структурною схемою системи (див. рисунок 3.6) складена модель для середовища Simulink. Схема моделювання представлена на рисунку 3.7. Коефіцієнти, які необхідні для моделювання системи, зведені в таблицю 3.3.

Таблиця 3.3 – Параметри елементів моделі автоматизованого електропривода

| Коефіцієнт | $k_{ПЧ}$ ,<br>1/В·с | $T_{ПЧ}$ ,<br>с | $\beta$ ,<br>Н·м·с | $T_e$ , с | $J_{\Sigma}$ ,<br>кг·м <sup>2</sup> | $k_n$ , Н·м·с <sup>2</sup> | $k_{нас}$ | $k_{ДТ}$ ,<br>В/м |
|------------|---------------------|-----------------|--------------------|-----------|-------------------------------------|----------------------------|-----------|-------------------|
| Значення   | 15,708              | 0,01            | 10,738             | 0,018     | 0,114                               | $2,119 \times 10^{-3}$     | 0,059     | 0,125             |

При різкій зміні завдання в системі відбувається форсування сигналу керування і, як наслідок, стрибки струму і моменту. Для того щоб уникнути цих неприємних явищ, використовують задатчики інтенсивності. Задатчик інтенсивності в розрахунковій схемі призначений для формування сигналу завдання тиску  $U_{ЗТ}$ , що лінійно змінюється в часі з певним темпом.



Структурна схема задатчика інтенсивності представлена на рисунку 3.8. Як видно з рисунку, підсистема містить Step block (генератор ступінчастого сигналу), нелінійний елемент та інтегратор. Приймаємо величину обмеження нелінійного елемента 10 В, а сталу часу інтегратора  $T_{3I}=0,095$  с.

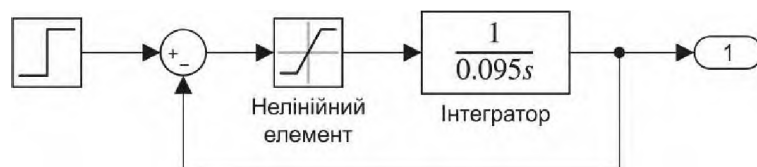


Рисунок 3.8 – Підсистема «Задатчик інтенсивності»

3.3.2 У результаті моделювання були отримані перехідні характеристики автоматизованого електропривода, які представлені на рисунках 3.9-3.11.

Для систем керування важливим є поняття якості перехідних процесів, тобто важливий сам характер протікання процесів, особливо такі фактори, як тривалість, коливальність і динамічне відхилення регульованої змінної від заданої величини.

До загальноприйнятих показників якості, які використовують для характеристики перехідного процесу, відносять відносне перерегулювання, час встановлення, час наростання, час максимуму та усталену похибку [10].

Швидкодія системи наряду пов'язана з часом наростання  $t_n$  та часом максимуму перехідної характеристики  $t_m$ . Для недодемпфованих систем, перехідна характеристика яких має перерегулювання, час наростання визначається як час зміни реакції від 0 до 100 % заданого значення вихідної величини. Якщо система передемпфована, то перерегулювання відсутнє, час максимуму не має значення, а в якості часу наростання розглядається інтервал, протягом якого перехідна характеристика змінюється від 10 до 90 % її значення.

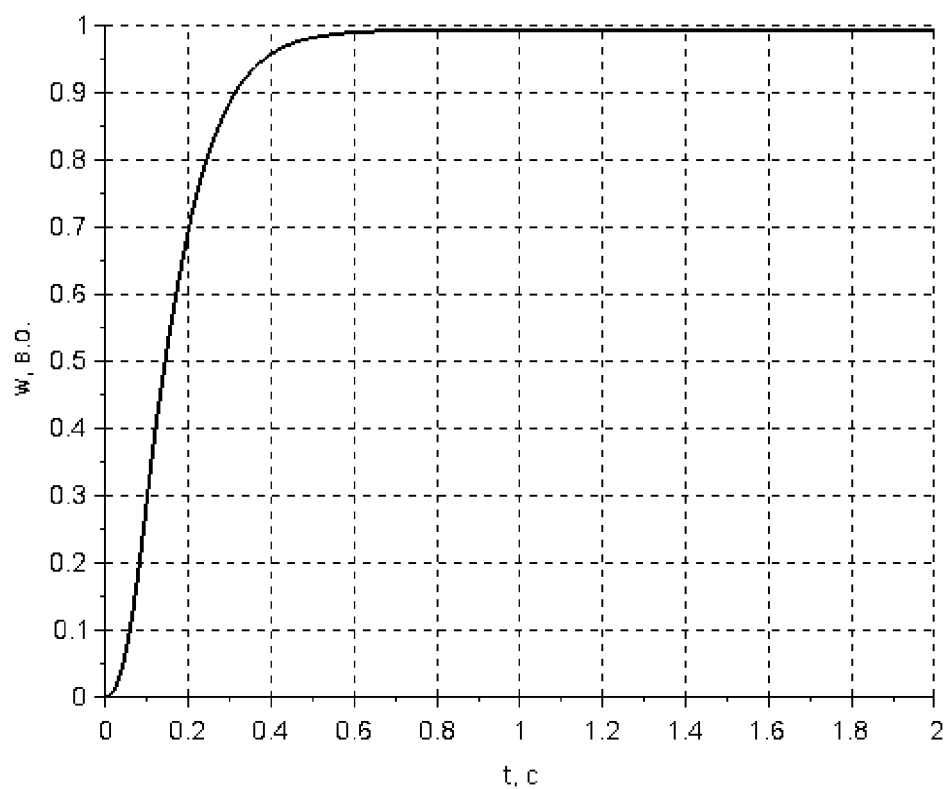


Рисунок 3.9 – Перехідна характеристика кутової швидкості електродвигуна

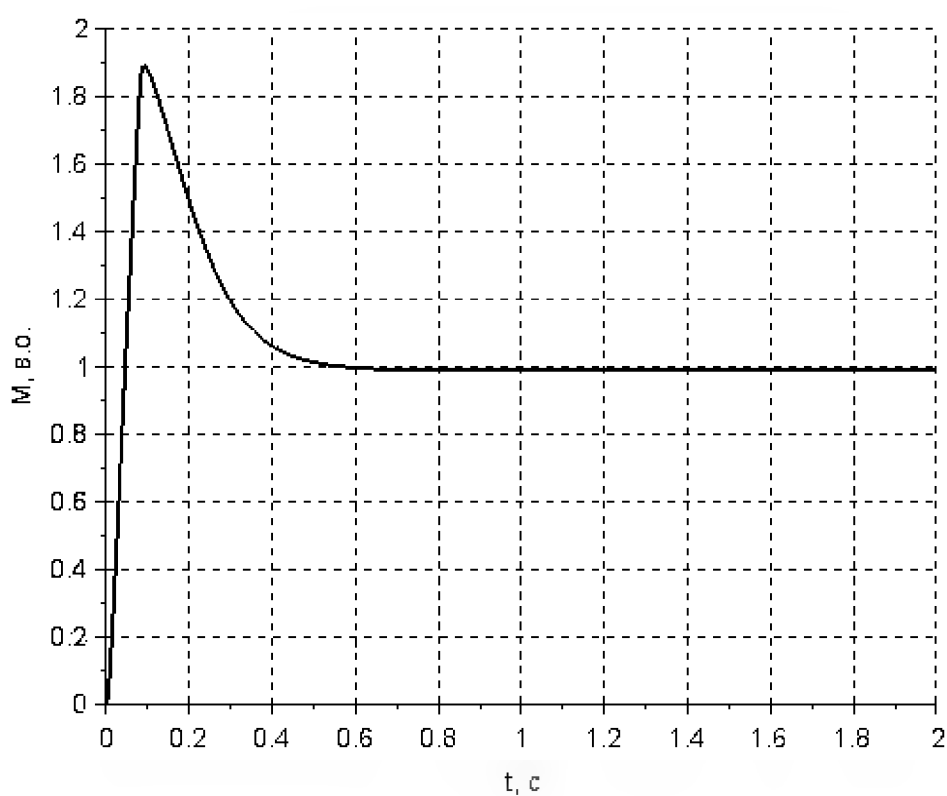


Рисунок 3.10 – Перехідна характеристика моменту електродвигуна

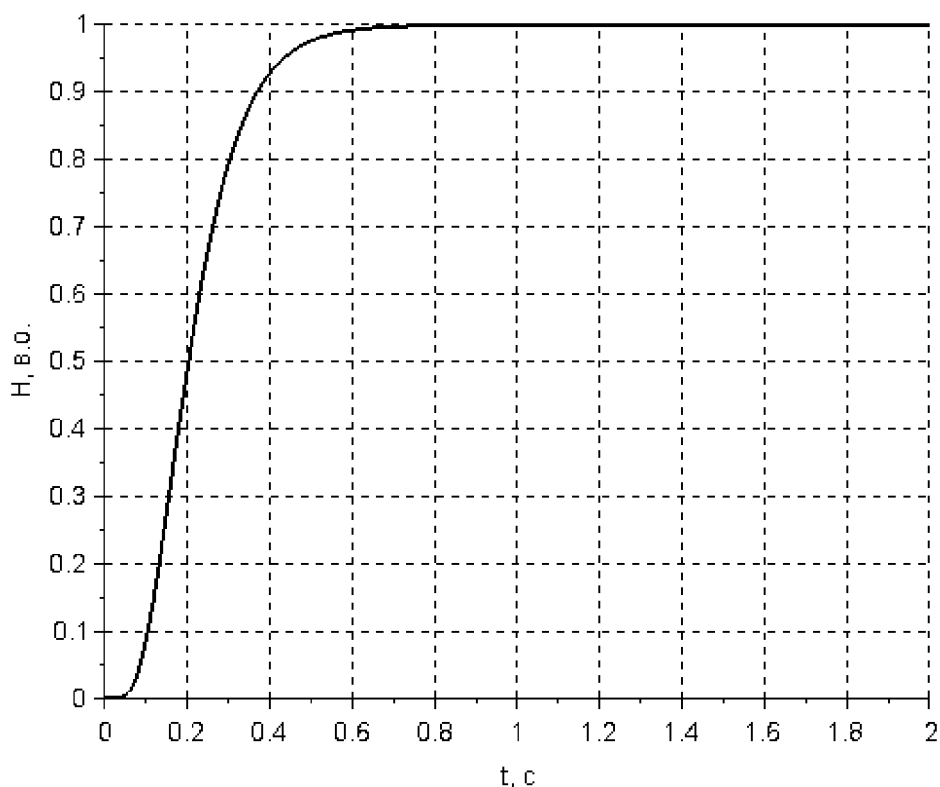


Рисунок 3.11 – Перехідна характеристика напору/тиску

Наскільки добре дійсна реакція системи відповідає керуючому впливу, оцінюється по відносному перерегулюванню  $\sigma$  і часу встановлення  $t_p$ .

Відносне перерегулювання  $\sigma$  представляє собою максимальне відхилення від усталеного значення, яке виражається у відносних одиницях або процентах,

$$\sigma = \frac{h_{\max} - h_{\text{уст}}}{h_{\text{уст}}} \cdot 100 \%,$$

де  $h_{\max}$  – максимальне значення вихідної величини;

$h_{\text{уст}}$  – усталене значення вихідної величини.

Час встановлення  $t_p$  визначається моментом, після якого перехідна характеристика залишається повністю в межах зони, яка відрізняється від усталеного значення на  $\pm\delta$ .

Отже, реакцію системи на керуючий вплив можна охарактеризувати двома факторами:

- швидкодією, яка визначається часом наростання і часом максимуму;
- близькістю до бажаного вигляду, яка визначається перерегулюванням і часом встановлення.

Наведені вище показники можуть бути доповнені іншими, якщо цього вимагають специфічні технічні завдання на розробку або дослідження систем керування.

Проаналізуємо реакцію системи керування на ступінчастий сигнал (рисунок 3.12). Отримані показники якості зведені в таблицю 3.4.

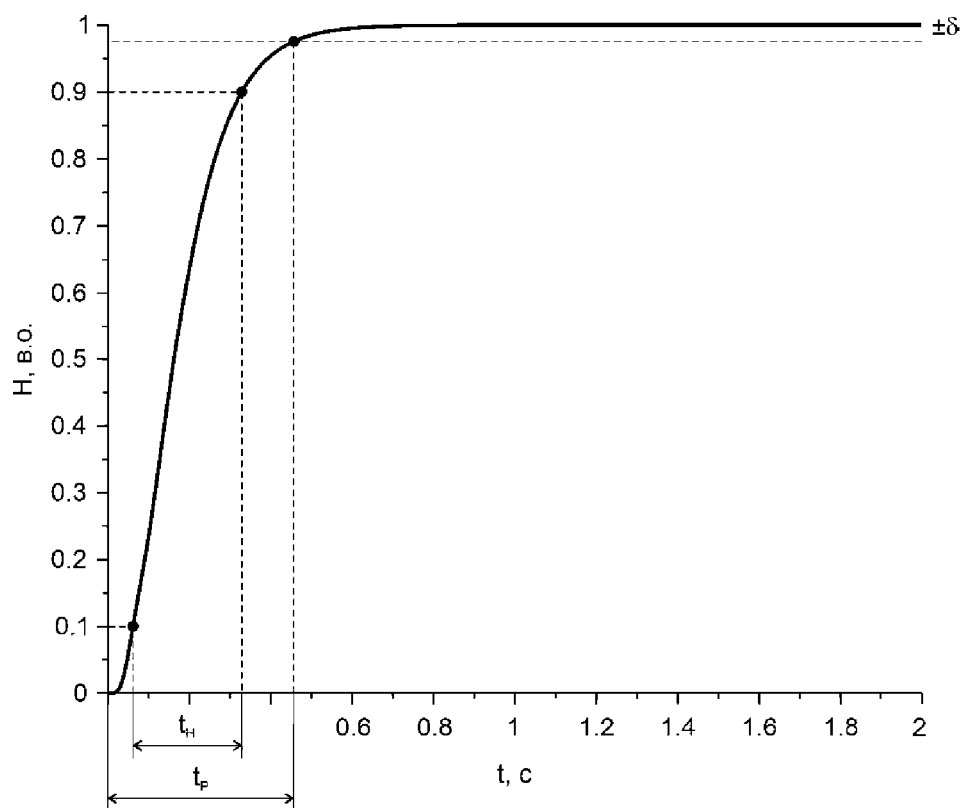


Рисунок 3.12 – Реакція системи керування на ступінчастий сигнал

Таблиця 3.4 – Показники якості

| Параметр | Відносне<br>перерегулювання $\sigma$ ,<br>% | Час<br>встановлення<br>$t_p$ , с | Час<br>наростання<br>$t_n$ , с | Усталена<br>похибка $\varepsilon_{уст}$ |
|----------|---------------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------------|
| Значення | 0                                           | 0,456                            | 0,267                          | 0                                       |

Відповідно завданню до кваліфікаційної роботи перехідний процес повинен відповідати таким показникам:  $\sigma \leq 5\%$ ,  $t_p \leq 1$  с. Згідно таблиці 3.4 отримані значення не перевищують задані, отже, перехідний процес задовольняє сформульованим у завданні вимогам.

## **4 ОХОРОНА ПРАЦІ**

### **4.1 Забезпечення безпеки виробничих процесів на морському транспорті [11]**

Техніка безпеки вивчає небезпечні фактори виробничого середовища і вірогіднісну можливість їхнього прояву, досліджує і розробляє організаційні заходи і технічні засоби, що виключають небезпечні виробничі фактори чи попереджають про їхню появу.

Важливою умовою безпеки є застосування надійних способів захисту в складі засобів механізації, автоматизації і дистанційного керування. Устаткування має задовольняти вимогам безпеки протягом усього терміну служби.

Безпека виробничого устаткування – його властивість зберігати відповідність вимогам безпеки праці при виконанні заданих функцій в умовах, встановлених нормативно-технічною документацією (ДСТ 12.3.002-75ССБТ «Процеси виробничі. Загальні вимоги безпеки»; ДСТ 12.2.003-91ССБТ «Устаткування виробниче. Загальні вимоги безпеки»).

Безпека виробничого процесу забезпечується безпекою устаткування, нормальними санітарно-гігієнічними показниками виробничого середовища, урахуванням фізичних і психофізіологічних можливостей працюючих, їхніми знаннями та вміннями, а також культурою виробництва.

Умови праці визначаються комплексом факторів, що спричиняють вплив на працездатність і здоров'я людини в процесі її трудової діяльності.

Трудовим законодавством передбачено, що адміністрація підприємств зобов'язана забезпечити працюючим здорові та безпечні умови праці. Це одна з найважливіших задач і обов'язків адміністрації.

Розробка організаційних заходів захисту від небезпечних виробничих факторів починається зі створення нормативних документів (правил, інструкцій), наявність яких на підприємствах передбачена законом. Основними нормативними

документами з навчання питанням охорони праці та забезпечення безпеки праці моряків є:

- «Типове положення про навчання з питань охорони праці» (ДНАОП 0.00.4.12-99);
- «Правила техніки безпеки на суднах морського флоту» (РД 31.81.10-75), (НАОП 5.1.21-1.01-76);
- «Міжнародна Конвенція з охорони людського життя на морі (International Convention for the Safety of Life at Sea. SOLAS-74)». Прийнята Україною 25 травня 1980 року;
- «Міжнародний кодекс з управління безпечною експлуатацією суден і запобігання забрудненню. МКУБ (International Safety Management ISM-Code)». Прийнятий на конференції ІМО, що відбулася в травні 1994 року в Лондоні як доповнення (розд. IX) до SOLAS-74;
- «Міжнародна Конвенція з підготовки і дипломування моряків і несення вахти. ПДНВ-78/95» (STCW-Code 95).

Однак сама наявність інструкцій та іншої нормативної документації з техніки безпеки без ретельного вивчення и організації контролю знань працюючих не може забезпечити безпеку праці на виробництві. Тому перелічені вище документи ставлять за обов'язок адміністрації судноплавних компаній проводити інструктаж і регулярне навчання працюючих судноплавних компаній безпечним прийомом роботи. Усі морські навчальні заклади повинні пройти сертифікацію на відповідність Конвенції ПДНВ-78/95. Комітет з безпеки мореплавства після аналізу інформації, що надійшла від аудиторів ІМО, створює так званий «Білий список» країн, що цілком відповідають вимогам Конвенції ПДНВ-78/95. Це означає, що всі моряки держави, яка внесена до цього списку, повинні навчатися за програмами, що відповідають новим стандартам (ПДНВ-78/95). Україна у 2001 році увійшла в цей «Білий список».

Наступним етапом організації безпеки праці на суднах є навчання членів екіпажів безпечним прийомом роботи і перевірка їхніх знань відповідно до вимог міжнародних конвенцій. Відповідальність за вчасне і якісне проведення інструк-

тажів, навчання членів суднових команд і допуск їх до самостійного проведення робіт покладається на капітанів, старших помічників капітанів і старших механіків суден.

Інструктаж і навчання безпечним прийомом роботи обов'язкові для всіх працюючих та осіб, що знову прибувають на судно.

Організаційне забезпечення безпеки складається з комплексу заходів, зв'язаних із попередньою підготовкою до проведення робіт, наглядом за їхнім виконанням, а також із пропагандою безпечних та безаварійних методів праці. Попередня підготовка суднових робіт включає забезпечення членів суднових команд чітким завданням і відповідним інструментом, захисними засобами, технічною документацією і спецодягом. Керівник робіт повинен перевіряти справність устаткування та інструменту, організацію робочого місця, забезпечити правильне розміщення працюючих.

Робоче місце оснащується необхідними технічними засобами для виконання суднових робіт. Безпека тимчасового робочого місця передбачає забезпечення працюючих справними пристосуваннями, такелажем і захисними індивідуальними засобами. Крім того, слід перевірити наявність необхідних огорожень, захисних пристроїв і попереджувальних написів. При організації тимчасового робочого місця необхідно відпрацювати сигнали, що подаються під час роботи, команди і розпорядження, а також забезпечити доступ до робочого місця і можливість швидкої евакуації.

Нещасні випадки на флоті часто трапляються внаслідок порушень правил та інструкцій з техніки безпеки і слабкої дисципліни окремих членів суднових команд. Причиною цього є недостатньо висока організація служби на цих суднах і недостатній нагляд за безпечним проведенням робіт з боку командного складу суден.

Керівник робіт повинен бути сам добре підготовлений у питаннях техніки безпеки, знати всі інструкції з безпеки праці у своєму завідуванні і вимагати від підлеглих їх неухильного дотримання.

До роботи на морських суднах допускаються особи, які закінчили морські навчальні заклади і знайомі з вимогами міжнародних конвенцій із безпеки праці, а також з діючими інструкціями з техніки безпеки проведення робіт зі своєї спеціальності. Тому порушення працюючими вимог інструкцій необхідно розцінювати як порушення трудової дисципліни. До таких осіб спочатку застосовуються заходи виховного, а потім дисциплінарного впливу.

Нагляд за безпекою праці на морських суднах здійснюється безупинно протягом усього часу проведення робіт. Він містить нагляд за дотриманням вказівок технічної документації і виконанням правил техніки безпеки, застосуванням безпечних прийомів роботи і використанням захисних засобів, дотриманням порядку на робочих місцях і встановленого режиму праці. Правильного чергування праці й відпочинку необхідно точно дотримуватися при шкідливих і важких роботах. Особливо ретельний нагляд повинен бути встановлений за членами екіпажів суден, недавно зарахованими на флот, з метою запобігання нещасних випадків через помилкові дії новачка. Не дозволяється доручати людям, що ще не можуть правильно орієнтуватися в морських умовах, виконання аварійних робіт на відкритих палубах і в закритих об'єктах (цистернах, танках тощо), під час шторму і при значному хвилюванні моря.

Істотне значення для поліпшення охорони праці має забезпечення постійного нагляду за станом і утриманням шляхів сполучення, улаштування тимчасових проходів і огорожень, нагляд за виконанням правил руху по судну, особливо в умовах поганої погоди. Морська практика показує: там, де добре налагоджені трудова дисципліна і технічне навчання, ведеться систематичний нагляд за правильним виконанням вимог техніки безпеки членами екіпажів, колективи суден досягають високих виробничих показників у безаварійних плаваннях.

За стан техніки безпеки на судні відповідає капітан. Він зобов'язаний особисто та через своїх помічників і начальників служб проводити заходи по оздоровленню умов праці екіпажу, з огляду на конкретні умови вживати необхідних заходів для запобігання випадкам травматизму.

Контроль і відповідальність за дотримання правил техніки безпеки під час виконання робіт покладаються на командира, що безпосередньо очолює цю роботу чи дає розпорядження членам суднової команди щодо її виконання.

Командний склад приходить на флот навченим техніці безпеки в обсязі планів і програм морських навчальних закладів. У процесі роботи на суднах він удосконалює свої знання в області охорони праці відповідно до займаної посади і виконуваної роботи. Крім того, через певні проміжки часу командний склад, проходячи атестацію, здає екзамен з охорони праці.

Перевірка знань здійснюється постійно діючими кваліфікаційними комісіями в пароплавствах, судноплавних компаніях і на суднах.

В останні роки у світовому торговому флоті відбулися значні зміни. З'явилися високоавтоматизовані швидкісні спеціалізовані судна, що вимагають спеціальних знань і навичок обслуговування. Скоротилася чисельність екіпажів суден. Крім того, прискорення рейсооборотів, формування багатонаціональних екіпажів з різним рівнем кваліфікації моряків, зажадали зміни традиційного розподілу обов'язків і відповідальності на суднах.

У зв'язку з цим виникає необхідність навчання командного складу загальним принципам забезпечення безпеки праці під час виконання будь-яких видів робіт. Плавсклад навчається техніці безпеки в морехідних школах стосовно до своєї професії. Незалежно від цього при прийомі на роботу члени суднових команд проходять у пароплавствах і судноплавних компаніях вступний інструктаж з техніки безпеки. Після навчання на робочих місцях безпечним прийомом роботи проводиться перевірка знань за спеціальностями.

Особам, що пройшли навчання, повинна видаватися письмова робоча інструкція з техніки безпеки відповідно до виконуваної роботи як за основною, так і за професійною посадою, що суміщається.

Для зниження травматизму на флоті важливого значення повинні набувати питання, пов'язані з пропагандою безпечних і безаварійних методів праці: громадські огляди, плакати, фотовітрини, технічні кабінети з куточками техніки безпеки.

Організація і проведення громадських оглядів повинні бути одним з ефективних засобів пропаганди і популяризації передових методів праці, важливим засобом привертання уваги моряків і берегового складу до питань охорони праці. Під час проведення громадських оглядів адміністрація повинна всіляко заохочувати масовий збір пропозицій, що спрямовані на подальше поліпшення умов і забезпечення безпеки праці. Такі огляди допомагають розкривати і вчасно усувати наявні недоліки в організації праці. Одним із популярних на флоті засобів наочної пропаганди безпечних методів праці є плакати агітаційно-інструктивного й учбово-методичного призначення. Плакати, а також навчальні кінофільми допомагають засвоювати загальні положення і вимоги техніки безпеки стосовно до конкретних професій. Ефективним методом пропаганди є фотовітрини, створювані для популяризації безпечних прийомів роботи і технічних удосконалень, що запропоновані раціоналізаторами.

Створення на судах технічних кабінетів із куточками з техніки безпеки дозволить зосередити в них масово-виховну роботу, проводити там бесіди й інструктажі з охорони праці, комплектувати новітню літературу, організовувати тематичні виставки, вікторини, фотовітрини, сатиричні аркуші. Проведення таких заходів сприяє розширенню технічної ерудиції моряків і підвищенню культури їхньої праці.

#### **4.2 Техніка безпеки при експлуатації судових технічних засобів**

Забезпечення нормальних і безпечних умов праці в машинно-котельних відділеннях (МКВ) суден досягається за рахунок доброї вентиляції, достатнього освітлення робочих місць і контрольно-вимірювальних приладів, чітко позначених основних і запасних виходів, спеціальних площадок, платформ, трапів з поручнями, вільних проходів між агрегатами, надійних захисних огорожень рухомих деталей механізмів. Плити настилів і площадок повинні бути добре закріплені на своїх місцях, вирізи в них надійно закриті. У випадку одержання пробоїни в районі днища судна і підвищення рівня води у ллялах машинного відділення на-

віть при незначному хвилюванні моря плити при ненадійному закріпленні можуть бути вибиті зі своїх місць, що може стати причиною травми членів екіпажу.

Запасні частини й інструменти, а також прутки, стійки і поручні повинні бути міцно закріплені на своїх штатних місцях. Знімати захисні огороження з працюючих механізмів забороняється. Теплова ізоляція гарячих частин машин і трубопроводів повинна бути справною, а трубопроводи пофарбовані у відповідні вирізнявальні кольори.

Рівні шуму в МКВ не повинні перевищувати допустимих. Необхідно інструктувати моряків про те, наскільки небезпечно знімати навіть на нетривалий час звукозахисні пристрої в приміщеннях із високим рівнем шуму. Якщо в таких місцях повинна проводитися робота, то необхідно до початку роботи погодити відповідну систему зв'язку. Там, де встановлений ЦПУ, двері повинні щільно закриватися, і засоби захисту органів слуху повинні застосовуватися завжди, коли потрібно перейти у приміщення з підвищеним рівнем шуму.

Вентиляція повинна підтримуватися на належному рівні, щоб забезпечувати необхідні параметри повітряного середовища у всіх приміщеннях. При цьому особливу увагу необхідно звертати на робочі місця і приміщення постів управління. Усі матеріали та інструменти, особливо великогабаритні, повинні бути ретельно покладені й закріплені для збереження в штормову погоду. Працюючи кувалдами чи важкими гайковими ключами, слід бути обережними, щоб не поковзнутися. Коли гайковий ключ повертають ударами кувалди, його слід підтримувати канатом чи підвішувати таким чином, щоб руки і тіло працюючого не могли потрапити під удар кувалди, що зісковзнула з ключа.

Конструкції механізмів і пристроїв повинні бути такими, щоб виключити можливість травмування персоналу (опіки, забиті місця, отруєння газами, падіння тощо).

Для проведення монтажних і ремонтних робіт над головними і допоміжними двигунами, а також у майстернях передбачають вантажопідйомні пристрої, за допомогою яких забезпечується переміщення частин устаткування і деталей для обробки на верстаті. Керівник робіт повинен стежити за тим, щоб робоче наван-

таження при підйомі не перевищувало гранично допустимого. Стропи повинні бути перевірені для виявлення розірваних чи перетертих пасів, а також повинні бути вжиті необхідні заходи для запобігання пошкодженню каната об гострі крайки. Там, де деталі піднімаються за вгвинчувані рими, необхідно стежити за тим, щоб нарізка рим-болтів була чистою та у справному стані, а нарізна частина була цілком вгвинчена і закріплена контргайкою перед тим, як здійснити підйом. Це особливо важливо при підйомі важких частин машинного устаткування. Необхідно стежити за тим, щоб перед установкою рим-болта весь нагар був вилучений з отвору. Якщо необхідно, слід прочистити різьбу мітчиком відповідного розміру.

Порядок управління краном машинного відділення повинен бути ясно викладений в інструкції, яка розташовується у безпосередній близькості від поста управління краном. Особи, що працюють із краном, повинні пройти інструктаж про систему умовних знаків. Особи, що беруть участь у вантажних операціях повинні знаходитися в безпечній зоні. Забороняється ходити в зоні переміщення вантажу, стояти під вантажем.

Переборки й устаткування МКВ офарблюються у світлі пастельні тони відповідно до рекомендацій технічної естетики.

Крім розглянутих конструктивних заходів безпеки, здійснюваних при проектуванні і створенні сучасних суднових технічних засобів, велике значення для профілактики травматизму має організаційне забезпечення безпеки праці плавскладу. Умови праці в машинних відділеннях суден багато в чому залежать від дисципліни моряків і точного дотримання вимог усіх нормативних документів по обслуговуванню механізмів і безпечному виконанню робіт. При роботі на суднових енергетичних установках необхідно орієнтуватися на 280 РД 31.21.30-83 «Правила технічної експлуатації суднових технічних засобів», а також на заводські й суднові інструкції. Приймаючи вахту, слід переконатися в справності механізмів і пристроїв. При несправній системі захисту і попереджувальної сигналізації включати в роботу машини й устаткування забороняється. Виявлені несправності необхідно по можливості швидко усунути, одночасно повідомити про це старшого механіка. При нещасному випадку необхідно надати першу допомогу потерпіло-

му і викликати лікаря. Аптечка в МКВ повинна бути укомплектована необхідними медикаментами.

Біля механізмів і машин неавтоматизованих суден на видних місцях повинні бути вивішені інструкції з техніки безпеки, а також схеми баластової, осушувальної і паливної систем, де вказано всі клапани (вентилі). Усі приміщення МКВ, а також ґрати, трапи і плити повинні утримуватися в чистоті. Пролиті на них воду, паливо й мастило слід негайно прибирати. Обтиральний матеріал приймається на судно тільки в сухому виді. Зберігати його слід в сухих і захищених від вогню приміщеннях. Необхідно завжди пам'ятати, що промаслене дрантя може самозайматися, тому забороняється розкидати його по МКВ, а також зберігати в рундуках разом з інструментами і деталями. Необхідно відразу після використання складати його у спеціальні металеві шухляди і після вахти виносити з МКВ. Деревину можна зберігати в місцях, де виключається можливість її загоряння. Бензин і гас у МКВ зберігати забороняється.

Усі робочі місця повинні бути освітлені відповідно до вимог санітарних правил. Особливу увагу при цьому слід звертати на освітлення кришок люків танків, лял та інших місць під плитами машинного відділення, де проходять труби. Рекомендується ці місця офарблювати світлою фарбою.

У випадку, якщо людина працює одна, вона повинна виходити на зв'язок з іншими членами команди у машинному відділенні чи на містку через певні проміжки часу.

Крім основного й аварійного освітлення, у МКВ завжди повинні бути в наявності й передаватися по вахті переносні акумуляторні ліхтарі напругою не вище 12 В.

Не можна захащувати проходи деталями, інструментами и інвентарем. З метою запобігання пожежі необхідно вести постійне спостереження за температурою у сховищах рідкого палива й мастила. Їх огляд дозволяється тільки після пропарювання і ретельної вентиляції. При цьому необхідно дотримуватися всіх заходів вибухо- і пожежної безпеки. Не рідше двох разів на рік необхідно контролювати справність самозакривних пристосувань вимірювальних труб паливних

цистерн, стан вогнезахисних запобіжників на газовідвідних трубах зі сховищ нафтопродуктів.

Одним із важливих заходів забезпечення безпеки при експлуатації пускових балонів, парових і повітряних магістралей є неухильне дотримання існуючого на флоті правила управління клапанами: необхідно відкривати клапан повільно, а закривати швидко. Слід перевіряти справність і надійність відкривання та закривання всіх клапанів, вентилів, засувок. При розбиранні клапанів трубопроводів і цистерн не дозволяється знімати гайки з різьби до повного стравлювання з ємностей тиску робочого середовища й осушення внутрішніх поверхонь. Дотримання цього запобіжного заходу необхідно у зв'язку з тим, що при розкриванні може зненацька вирватися пара, конденсат чи газ, що зібрався в трубопроводі чи цистерні. Перед збиранням необхідно переконатися в тому, що всередині трубопроводу чи ємності немає сторонніх предметів (болтів, ключів, дрантя), а також механічних ушкоджень прокладок і фланців. При задраюванні необхідно використовувати всі штатні гайки. Будь-який клапан на кожній розкритій ділянці трубопроводу повинен бути цілком перекритий і узятий на замок на весь час, поки ділянка залишається відкритою, а також, якщо це необхідно, слід установити попереджувальний напис.

При розбиранні чи збиранні паливних або масляних шлангів та трубопроводів необхідно застосовувати інструмент, що не дає при ударах іскри. Не дозволяється проводити роботи, що супроводжуються навіть слабкими ударами (рубання, карбування), у безпосередній близькості від трубопроводів і резервуарів, що знаходяться під тиском. Розкривати горловини паливних резервуарів можна тільки з відома старшого механіка, а горловини водяних танків – старшого помічника капітана. Результати огляду танків фіксуються в машинному і судновому журналі. Приймати паливо можна тільки при наявності документа про проходження чергового випробування прийомних шлангів на міцність, а також наявності у паливному сертифікаті відомостей про температуру спалаху. У місцях можливих крапельних утічок палива повинні бути встановлені піддони, які необхідно очищати відразу після закінчення робіт.

При роботах у приміщеннях МКВ персонал повинен носити спецодяг, безпечне не ковзке взуття з твердим носком на шкіряній підошві, без сталевих цвяхів і головний убір. При виконанні робіт у місцях, де можливе травмування голови, необхідно одягати захисні каски. Не дозволяється надягати краватки, шийні пов'язки, а також закручувати рукава сорочок, комбінезонів. Персонал зобов'язаний носити відповідні захисні окуляри і протипилову маску при шліфуванні, струганні, виконанні курних і брудних робіт (видалення шумовиння в котлі чи ручне очищення іржі). Усі плями від мастил чи продуктів очищення повинні бути ретельно вилучені зі шкіри тіла із застосуванням тільки відповідних миючих засобів. Ні в якому разі не можна з цією метою застосовувати гас і бензин.

Палити в МКВ забороняється. Вхід в МКВ стороннім особам без дозволу старшого (головного) чи вахтового механіка заборонений.

Не можна здійснювати миття і фарбування машинної шахти на ходу судна з підвісок чи риштувань. Перед входом до машинних відділень суден з автоматизованим управлінням енергетичних установок має бути застережливий напис: «Увага! Механізми пускаються автоматично. Будьте обережні!» Обслуговування машинних відділень автоматизованих суден з вахтою в ЦПУ і безвахтове обслуговування мають певні особливості, пов'язані з необхідністю підвищеної уваги членів суднових команд. При запуску механізмів із ЦПУ необхідно сповіщати про це людей, що знаходяться в машинному відділенні.

Якщо механізми пускаються чи зупиняються з машинного відділення, про це інформується вахтовий механік, що знаходиться в ЦПУ.

При безвахтовому обслуговуванні й автоматичному включенні та вимиканні механізмів персонал повинен мати особливу підготовку з техніки безпеки праці в машинному відділенні автоматизованого судна.

### **4.3 Загальні вимоги до використання і безпечного обслуговування суднових технічних засобів**

Допускається готувати до дії тільки справні суднові технічні засоби (СТЗ). При несправному стані СТЗ повинна бути вивішена попереджувальна табличка: «Несправність! Введення в дію заборонено».

Підготовка СТЗ до дії з метою забезпечення безпеки праці повинна включати ретельний зовнішній огляд. Необхідно переконатися у відсутності сторонніх предметів і в тому, що вмиканню і пуску ніщо не перешкоджає. Штатні контрольно-вимірювальні прилади (КВП) не повинні мати видимих ушкоджень. Підготовка до роботи технічних засобів при відсутності штатних приладів або при несправному їх стані забороняється. На шкалах приладів повинні бути нанесені мітки, що вказують граничні значення вимірюваного параметра і при необхідності – небезпечні і заборонені зони роботи.

При підготовці автоматизованих СТЗ до дії після тривалого неробочого періоду повинна бути перевірена працездатність засобів автоматизації, включаючи засоби аварійно-запобіжної сигналізації і захисту.

Якщо під час пуску агрегату від людей, що знаходяться поряд, потрібна особлива обережність і увага, то про пуск такого агрегату має бути зроблене відповідне попередження.

Після введення в дію СТЗ потрібно перевірити показання всіх КВП і в разі потреби відрегулювати навантаження і параметри робочих середовищ, а також переконатися у відсутності ненормальних шумів, стуків і вібрації. Коли контрольовані параметри досягнуть робочих значень, слід переконатись у зникненні світлових і звукових аварійних сигналів. Режим роботи СТЗ повинен встановлюватися з урахуванням безпечних умов експлуатації таким чином, щоб значення контрольованих параметрів не виходили за встановлені межі. Необхідно прагнути встановити такий режим, який при виконанні СТЗ заданих функцій забезпечував би його найбільш безпечну, надійну й економічну роботу.

Під час дії СТЗ повинно вестися спостереження за їхньою роботою за показниками КВП і сигналами аварійно-запобіжної сигналізації, а також шляхом огляду, прослуховування і «обмацування». Забороняється відключати пристрої аварійно-запобіжної сигналізації й автоматичного захисту, за винятком випадків, спеціально обумовлених у відповідних пунктах інструкцій з експлуатації. При несправностях цих пристроїв за працюючим СТЗ слід встановити посилене спостереження, яке забезпечує його безпечну і безаварійну роботу. При недостатній впевненості у правильності показань КВП чи установки засобів аварійно-запобіжної сигналізації і захисту повинні бути вжиті заходи, що виключають аварію СТЗ, аж до його зупинки чи виведення з роботи. Прилад повинен бути замінений чи перевірений, а установка відрегульована.

У випадку появи при роботі СТЗ ненормального шуму, стукоту, вібрацій, нагрівання або при виході значень контрольованих параметрів за припустимі межі треба вжити негайних заходів, аж до виведення СТЗ з роботи, для з'ясування й усунення несправності. Операції по виведенню з дії (зупинці) СТЗ повинні здійснюватися у послідовності, що встановлена інструкцією з експлуатації. У випадку загрози людському життю, аварії судна або технічного засобу необхідним є екстрене виведення СТЗ із дії.

При плануванні робіт з технічного обслуговування СТЗ слід керуватися діючими нормативними документами.

#### **4.4 Техніка безпеки при експлуатації суднових дизелів**

Двигуни внутрішнього згоряння повинні обслуговуватися з дотриманням техніки безпеки і регулярно проходити перевірку на знос деталей, ушкодження підшипників і ослаблення кріплень.

При експлуатації дизелів повинні виконуватися вимоги, які викладено в діючих нормативних документах, а також в інструкціях заводів-виробників.

Готуючи дизельну установку до пуску, необхідно ретельно оглянути головний двигун, допоміжні механізми, КВП автоматичні і сигнальні пристрої. Перед

включенням валоповоротного пристрою слід переконатися у відсутності людей у картері і на рухомих частинах двигуна. У будь-якому випадку на органах управління двигуна повинна бути вивішена табличка з попереджувальним написом про те, що валоповоротний пристрій включений чи вимкнений. Для забезпечення безпечної роботи енергетичної установки необхідно перевірити дизель валоповоротним пристроєм на 2...3 оберти, потім перевірити його дію стисненим повітрям і зробити пробні пуски двигуна на передній і задній хід, переконавшись у відсутності води або палива в циліндрах. Перед пробними запусками необхідно відключити валоповоротний пристрій і закрити індикаторні крани, а також переконатися у справності форсунок, пускових, всмоктувальних і форсункових клапанів. Заїдання голок форсунок, пропуски повітря у повітряній магістралі, нещільні посадки клапанів у своїх гніздах можуть стати причиною небезпечних вибухів у циліндрах двигуна та у повітропроводі. Для забезпечення безпеки праці при обслуговуванні двигуна зазначені несправності слід негайно усунути.

Небезпека вибуху може виникнути у випадку попадання палива в циліндри при прокачуванні паливних насосів із закритими контрольними клапанами форсунок. Тому заповнювати паливні трубопроводи і прокачувати паливні насоси дозволяється тільки при відкритих контрольних клапанах.

При наявності механізмів дистанційного управління дизелем пробні пуски слід робити з усіх постів управління.

Пробні пуски двигуна можна робити тільки після одержання дозволу від вахтового помічника капітана, переконавшись у відсутності людей під кормовим підзором, а також шлюпок та інших плавзасобів.

Перед пуском двигуна необхідно перевірити справність апаратури автоматики, сигналізації і захисту двигуна, а також усіх його систем. Виявлені течі та пропуски в паливній арматурі й паливопроводах необхідно негайно усунути.

При заповненні пускових балонів повітрям необхідно стежити за тим, щоб тиск у балонах не перевищував встановлений. Повітряні балони й арматуру необхідно оберегти від ударів і ушкоджень. Щоб уникнути скупчення у повітропроводах парів палива небезпечної концентрації, їх очищають парою чи миючими хімічни-

ми засобами з подальшою продувкою стисненим повітрям. При одержанні балонів зі стисненим повітрям з берега необхідно переконатися в тому, що в них знаходиться повітря, а не кисень чи який-небудь інший пальний газ.

Під час пуску двигуна, щоб уникнути опіків, не рекомендується знаходитися поблизу запобіжних клапанів ресивера, а також на верхніх гратах біля циліндрових кришок на шляху можливого потоку газу, що прорвався. Для здійснення контролю роботи двигуна на рівні верхніх грат слід визначити безпечне місце, зручне для огляду.

Після пуску дизеля на паливі необхідно переконатися в тому, що пускові клапани закриті. При відкритих пускових клапанах (зависання їх тощо) прорив гарячих газів у повітропровід може привести до вибуху і важкої аварії. Ознаками цього явища є падіння тиску пускового повітря і нагрівання трубопроводу, що веде до пускового клапана.

Якщо при пуску двигуна з'являться різкі стукає, пропуски газів та інші відхилення в роботі, його необхідно негайно зупинити. Після виявлення й усунення несправності двигун може бути знову запущений у роботу.

Присутність сторонніх осіб у машинному відділенні судна заборонено.

Неправильне обслуговування двигуна, особливо в початковий період його роботи, може привести до аварії дизеля. Так, скорочення часу прогріву і передчасне форсування навантаження двигуна може привести до задирів чи заклинювання поршнів. Форсування навантаження непрогрітого двигуна допускається тільки у виняткових випадках, пов'язаних із забезпеченням безпеки судна або загрозою людському життю.

При виведенні дизеля на номінальний режим необхідно якнайшвидше проходити зону критичної частоти обертання двигуна, зазначену в інструкції з обслуговування. Робота двигуна на критичній частоті обертання, відзначеній на тахометрі червоним сектором, категорично забороняється.

У процесі роботи двигуна необхідно стежити за справністю запобіжних і редуційних клапанів, регуляторів безпеки, за безвідмовною дією допоміжних механізмів, не допускаючи витоків води, мастила, палива і газів через з'єднання

трубопроводів. При прориві вихлопних газів у машинне відділення необхідно підсилити роботу витяжної вентиляції й усунути пропуск газів.

При раптовому зниженні тиску мастила в системі мащення дизеля необхідно його негайно зупинити й усунути несправність. У випадку виявлення підтікання в трубопроводах, що підводять паливо до форсунок, забороняється, щоб уникнути травми, обмацувати трубки і закривати рукою місце розриву трубок.

Небезпечним є різке спонтанне збільшення частоти обертання валу двигуна, яке стало результатом втрати чи поломки лопатей гвинта, а також раптового оголення його при сильному хвилюванні моря. Якщо при цьому не спрацьовує граничний регулятор, необхідно зменшити подачу палива. При збільшенні частоти обертання понад максимальну, відзначену на тахометрі червоною рисою і вказану в інструкції з експлуатації, необхідно зменшити частоту обертання чи зупинити дизель.

Велику небезпеку становить мастило, що зібралося в продувному пристрої двотактного дизеля. Якщо продувне повітря буде заносити мастило в циліндри, то може статися серія вибухів і двигун піде врознос навіть при вимиканні подачі палива. У цьому випадку для швидкої зупинки двигуна треба закрити доступ повітря у продувний насос чи будь-який орган забору повітря на двигун. Для запобігання такій небезпеці необхідно регулярно контролювати наявність масла в ресивері та вчасно видаляти його.

Щоб уникнути травм, не можна протирати дрантям рухомі деталі працюючого двигуна та інших механізмів. У процесі роботи дизеля забороняється відкривати люки картера, чистити й обтирати деталі. Не дозволяється також підкачувати вручну паливо в циліндри працюючого двигуна. Під час продування індикаторних кранів циліндрів дизеля слід знаходитися осторонь від струменя газу. Регулювання і ремонт форсунок, а також впускних і випускних клапанів робочих циліндрів у процесі роботи двигуна не допускається.

Після зупинки двигуна, перш ніж приступити до огляду і робіт у картері, необхідно вжити всіх заходів, що виключають можливість запуску чи повертання валу дизеля до повного закінчення робіт. Для цього необхідно закрити запір-

ний клапан на пусковій повітряній магістралі, перекрити доступ палива до двигуна ввести в зачеплення валоповоротний пристрій, вивісити попереджувальну табличку біля пульта управління дизеля про перебування людей у картері.

При огляді двигуна люки гарячого картера з метою безпеки можуть бути відкриті не раніше, ніж через 15...20 хвилин після зупинки дизеля. Картерні кришки масою понад 20 кг при відсутності механізованого привода повинні відкривати і закривати не менше двох осіб.

Для забезпечення безпеки праці розкритий картер дизеля необхідно ретельно провентилувати. Поблизу картера забороняється проводити роботи з відкритим вогнем (газорізання, електрозварювання та ін.).

При пуску на судні одного з двигунів двохвальної установки необхідно надійно застопорити валопровід зупиненого двигуна і попередити про це працюючих на ньому людей. Таких же заходів треба вжити для забезпечення безпеки й у випадку зупинки для огляду чи ремонту одного з двигунів двохвальної установки.

Якщо необхідно зупинити один із двох двигунів, що працюють на загальний гребний вал через гідромуфту, то спочатку його відключають від гідромуфти, потім включають у зачеплення його валоповоротний пристрій і на пульті управління вивішують табличку: «Не включати – працюють люди!».

Неправильна експлуатація двигунів часто приводить до небезпечних перегрівів їхніх деталей, що може викликати вибух у картерах дизелів. Запобігти вибухам у картерах можна шляхом раціональної їх вентиляції, систематичного контролю технічного стану деталей, що нагріваються, введенням в картер інертних газів і здійсненням ряду конструктивних заходів щодо забезпечення безпеки: установка запобіжних клапанів, розділових сіток у кривошипних камерах, що послаблюють силу вибуху тощо.

У випадку появи сигналу детектора «масляного туману» чи «густого білого туману» з сигнальної (вентиляційної) труби картера необхідно повторно перевірити спрацьовування детектора відповідно до вказівки інструкції з експлуатації. З повторною появою сигналу детектора «масляного туману» слід зупинити дизель, не відключаючи насоси мащення й охолодження. Особам, що знаходяться у

машинному відділенні, потрібно вжити заходів, що забезпечують безпеку у випадку вибуху в картері, підготувати засоби пожежогасіння.

Після зникнення ознак небезпечної концентрації масляного туману, але не раніше ніж через 20 хвилин після зупинки дизеля, необхідно виключити масляний насос і відкрити щити картера для визначення причин утворення масляного туману.

При зупинці двигуна на тривалий період необхідно повернути його вал валоповоротним пристроєм і закрити індикаторні крани.

При спуску людей у циліндри двигуна для виконання оглядів, вимірів та інших робіт необхідно використовувати призначені для цього трапи.

Проводити роботи з опресовування форсунок двигунів потрібно тільки на обладнаних для цього стендах з дотриманням рекомендованих інструкцією заходів для забезпечення безпеки.

#### **4.5 Безпечна експлуатація іншого допоміжного устаткування**

Суднові допоміжні механізми і пристрої відіграють вирішальну роль у забезпеченні надійної роботи енергетичної установки, а також безпечної експлуатації судна в цілому.

У процесі експлуатації допоміжних механізмів і пристроїв для забезпечення безпеки праці необхідно керуватися загальними рекомендаціями для цієї групи суднового устаткування, що забороняють вводити в дію механізми при наявності несправностей; зазорів у з'єднаннях деталей, які перевищують гранично допустимі в експлуатації; застосовувати мастильні матеріали, що не відповідають заводським характеристикам; робити на ходу механізму обтискання сальникових втулок; вимірювати зазори, вибирати слабіну в з'єднуваних деталях; наносити удари (навіть легкі) по трубопроводах, арматурі, що знаходяться під тиском.

Як конструктивні елементи суднових систем використовуються насоси, вентилятори, компресори, запірно-регулювальна арматура тощо. Найбільш великою групою допоміжних механізмів є насоси, за допомогою яких здійснюється пере-

качування по трубопроводах різних рідин і сумішей. Головним приводом насосів є електродвигун, на парових суднах застосовуються парові двигуни; рідше як приводи використовуються дизелі.

Питання безпечного обслуговування електродвигунів, дизелів і турбін були розглянуті вище. Послідовність операцій, порядок підготовки до роботи, пуску і зупинки парових машин, використовуваних як привод допоміжних механізмів мало відрізняються від правил обслуговування парових турбін. Насоси повинні використовуватися для перекачування тільки тих видів рідин, що передбачені заводськими інструкціями. Поршневі насоси об'ємної дії завдяки ряду позитивних якостей (простота конструкції, надійність, високий ККД) знайшли широке застосування в суднових системах.

Перед пуском насоса необхідно переконатися, що обслуговувані ємності підготовлені до прийому перекачуваної рідини і що забезпечено її безперешкодне надходження до прийомного патрубку всмоктувального трубопроводу. Не рідше одного разу на місяць слід перевіряти роботу запобіжного (пропускного) клапана, встановленого на нагнітальній порожнині насоса.

Перед пуском паровий прямодіючий насос слід ретельно оглянути, відкрити клапан відпрацьованої пари, крани продування циліндрів і золотникових коробок, потім на нагнітальному і всмоктувальному трубопроводах. Паровий привод насосів повинен бути прогрітий і продутий. Продування вважається закінченим, якщо циліндр нагрітий і з кранів продування йде суха пара. Прискорювати підготовку до пуску за рахунок скорочення часу прогрівання забороняється.

З метою забезпечення безпеки праці забороняється ударяти по штоках чи муфтах металевими предметами для пуску в хід парового прямодіючого насоса, а також приводити насос у рух вручну (за допомогою ломиків та інших важелів) при незакритому клапані свіжої пари, а також стояти проти продувних кранів під час продування парового привода.

Регулювання продуктивності й напору повинне здійснюватися по можливості зміною числа подвійних ходів. Насос повинен бути негайно зупинений з появою вібрації, шумів і стуків, у випадку різкого підвищення чи падіння тиску у на-

гнітальному трубопроводі, нагрівання якої-небудь деталі, а також при виявленні несправності в роботі приводного двигуна. З появою несправності в роботі системи, що обслуговується насосом, чи в самому насосі повинні бути вжиті заходи для її усунення.

При зупинці насоса необхідно виключити приводний двигун, закрити клапани на нагнітальному і всмоктувальному трубопроводах, обтерти й оглянути насос.

При підготовці до пуску електроприводного поршневого насоса необхідно переконатися у надходженні масла до місць його підведення, відкрити клапани на нагнітальному і всмоктувальному трубопроводах, перевірити стан приводного з'єднання і наявність захисного огороження. Пустити в хід електродвигун.

При підготовці до пуску плунжерних насосів, що працюють у гідравлічних системах, необхідно перевірити рівень мастила в компенсаційному баку, переконатися у відсутності повітря в системі та пропуску мастила. При роботі насосів споживана потужність, контрольована амперметром, і тиск у системі повинні знаходитися у встановлених межах. Під час роботи насосів необхідно стежити за наявністю повітря у повітряних ковпаках і контролювати наявність мащення тертьових деталей і температуру нагрівання.

Перед зупинкою парового насоса необхідно подати мащення в циліндри, закрити клапан свіжої пари, відкрити продування циліндрів; потім закрити клапан відпрацьованої пари; після остигання насоса закрити кран продування.

Для полегшення орієнтації обслуговуючого персоналу в системах уся запірно-регулююча арматура повинна бути оснащена зрозумілими показниками напрямків її відкривання і закривання. Ремонт і обтирання деталей насоса дозволяються тільки після відключення приводного двигуна і повного виведення насоса з дії.

При обслуговуванні роторних насосів об'ємної дії (шестеренні, гвинтові, лопатеві) необхідно виконувати рекомендації щодо забезпечення безпеки праці, розглянуті вище.

Відцентрові насоси, що відносяться до класу лопатевих, мають ряд істотних переваг перед поршневими. Більшість відцентрових насосів працюють з гідравлічним підпором або забезпечені самовсмоктувальними пристроями. Насоси такого типу запускаються при закритому клапані на нагнітальному трубопроводі. Перед пуском насоса необхідно здійснити ретельний огляд, переконатися у відсутності осьового зміщення ротора і перевірити заправку і справність системи мащення. Забороняється тривала робота насоса при закритому клінкеті, тому що це приводить до його перегріву. Якщо насос не має самовсмоктувального пристрою, то перед його пуском необхідно здійснити заливку всмоктувального трубопроводу і порожнини робочого колеса. Заливання має супроводжуватися випуском повітря через повітряні крани. У самовсмоктувальному насосі необхідно перевірити підсосувальний пристрій і або включити його в дію, або підготувати до дії (залежно від типу і конструкції).

Регулювання подачі напору насоса перекриттям клапана на всмоктувальному трубопроводі не рекомендується, тому що це може привести до кавітаційних руйнувань робочої поверхні крилатки і зриву потоку.

У процесі роботи насоса необхідно контролювати показання КВП і лічильника частоти обертання. Значне коливання стрілки манометра на нагнітальному трубопроводі вказує на наявність у насосі повітря.

Різкі зміни в показаннях амперметра при показаннях манометрів, що не змінюються, можуть свідчити про механічні несправності насоса – «заїдання» у підшипниках і ущільненнях коліс, сальниках, вакуумному пристрої. Помічені в процесі експлуатації насосів відхилення повинні бути негайно усунуті.

При безпечному обслуговуванні вихрових насосів слід керуватися вищевикладеними рекомендаціями, з тією лише різницею, що запуск вихрового насоса має здійснюватися при відкритому нагнітальному клапані. При зупинці насоса слід закривати нагнітальний клапан, щоб уникнути спорожнення насоса і трубопроводу.

При введенні в дію установки, що обслуговується парострумінним повітряним ежектором, спочатку пускається його остання ступінь. Надалі для створення

більш глибокого вакууму включаються послідовно друга і перша ступені. При наявності двох пароструминних ежекторів, один з яких резервний, для прискорення створення розрідження можна включати в дію одночасно (на паралельну роботу) обидва ежектори. Для забезпечення безпечної і надійної роботи пароструминного ежектора необхідно вести спостереження за вакуумом, тиском пари, температурою охолоджувальної води (конденсату), виходом повітря (пароповітряної суміші) з атмосферної труби, а також контролювати дію дренажної системи для видалення конденсату з охолоджувачів ежекторів.

Під час роботи водоструминного ежектора необхідно вести спостереження за рівнем робочого тиску рідини, не допускаючи підвищення протитиску (напору) вище зазначеного в інструкції з експлуатації. При обслуговуванні переносних ежекторів не можна допускати перегинів і заломів всмоктувальних і нагнітальних шлангів.

У процесі роботи інжектора необхідно вести спостереження за вістовою трубою. Якщо спостерігається велике пропускання пари чи води, слід здійснити повторний пуск інжектора. При зриві роботи інжектора від перегріву необхідно припинити подачу пари до інжектора й остудити його. Температура живильної води, яка подається до інжектора, не повинна перевищувати 70 °С.

При підготовці до дії і пуску поршневого повітряного компресора необхідно перевірити рівень масла в картері, подати воду на охолодження компресора і проміжних повітроохолоджувачів, відкрити крани продувки і запірний клапан повітроохолоджувача. Забороняється запуск компресора при одночасно закритих клапанах продувки і запірному клапані повітроохолоджувача.

Після пуску приводного двигуна і досягнення номінальної частоти обертання необхідно закрити всі крани продувки. У процесі роботи компресора треба стежити за системами змащення й охолодження. Для мащення слід застосувати спеціальні компресорні мастила відповідно до інструкції з експлуатації. Продувати першу і другу ступені стиску компресора необхідно після кожної години роботи, а в тропічних широтах — через кожні 30 хвилин. Зміна тиску повітря після

проміжних ступенів є наслідком несправності клапанів, про це свідчить нагрівання всмоктувального патрубку.

Надмірне надходження мастила в циліндри, погане охолодження повітря і несвоєчасна продувка можуть приводити до утворення вибухонебезпечної суміші парів масла й повітря у трубопроводах та охолоднику повітря. Компресор слід негайно зупинити при різкому падінні тиску масла в циркуляційній системі, перегріві тертьових поверхонь деталей, підвищенні температури вихідної охолоджувальної води вище рекомендованої, підвищенні тиску стиснутого повітря понад допустимий, наявності сторонніх шумів і стуків. Після зупинки неавтоматизованого компресора слід закрити клапани системи охолодження і запірний клапан охолодника повітря, відкрити клапани продування для стравлювання повітря з напірної магістралі й компресора.

Порушення інструкцій з експлуатації компресорів високого тиску є особливо небезпечним, тому що найменші несправності в їхній роботі можуть викликати вибух і руйнування суднових конструкцій.

Обслуговування сепараторів повинне проводитися відповідно до заводської інструкції. Не рідше одного разу на рік слід проводити дефектоскопію їхніх конструктивних елементів. Пуск сепаратора при неочищеному барабані забороняється. Перед його пуском необхідно перевірити рівень масла в картері, звільнити гальмо барабана і стопорні гвинти сепаратора, підготувати системи, підігрівники масла та автономні насоси. Якщо сепаратор зібраний на очищення від води (пурифікацію), то для створення водяного затвора треба залити барабан водою, потім відкрити клапан на трубопроводі випуску чистого мастила (чи налива), включити електромотор сепаратора. Після набору барабаном сепаратора повної частоти обертання подати масло (паливо) на сепарацію і відкрити клапан для спуска води. У процесі роботи необхідно стежити за показаннями КВП, а також постійно контролювати вібрацію сепаратора. Справний сепаратор працює з м'яким монотонним шумом, без струсів. Якщо в процесі роботи сепаратора будуть помічені вібрація і сторонній шум, його необхідно негайно зупинити.

Після вимикання сепаратора до повної зупинки його барабана не дозволяється ослаблювати гвинтові з'єднання і кріпильні деталі. Розбираючи сепаратор для очищення, деталі необхідно укладати тільки на м'які чи дерев'яні підставки.

При одночасному розбиранні кількох сепараторів слід стежити за тим, щоб не переплутати деталі аби уникнути небезпечного порушення балансування барабанів. Очищення деталей роблять латунними шкребками або латунними щітками.

При збиранні сепаратора необхідно дотримуватися послідовності установки робочих тарілок за їхніми номерами, щоб уникнути появи вібрації при роботі. Особливу увагу слід звертати на стан нарізних з'єднань барабана і вертикального валу.

#### **4.6 Організація пожежної безпеки на суднах**

Боротьбою з пожежами називається комплекс технічних і організаційних заходів, що проводяться з метою запобігання пожежі, обмеження поширення вогню і створення умов безпечної евакуації людей.

Найбільш важливою частиною протипожежного захисту суден є протипожежна профілактика. Вона включає комплекс активних організаційних заходів щодо боротьби за живучість судна і питання конструктивного протипожежного захисту (КПЗ). Основою організації боротьби за живучість судна є вимоги Міжнародного кодексу по управлінню безпечною експлуатацією суден і запобіганням забрудненню (МКУБ-94, ISM-Code), Конвенції SOLAS-74, Статуту служби на морських суднах, НБЖС (РД 31.60.14-81), а також класифікаційних товариств судноплавства. За вимогою Конвенції SOLAS-74 на кожному судні повинен бути план протипожежного захисту судна і план дій екіпажу при оголошенні пожежної тривоги (FIREPLAN), складений на національній і англійській мовах, один екземпляр якого розміщується у доступному місці.

Відповідно до цих документів, складається розклад по тривогах, що встановлює обов'язки для кожного члена екіпажу судна, який під розписку інформується про його дії при оголошенні пожежної тривоги.

Усі профілактичні протипожежні заходи, що проводяться на судні, інформація про протипожежні конструкції судна, системи пожежної сигналізації, системи виявлення пожежі й пожежні проходи із вказанням всіх приміщень на кожній палубі, повинні знайти відображення в судовому пожежно-контрольному формулярі FIREPLAN і папці керівних документів по боротьбі за живучість судна. На всі судові приміщення розробляються відповідними підрозділами судноплавної компанії оперативні плани (ОП), що доводяться до кожного члена екіпажу під розписку. Один екземпляр цих планів знаходиться в папці керівних документів на головному командному пункті (ГКП), інші екземпляри – у командирів аварійних партій і груп.

Командний склад судна, призначений керувати операціями по боротьбі з пожежею, повинен пройти підготовку з методів боротьби з пожежею за розширеною програмою, звертаючи увагу на організацію, тактику й управління, і показати компетентність, що дозволяє йому їм прийняти на себе виконання завдань, обов'язків і відповідальності відповідно до вимог розділу A-VI/3 Міжнародного Кодексу STCW-Code78/95.

До основних завдань сфери компетентності належать:

- керівництво операціями по боротьбі з пожежею на судах;
- організація і підготовка пожежних партій;
- перевірка і обслуговування систем і устаткування для виявлення пожежі й пожежогасіння;
- розслідування і складання доповідей про інциденти, пов'язані з пожежею.

З метою методологічного забезпечення вивчення курсу по боротьбі з пожежами на судах необхідно враховувати рекомендації спеціальної моделі курсу IMO 2.03 Advance Training in Fire Fighting. До проходження цього курсу необхідно пройти базову підготовку по боротьбі з пожежею Basic Fire Fighting, що є однією із складових частин курсу «Вживання в екстремальних умовах» відповідно до підрозділу A-YI/1-2 «Специфікація мінімального стандарту компетентності в області протипожежної безпеки і боротьби з пожежею» Кодексу STCW-Code78/95.

Головна роль у забезпеченні пожежної безпеки суден приділяється екіпажу. При цьому треба враховувати, що члени екіпажу не є професійними пожежниками, тому піддавати їх невиправданому ризику неприпустимо. Ризик виправданий тільки у випадку порятунку інших людських життів. Тому всі члени екіпажу при надходженні на судно обов'язково одержують інструктаж з пожежної профілактики. Вони повинні добре знати устрій, призначення і розташування на судні пожежного інвентарю, установок пожежогасіння, постів сигналізації, пожежного інструмента, а також своє місце й обов'язки у випадку пожежної тривоги.

На окремих і загальносуднових навчаннях з пожежної безпеки, на заняттях і тренуваннях здійснюється відпрацьовування практичних навичок з ліквідації пожежі в кожному судновому приміщенні; чітких дій в різній обстановці (у простих чи ускладнених умовах), уміння використовувати пожежний інвентар, устаткування, а також засоби індивідуального захисту. При проведенні загальносуднових навчань у морі або в портах рекомендується застосовувати засоби імітації пожеж («Вогнище пожежі», «Спалах», нейтральні дими тощо). При цьому необхідно передбачити заходи безпеки, що виключають можливість фактичної аварії судна і травмування людей під час навчань.

Протипожежний режим суднових приміщень характеризується низкою особливостей, обумовлених ступенем їх пожежної небезпечності. Тому командний склад судна повинен добре орієнтуватися в суднових приміщеннях, досконально вивчити устрій і конструктивні особливості судна, межі протипожежних зон. Кожен командир повинен знати правила використання усіх засобів пожежогасіння, а також заходи для запобігання пожежам і способи боротьби з вогнем. До обов'язків командного складу входить також підготовка і навчання підлеглих осіб боротьбі за живучість судна.

Для боротьби з пожежами, водою і всілякими ушкодженнями суднових технічних засобів на кожному судні створюються аварійні партії. Кількість аварійних партій залежить від розмірів і призначення судна, а також від чисельності екіпажу. При чисельності екіпажу більше 100 чоловік створюється 3 аварійні партії, при чисельності 50...100 осіб – дві аварійні партії й одна група для машинного

відділення, при чисельності 15...50 чоловік – 1 аварійна група. На сучасних транспортних суднах, де чисельність екіпажу звичайно не перевищує 20 осіб, створюється одна аварійна партія.

Розподіл членів екіпажу по аварійних партіях і групах здійснюється з урахуванням їх досвіду роботи на суднах та інших ділових якостей. Кожному члену аварійної партії визначається коло обов'язків, що фіксуються «Розкладом по тривогах» у відповідних планах і в каютній картці. Розробляється і здійснюється система патрулювання по судну.

При звільненні частини екіпажу на берег створюється аварійна щодобова стоянкова партія чи група. Виходячи з конкретних умов і чисельності екіпажу, при стоянці судна на рейді аварійна стоянкова партія (група) повинна створюватися, виходячи з третини екіпажу, а при стоянці біля причалу – не менше 1/5 частини екіпажу. Командирами аварійних груп і партій призначаються особи командного складу. Командиром аварійної стоянкової партії є вахтовий помічник капітана, а його заступником – вахтовий механік.

Відповідальність за пожежну безпеку судна покладена на капітана. Обов'язки осіб командного і рядового складу визначаються розкладом по суднових тривогах.

У випадку пожежі загальне керівництво боротьбою за живучість судна з головного пожежного поста (як правило, ходового містка) здійснює капітан. Він організує боротьбу екіпажу з пожежею і направляє його діяльність на виявлення місця і розмірів пожежі, установлення наявності і можливості евакуації людей з палаючих приміщень, обмеження поширення вогню по судну, і ліквідацію наслідків пожежі. Старший помічник капітана керує носовою і кормовою аварійними партіями, групами розвідки і водотічності, пунктом медичної допомоги, групою охорони порядку і евакуації (на пасажирських суднах).

Старший (головний) механік зобов'язаний забезпечувати живучість судна, постійну справність і готовність суднової енергетичної установки і всіх стаціонарних засобів гасіння пожеж.

Завідувачі приміщеннями й окремими частинами судна зобов'язані підтримувати в них протипожежний режим, доповідати вахтовій службі про помічені несправності і контролювати усунення неполадок у приміщеннях, що знаходяться в їхньому завідуванні. На доступних для огляду місцях повинні бути вивішені оперативно-тактичні документи з пожежогасіння, схеми шляхів евакуації людей з приміщення, суднових систем.

Аварійні та пожежні пости повинні постійно бути цілком укомплектовані відповідним майном. Аварійні пости фарбують синьою фарбою, чи наноситься синя смуга та забезпечуються написом «Аварійний пост» (EMERGENCY EQUIPMENT), пожежні пости фарбуються червоною фарбою і забезпечуються написом «Пожежний пост» (FIRE STATION) або знаками – F, FE. Написи виконуються білою фарбою. Використання майна цих постів не за призначенням категорично забороняється. Двері й люки аварійних виходів і шляхи до них повинні мати чітке позначення, маркірування і написи (FIRE EXIT). Окремо позначаються місця для паління. Зварювальні роботи і роботи з відкритим вогнем можуть проводитися тільки з дозволу капітана судна й у повній відповідності з Правилами ведення вогневих робіт.

При виникненні пожежі подається пожежна тривога сигналами тривоги і по судновій трансляції. Якщо об'являються пожежні навчання, то про це повинно бути зроблене спеціальне попередження.

Таким чином, пожежна безпека суден багато в чому залежить від чіткої організації профілактичних протипожежних заходів, а також підготовленості екіпажів.

## ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі представлені результати, які узагальнюють теоретичні дослідження автоматизованого електропривода насоса системи охолодження суднового дизеля.

1. В ході виконання кваліфікаційної роботи, згідно поставлених завдань, розглянуто системи дизельних енергетичних установок. Виявлено, що у дизельних установках морських транспортних суден застосовуються виключно замкнені системи охолодження. Система охолодження призначена для охолодження деталей, які нагріваються від тертя та теплоти згоряння палива, і для відведення теплоти від робочих рідин. Для безперервної подачі води (прісної або заборотної), переміщення охолоджувальної води трубопроводами до місць охолодження використовують насоси: насоси прісної води та насоси заборотної води. Циркуляційним насосом прісна вода за внутрішнім контуром подається в блок циліндрів.

2. Побудовано функціональну схему автоматизованого електропривода насоса та наведено опис її елементів. В роботі використано одноконтурну систему керування з негативним зворотним зв'язком за напором/тиском. Застосування перетворювача частоти забезпечує ефективне використання асинхронного електродвигуна та його плавний пуск, виключає гідравлічні удари в гідросистемі.

3. Побудовано динамічну модель асинхронного електропривода насоса та виконано розрахунок параметрів її елементів. При побудові моделі асинхронного електропривода використано лінійну модель асинхронного електродвигуна, оскільки при стабілізації напору (тиску) система працює в малих відхиленнях щодо робочої точки стабілізації. При вирішенні завдання синтезу регулятора напору для автоматизованого електропривода насоса, з умов забезпечення бажаного/необхідного перехідного процесу, в роботі виконано налаштування на модульний (технічний) оптимум.

4. В роботі розглянуто динаміку автоматизованого електропривода насоса за допомогою MATLAB. Отримано перехідні характеристики. Аналіз результатів дослідження якості показав, що автоматизований електропривод має динамічні показники, які цілком задовольняють сформульованим у завданні вимогам:  $\sigma=0\%$  ( $\leq 5$ ),  $t_p=0,456\text{ с}$  ( $\leq 1$ ).

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. **Болдырев, О. Н.** Судовые энергетические установки. Часть I. Дизельные и газотурбинные установки. Учебное пособие [Текст]. – Северодвинск: Севмашвтуз, 2003. – 171 с.
2. **Кутьин, Л. И.** Автоматизация судовых дизельных и газотурбинных установок [Текст]. – Л.: Судостроение, 1973. – 382 с.
3. **Овчинников, И. Н.** Судовые системы и трубопроводы: Учебник [Текст] / И. Н. Овчинников, Е. И. Овчинников. – Л.: Судостроение, 1988. – 312 с.
4. Инструкции по эксплуатации и обслуживанию двигателей NVD 48 A2 и NVDS 48 A2. – Магдебург: SKL MOTOREN-UND SYSTEMTECHNIK AG, 1989.
5. Дизель 8NVD48U «Тропик». Технические условия на ремонт 452-56.064УР, 1977.
6. **Терехов, В. М.** Системы управления электроприводов [Текст] /В. М. Терехов, О. И. Осипов. – М.: Академия, 2005. – 300 с.
7. Асинхронные электродвигатели Lenze MD // Сайт Lenze. Приводная техника в Украине. – Режим доступа:  
[http://www.lenze.org.ua/pdf/motors/cat\\_mt\\_md\\_en.pdf](http://www.lenze.org.ua/pdf/motors/cat_mt_md_en.pdf)
8. Блоки управления ПЧ MCE/P // Сайт DAB Water Technology Russia. – Режим доступа: [https://dabpump.ru/upload/iblock/547/Cod\\_60145534.pdf](https://dabpump.ru/upload/iblock/547/Cod_60145534.pdf)
9. **Башарин, А. В.** Управление электроприводами: учеб. пособие для вузов [Текст] / А.В. Башарин, В.А. Новиков, Г.Г. Соколовский. – Л.: Энергоиздат, 1982. – 392 с.

10. **Дорф, Р.** Современные системы управления [Текст] / Р. Дорф, Р. Бишоп; пер. с англ. Б.И. Копылова. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2004. – 832 с.

11. **Іванов, Б. М.** Основи охорони праці на морському транспорті. Підручник для студентів вищих навчальних закладів [Текст] / Б. М. Іванов, М. О. Колегаєв, Ю. І. Касилов, О. І. Іванов. – Одеса: КОМПАС, 2003. – 416 с.

## ДОДАТОК А

### Мультимедійна презентація

Міністерство освіти і науки України  
Національний університет кораблебудування  
імені адмірала Макарова

Навчально-науковий  
інститут автоматики та електротехніки

#### Кваліфікаційна робота

на здобуття ступеня магістра  
на тему:

#### **«Автоматизований електропривод насоса системи охолодження суднового дизеля»**

Студент магістратури:

Хижняк В. В.

Керівник кваліфікаційної роботи

проф. каф. автоматики, д.е.н.,

магістра:

проф. Надточій І. І.

Миколаїв 2024

Рисунок А.1 – Слайд 1 мультимедійної презентації

## Мета роботи. Об'єкт і предмет дослідження

|                            |                                                                                                                                                            |
|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Мета роботи</b>         | Синтез системи керування електропривода насоса системи охолодження суднового дизеля.                                                                       |
| <b>Об'єкт дослідження</b>  | Перехідні процеси в асинхронному електроприводі насоса системи охолодження суднового дизеля.                                                               |
| <b>Предмет дослідження</b> | Структура та параметри регулятора напору/тиску асинхронного електропривода насоса системи охолодження суднового дизеля, які впливають на якість керування. |

Рисунок А.2 – Слайд 2 мультимедійної презентації

## Завдання дослідження

3

- 1 Розглянути системи дизельних енергетичних установок.  
Проаналізувати устаткування систем охолодження суднового дизеля.
- 2 Побудувати функціональну схему автоматизованого електропривода насоса та навести опис її елементів.
- 3 Побудувати модель асинхронного електропривода насоса та виконати розрахунок параметрів її елементів.
- 4 Провести моделювання асинхронного електропривода насоса в MATLAB та проаналізувати якість керування.

Рисунок А.3 – Слайд 3 мультимедійної презентації

## Схема системи охолодження двигуна

4

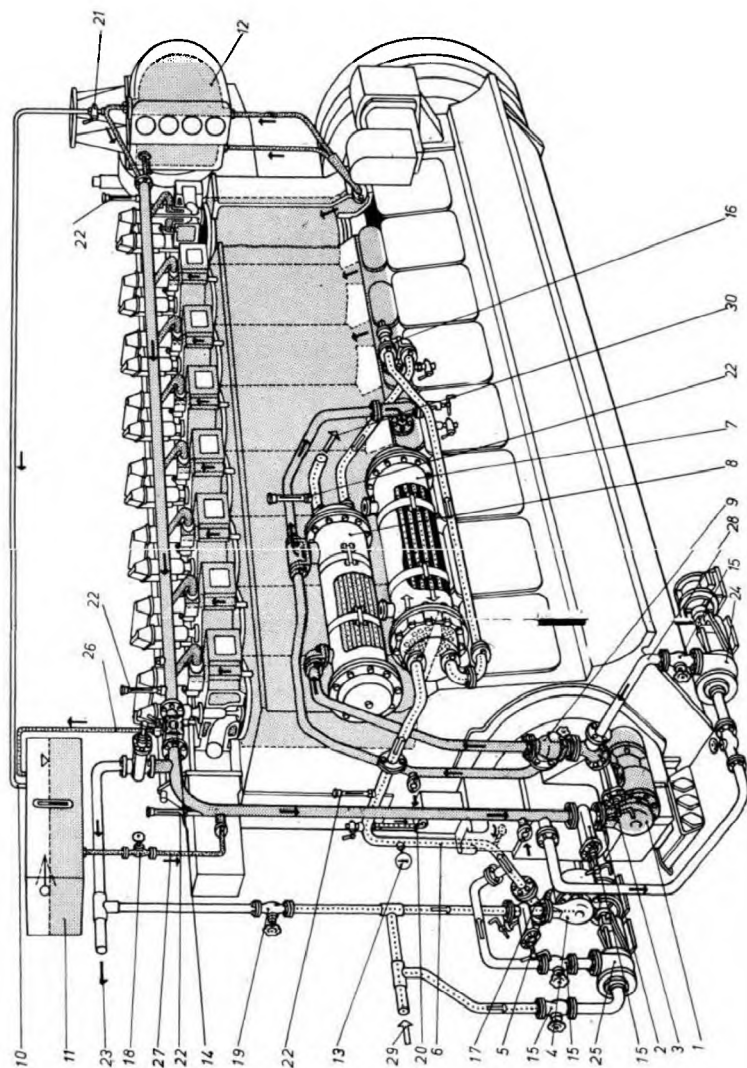


Рисунок А.4 – Слайд 4 мультимедійної презентації

## Принципова схема двоконтурної системи охолодження

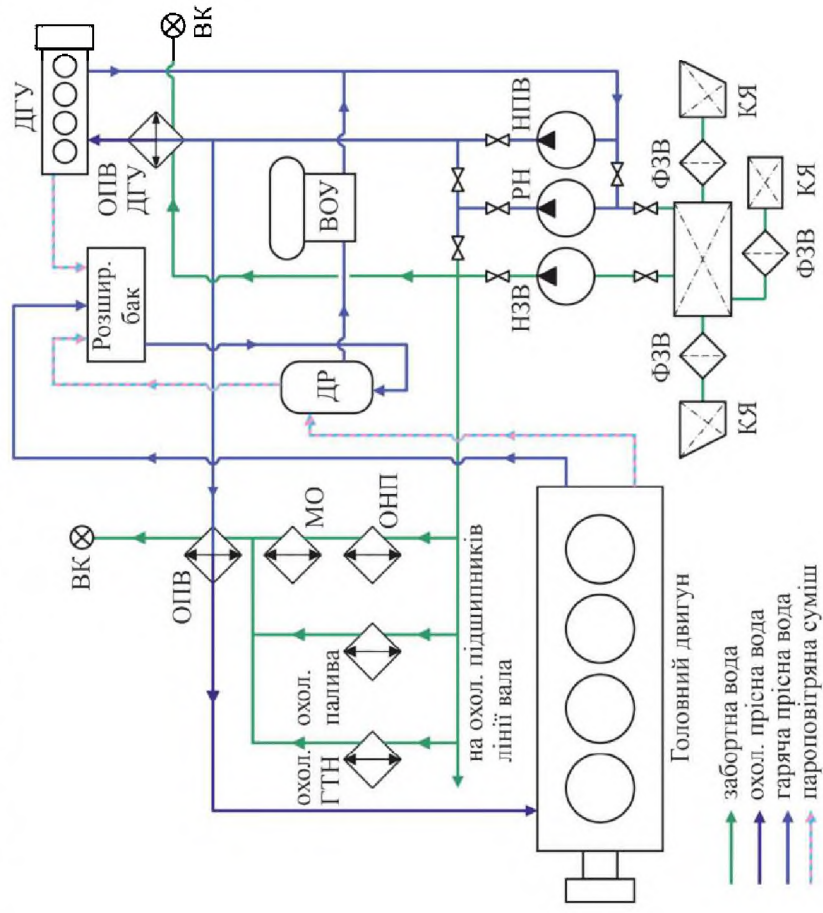


Рисунок А.5 – Слайд 5 мультимедійної презентації

6

Функціональна схема автоматизованого електропривода насоса

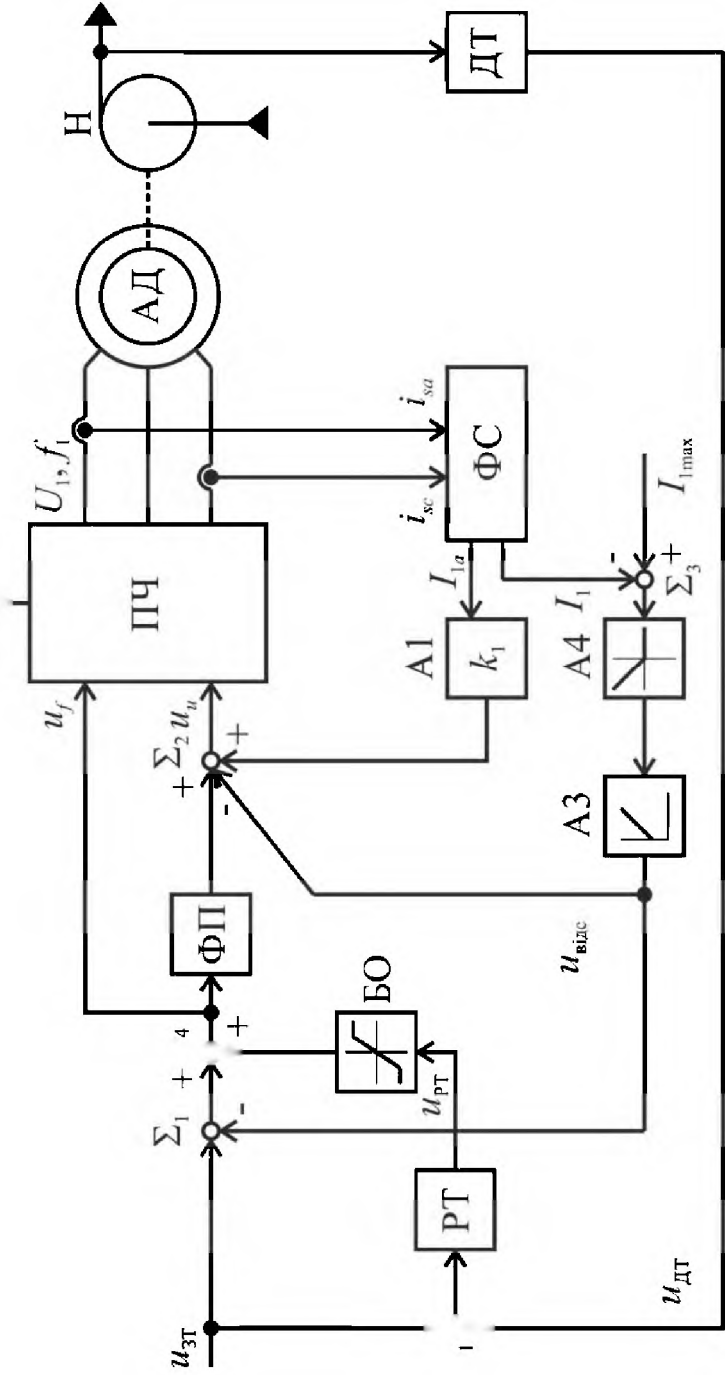


Рисунок А.6 – Слайд 6 мультимедійної презентації

7

## Структурна схема автоматизованого електропривода насоса

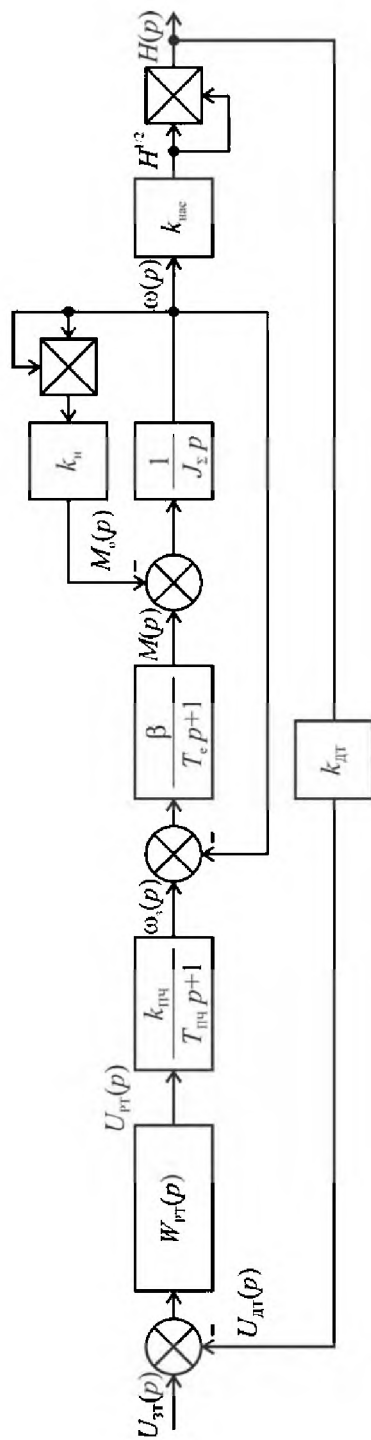
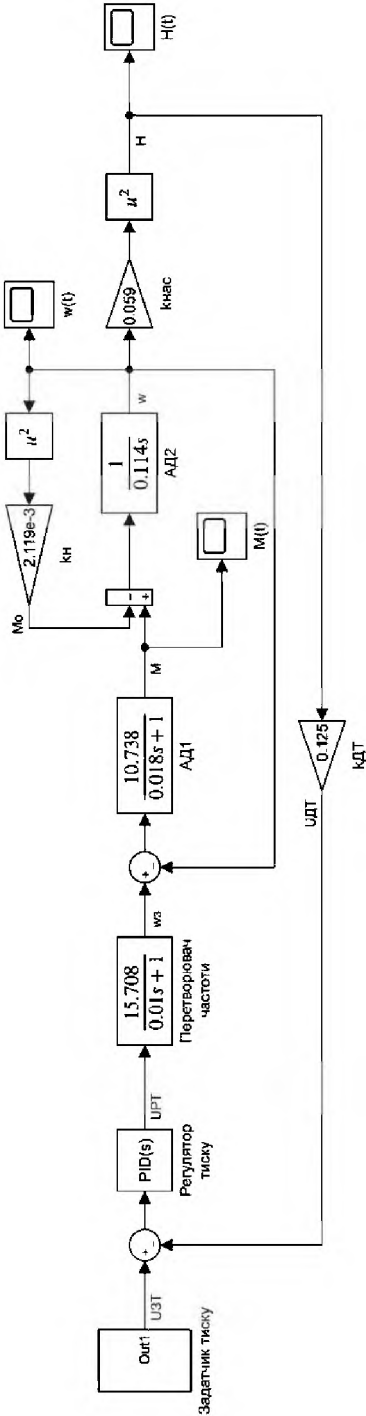


Рисунок А.7 – Слайд 7 мультимедійної презентації

8

Схема моделювання автоматизованого електропривода насоса



Підсистема «Задатчик інтенсивності»

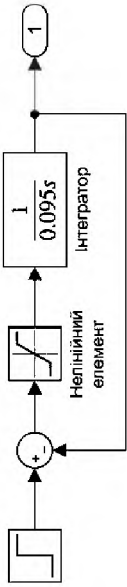


Рисунок А.8 – Слайд 8 мультимедійної презентації

## Дослідження динаміки

9

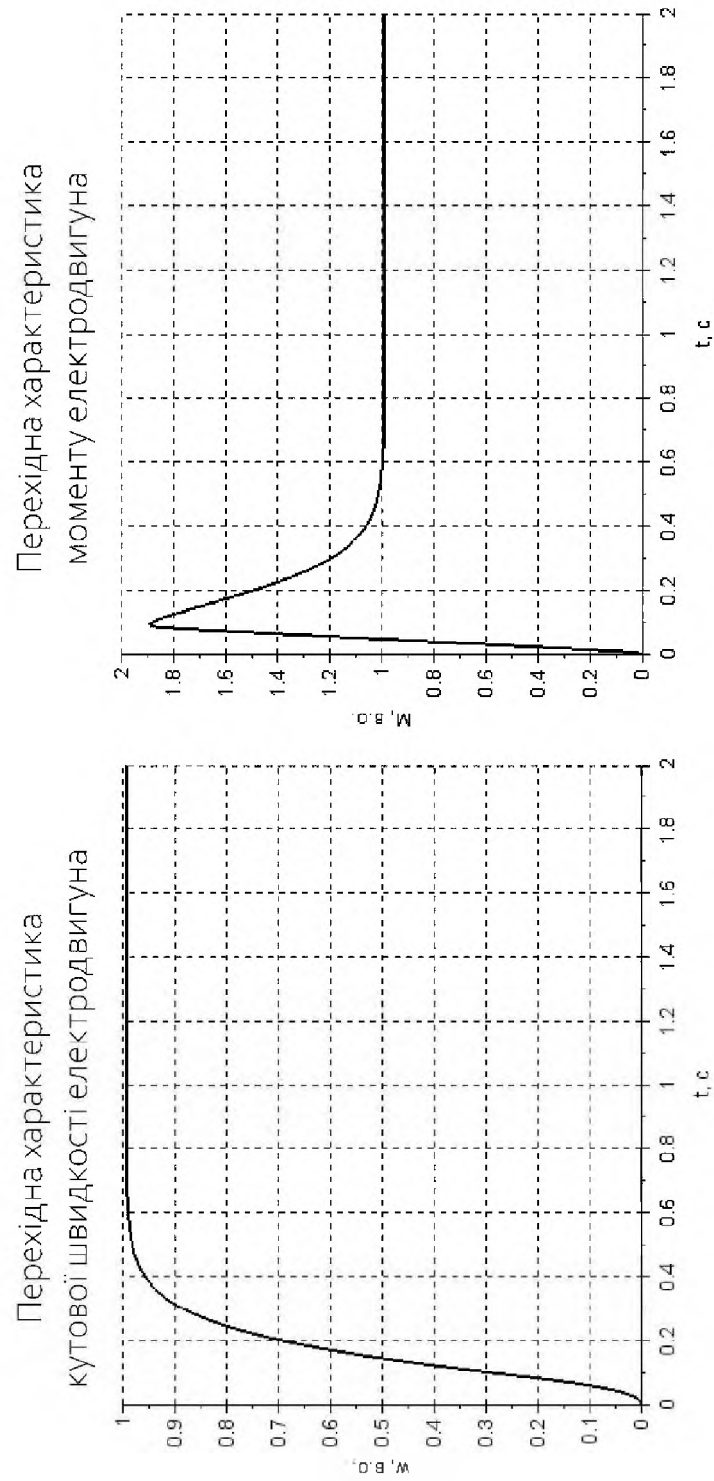
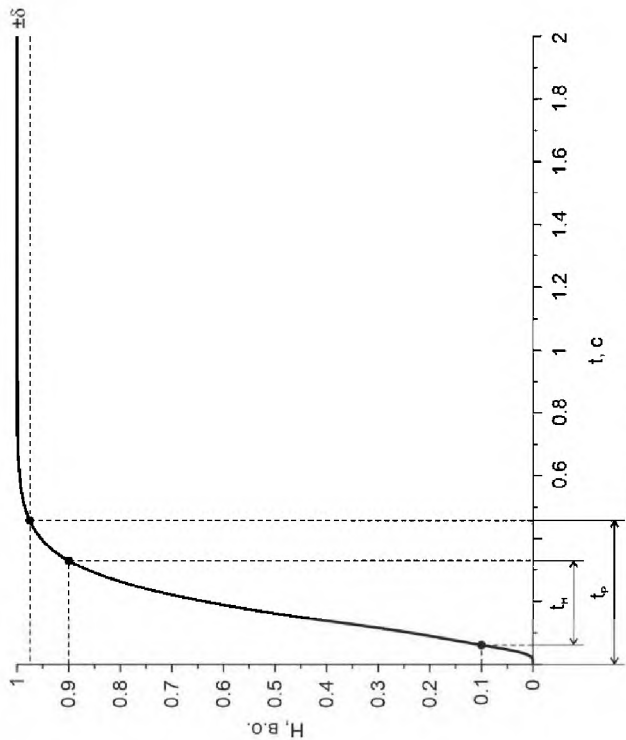


Рисунок А.9 – Слайд 9 мультимедійної презентації

## Дослідження динаміки

Реакція системи керування на ступінчастий сигнал



| Параметр | Відносне<br>перерегулювання $\sigma$ , % | Час встановлення<br>$t_p$ , с | Час наростання<br>$t_n$ , с | Усталена<br>похибка $\epsilon_{уст}$ |
|----------|------------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|
| Значення | 0                                        | 0,456                         | 0,267                       | 0                                    |

Рисунок А.10 – Слайд 10 мультимедійної презентації

## Висновки

- 1** В ході виконання кваліфікаційної роботи, згідно поставлених завдань, розглянуто системи дизельних енергетичних установок. Виявлено, що у дизельних установках морських транспортних суден застосовуються виключно замкнені системи охолодження. Система охолодження призначена для охолодження деталей, які нагріваються від тертя та теплоти згоряння палива, і для відведення теплоти від робочих рідин. Для безперервної подачі води (прісної або забортної), переміщення охолоджувальної води трубопроводами до місць охолодження використовують насоси: насоси прісної води та насоси забортної води. Циркуляційним насосом прісна вода за внутрішнім контуром подається в блок циліндрів.
- 2** Побудовано функціональну схему автоматизованого електропривода насоса та на-ведено опис її елементів. В роботі використано одноконтурну систему керування з негативним зворотним зв'язком за напором/тиском. Застосування перетворювача частоти забезпечує ефективне використання асинхронного електродвигуна та його плавний пуск, виключає гідравлічні удари в гідросистемі.

## Висновки

- 3 Побудовано динамічну модель асинхронного електропривода насоса та виконано розрахункові параметри її елементів. При побудові моделі асинхронного електропривода використано лінійну модель асинхронного електродвигуна, оскільки при стабілізації напору (тиску) система працює в малих відхиленнях щодо робочої точки стабілізації. При вирішенні завдання синтезу регулятора напору для автоматизованого електропривода насоса, з умов забезпечення бажаного/необхідного перехідного процесу, в роботі виконано налаштування на модульний (технічний) оптимум.
- 4 В роботі розглянуто динаміку автоматизованого електропривода насоса за допомогою MATLAB. Отримано перехідні характеристики. Аналіз результатів дослідження якості показав, що автоматизований електропривод має динамічні показники, які цілком задовольняють сформульованим у завданні вимогам:  $\sigma=0\%$  ( $\leq 5$ ),  $t_p=0,456$  с ( $\leq 1$ ).

**Дякую за увагу!**