

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ  
ім. адм. Макарова

ДОПУЩЕНИЙ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедру ДВЗ, У та ТЕ  
д.т.н., професор

Тимошевський Б.Г.

" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2021 р.

**ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ**

Модернізація паливної системи малообертового

суднового двигуна типу 6ДКРН 80/230

Виконав студент Мелконян Л. Т.

\_\_\_\_\_ підпис

Керівник Митрофанов О. С.

\_\_\_\_\_ підпис

**Національний університет кораблебудування  
імені адмірала Макарова**

Інститут, факультет Машинобудівний навчально-науковий інститут  
Кафедра двигунів внутрішнього згоряння, установок та технічної експлуатації  
Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр  
Напрямок підготовки 142 Енергетичне машинобудування  
(шифр і назва)  
Спеціальність Двигуни внутрішнього згоряння  
(назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
Завідувач кафедри ДВЗ, У та ТЕ  
Б.Г. Тимошевський  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 року

**З А В Д А Н Н Я  
НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Мелконян Леон Тігранович  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Модернізація паливної системи малообертового суднового двигуна типу 6ДКРН 80/230

керівник проекту (роботи) Митрофанов Олександр Сергійович,  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “\_\_” \_\_\_\_\_ 20\_\_ року №\_\_

2. Строк подання студентом проекту (роботи) \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до проекту (роботи) потужність двигуна  $N_e = 21600$  кВт, частота обертів  $n = 104$  об/хв. Двигун встановлюється у машинному відділенні контейнеровозу; на двигуні модернізується паливна система, а саме використовується паливна система з гідравлічним приводом.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Застосування об'єкту дослідження в енергетичній установці на контейнеровозі. Визначення вимог до застосування ДВЗ в складі об'єкту використання. 2. Визначення параметрів робочого циклу ДВЗ з модернізованою паливною системою. 3. Розрахунок динаміки. Розрахунок на міцність деталей КШМ. 4. Модернізація паливної системи ДВЗ з розробкою схеми системи з гідравлічним приводом. Розрахунок паливного насоса високого тиску та елементів форсунки. 5. Розробка технологічного процесу монтажу головного ДВЗ. 6. Економічне обґрунтування прийнятих технічних рішень. 7. Розробка заходів з охорони праці, навколишнього середовища, техніки безпеки. 8. Розробка заходів громадянської оборони.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1. Загальний вигляд судна та МВ. 2. Загальне розміщення устаткування у МВ судна. 3. Поперечний переріз модернізованого двигуна 6ДКРН 80/230. 4. Схема системи керуючого масла для гідравлічного приводу ПНВТ. 5. Паливний насос з гідравлічним приводом. 6. Аксиально-плунжерний масляний насос високого тиску. 7. Схема роботи золотникового розподільника ПНВТ. 8. Технологічний процес монтажу двигуна 6ДКРН 80/230 на судновий фундамент.

## 6. Консультанти розділів проекту (роботи)

| Розділ           | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата   |                  |
|------------------|-------------------------------------------|----------------|------------------|
|                  |                                           | завдання видав | завдання прийняв |
| Технологія       | Митрофанов О.С.                           |                |                  |
| Охороні праці    | Митрофанов О.С.                           |                |                  |
| Цивільна оборона | Митрофанов О.С.                           |                |                  |
| Економіка        | Митрофанов О.С.                           |                |                  |
|                  |                                           |                |                  |
|                  |                                           |                |                  |
|                  |                                           |                |                  |

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів дипломного проекту (роботи)                                                                                                              | Строк виконання етапів проекту (роботи) | Примітка |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|----------|
| 1     | Застосування об'єкту дослідження в енергетичній установці на контейнеровозі. Визначення вимог до застосування ДВЗ в складі об'єкту використання.      |                                         |          |
| 2     | Визначення параметрів робочого циклу ДВЗ з модернізованою паливною системою.                                                                          |                                         |          |
| 3     | Розрахунок динаміки. Розрахунок на міцність деталей КШМ.                                                                                              |                                         |          |
| 4     | Модернізація паливної системи ДВЗ з розробкою схеми системи з гідравлічним приводом. Розрахунок паливного насоса високого тиску та елементів форсунки |                                         |          |
| 5     | Розробка технологічного процесу монтажу головного ДВЗ                                                                                                 |                                         |          |
| 6     | Економічне обґрунтування прийнятих технічних рішень                                                                                                   |                                         |          |
| 7     | Розробка заходів з охорони праці, навколишнього середовища, техніки безпеки                                                                           |                                         |          |
| 8     | Розробка заходів громадянської оборони                                                                                                                |                                         |          |
|       |                                                                                                                                                       |                                         |          |

Студент

\_\_\_\_\_  
( підпис )Мелконян Л. Т.  
(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

\_\_\_\_\_  
( підпис )Митрофанов О.С.  
(прізвище та ініціали)

## Анотація

Завданням дипломної роботи є збільшення потужності малообертового суднового двигуна 6ДКРН 80/230 виробництва фірми MAN B&W з 18720 до 21600 кВт за рахунок модернізації його паливної системи.

У першому розділі подано стислий опис та основні характеристики контейнеровозу і малообертового суднового двигуна 6ДКРН 80/230.

Другий розділ присвячено розрахунку робочого циклу двотактного двигуна з модернізованою паливною системою з використанням гідравлічного приводу паливного насосу високого тиску.

У третьому розділі виконано динамічний розрахунок сил, що діють у кривошипно-шатунному механізмі суднового двигуна 6ДКРН 80/230, а також розраховано на міцність його основні деталі.

Четвертий розділ присвячено дослідженню можливих шляхів модернізації паливної системи малообертового суднового двигуна 6ДКРН 80/230 з метою забезпечення збільшення потужності та зменшення витрати палива. Також у розділі виконана розробка схеми паливної системи з гідравлічним приводом паливного насосу високого тиску, а також розраховано її елементи.

У п'ятому розділі розроблено технологічний процес монтажу головного суднового двигуна 6ДКРН 80/230.

У шостому розділі розглянуто економічне обґрунтування доцільності використання модернізованого двигуна 6ДКРН 80/230 на судні.

Сьомий та восьмий розділи дипломної роботи присвячено розробці рекомендацій щодо забезпечення вимог екології навколишнього середовища, охорони праці та проведенню аналізу оцінки пожежної безпеки на контейнеровозі.

Дипломна робота представлена 8 аркушами креслень формату А1 та 135 сторінками розрахунково-пояснювальної записки.

|    |      |          |        |      |                       |      |
|----|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|    |      |          |        |      | ДП.142.6221м.07.00.ПЗ | Лист |
|    |      |          |        |      |                       |      |
| Зм | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |

## *Зміст*

### Вступ

- 1.1. Загальна характеристика судна та енергетичної установки на базі двигуна 6ДКРН 80/230
- 1.2. Опис конструкції малообертового суднового двигуна 6ДКРН 80/230
- 1.3. Висновок до розділу
- 2.1. Основні вимоги до модернізованого двигуна 6ДКРН 80/230
- 2.2. Параметри головних суднових двигунів-аналогів
- 2.3. Розрахунок робочого циклу суднового малообертового двигуна 6ДКРН 80/230
- 2.4. Висновки до розділу
- 3.1. Розрахунки динаміки головного суднового двигуна 6ДКРН 80/230
- 3.2. Розрахунок на міцність деталей КШМ головного суднового малообер-тового двигуна 6ДКРН 80/230
  - 3.2.1. Розрахунок колінчастого валу двигуна 6ДКРН 80/230
  - 3.2.2. Розрахунок на міцність поршня двигуна 6ДКРН 80/230
  - 3.2.3. Розрахунок на міцність шатуна двигуна 6ДКРН 80/230
- 3.3. Висновки до розділу
- 4.1. Загальні відомості щодо використання паливних насосів з гідравлічним приводом плунжера для малообертових суднових двигунів
- 4.2. Модернізація паливної системи малообертового суднового двигуна 6ДКРН 80/230
- 4.3. Розрахунок та проектування паливного насосу високого тиску суднового двигуна 6ДКРН 80/230 з гідравлічним приводом плунжера та електронним керуванням паливоподачі
- 4.4. Висновки до розділу

5. Технологічний процес монтажу головного суднового малообертового двигуна 6ДКРН 80/230 на судовий фундамент
  - 5.1. Аналіз способів монтажу головних двигунів на судовий фундамент
  - 5.2. Необхідні прилади та пристрої для здійснення монтажу на судовий фундамент головного двигуна 6ДКРН 80/230
  - 5.3. Технічні вимоги до монтажу головного суднового двигуна 6ДКРН 80/230
  - 5.4. Розрахунок нерухомості змонтованого головного суднового двигуна 6ДКРН 80/230
  - 5.5. Операційна карта монтажу суднового двигуна 6ДКРН 80/230
  - 6.1. Економічне обґрунтування модернізації паливної системи суднового малообертового двигуна 6ДКРН 80/230
  - 6.2. Висновки до розділу
  7. Охорона праці при експлуатації та обслуговуванні суднового двигуна 6ДКРН 80/230
  - 7.1. Заходи щодо охорони праці при виконанні монтажних робіт суднового двигуна 6ДКРН 80/230
  - 7.2. Розрахунки рівня шуму й вібрації суднового двигуна 6ДКРН 80/230 у приміщенні машинного відділення контейнеровозу
  - 7.3. Висновки до розділу
  - 8.1. Оцінка пожежної безпеки приміщення машинного відділення контейнеровозу
  - 8.2. Висновки до розділу
- Загальні висновки по роботі
- Список використаної літератури
- Додатки

|             |      |                 |        |      |                          |      |         |
|-------------|------|-----------------|--------|------|--------------------------|------|---------|
|             |      |                 |        |      | ДП.142. 6221м.07.00.ПЗ   |      |         |
|             |      |                 |        |      |                          |      |         |
| Змн.        | Арк. | № докум.        | Підпис | Дата |                          |      |         |
| Студент.    |      | Мелконян Л.Т.   |        |      | Вступ                    |      |         |
| Консультант |      |                 |        |      |                          |      |         |
| Керівник    |      | Митрофанов О.С. |        |      |                          |      |         |
|             |      |                 |        |      |                          |      |         |
|             |      |                 |        |      |                          |      |         |
|             |      |                 |        |      | Літ.                     | Арк. | Акрушив |
|             |      |                 |        |      |                          |      |         |
|             |      |                 |        |      | НУК<br>ім. адм. Макарова |      |         |

## Вступ

Відповідно до завдання кафедри «ДВЗ, У та ТЕ», в роботі представлено проект головного суднового малообертового двигуна типу 6ДКРН 80/230 виробництва MAN B&W потужністю 21600 кВт при 104 об/хв для контейнеровозу.

У проекті проаналізовано можливі шляхи підвищення потужності та зменшення питомої витрати палива за рахунок модернізації паливної системи. Покращення економічності ДВЗ на сьогодні є виключно актуальним завданням оскільки у всьому світі існує стійкий дефіцит вуглеводнів та їх слід максимально економити.

Зокрема виділено у якості перспективного напрямку покращення зазначених параметрів для даного типу двигунів – використання паливної системи з гідравлічним приводом паливного насосу високого тиску. Використання на двигуні 6ДКРН 80/230 модернізованої системи паливоподачі забезпечить покращення сумішоутворення та підвищення потужності на 2880 кВт при заданих оборотах з одночасним зниженням питомої витрати палива. Для досягнення поставленої задачі проведено розрахунок робочого циклу з новими параметрами упорскування, розроблено схему гідравлічного приводу паливного насосу високого тиску та виконано розрахунок основних елементів модернізованої паливної системи двотактного двигуна 6ДКРН 80/230.

Виконані дослідження та модернізація малообертового двигуна 6ДКРН 80/230 забезпечили кращі параметри роботи на номінальному режимі, а також поліпшили його економічні та екологічні показники.

|    |      |          |        |      |                       |      |
|----|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|    |      |          |        |      | ДП.142.6221м.07.00.ПЗ | Лист |
|    |      |          |        |      |                       |      |
| Зм | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |

|           |      |                 |        |      |                       |                                                         |  |  |      |  |      |         |
|-----------|------|-----------------|--------|------|-----------------------|---------------------------------------------------------|--|--|------|--|------|---------|
|           |      |                 |        |      | ДП.142.6221м.07.01.ПЗ |                                                         |  |  |      |  |      |         |
|           |      |                 |        |      |                       |                                                         |  |  |      |  |      |         |
| Зм.       | Арк. | № докум.        | Підпис | Дата |                       |                                                         |  |  |      |  |      |         |
| Студент   |      | Мелконян Л.Т.   |        |      |                       | Загальна характеристика судна та енергетичної установки |  |  | Літ. |  | Арк. | Аркушів |
| Консульт. |      |                 |        |      |                       |                                                         |  |  |      |  |      |         |
| Керівник  |      | Митрофанов О.С. |        |      |                       |                                                         |  |  | НУК  |  |      |         |
|           |      |                 |        |      |                       |                                                         |  |  |      |  |      |         |
|           |      |                 |        |      |                       |                                                         |  |  |      |  |      |         |

### 1.1. Загальна характеристика судна та енергетичної установки на базі двигуна 6ДКРН 80/230

Малообертовий двигун 6ДКРН 80/230 встановлено на контейнеровозі з не- обмеженим районом плавання (згідно з Регістром судноплавства). Мінімальне значення температури зовнішнього повітря в районах плавання даного судна складає близько  $-25^{\circ}\text{C}$ . За архітектурно-конструктивним типом зазначене судно є самохідним, сталевим, однопалубним судно з кормовим розташуванням силової енергетичної установки. Також судно має житлові приміщення, пост керування, подвійні дно й борти, одну повздовжню переборку в діаметральній площині вантажної частини та транцеву корму, з мінімальним надводним бортом. Носове обведення – бульбоподібної форми з коефіцієнтом бульбоподібності 7.

#### *Основні характеристики контейнеровозу:*

|                                                                                                               |       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Найбільша довжина судна, м.....                                                                               | 180   |
| Значення довжини між перпендикулярами, м.....                                                                 | 172   |
| Ширина судна, м.....                                                                                          | 28    |
| Значення висота борту судна, м .....                                                                          | 16,85 |
| Розрахункове значення осадки судна, м.....                                                                    | 9,20  |
| Максимальна осадка судна, м .....                                                                             | 11,83 |
| Значення габариту судна по висоті від його основної лінії, м.....                                             | 39,70 |
| Найменше значення теоретичної висоти між палубних просторів у житлових та службових приміщеннях судна, м..... | 2,70  |
| Значення висоти другого дна судна у місці 17–77 шп в ДП, м.....                                               | 2,59  |
| Значення Висота другого дна судна у місці 77–244 шп, м.....                                                   | 1,98  |
| Прогин бімсів верхньої палуби судна, м .....                                                                  | 0,15  |

Значення швидкості судна на випробуваннях становить не менш ніж 14,2 вузлу на глибокій воді за умов осадки 9,2 м, посадці на рівний кіль, хвилюванні моря не вище 2-х балів, значення сили вітру не більше 3-х балів за шкалою Бо- форта, обертанні гребного гвинта судна з частотою  $104\text{ хв}^{-1}$  та відповідному значенні ефективної потужності на валу.

|     |      |             |        |      |                       |       |
|-----|------|-------------|--------|------|-----------------------|-------|
|     |      |             |        |      | ДП.142.6221м.07.01.ПЗ | Аркуш |
| Зм. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                       |       |

У всіх експлуатаційних випадках завантаження судна остійність задовольняє основним правилам специфікацій та побудови морських суден необмеженого району плавання. Непотоплюваність судна забезпечується за умов його завантаження усіма видами вантажу до осадку в 9,2 м та при затопленні будь-якого одного відсіку (окрім МВ). Значення періоду бортової качки судна для усіх експлуатаційних випадків завантаження забезпечується у межах 12–14 с. Високі маневрені якості судна (особливо важливі для контейнеровозів) забезпечуються встановленням в його носовій частині підрулюючого пристрою тунельного типу, який дає упор у 58,5 кН.

***Основні вимоги до суднових енергетичних установок:***

- потужність силової установки судна технічного флоту повинна забезпечувати швидкість не менше 7 вузлів;
- енергетична установка судна повинна забезпечувати можливість реверсування для забезпечення необхідної маневреності;
- енергетична установка судна повинна забезпечувати при реверсуванні не менше 70 відсотків розрахункової частоти обертання переднього ходу в межах 30 хвилин;
- головні та допоміжні механізми повинні бути розташовані в приміщеннях машинного відділення так, щоб з їх постів керування та місць обслуговування було забезпечено вільний прохід до вихідних трапів;
- ширина проходів між обладнанням у МВ на всій довжині повинна бути не менше 0,6 м;
- ширина трапів на виході та ширина люків у виходах повинна бути не менше 0,6 м.
- розташування різних механізмів, обладнання, арматури та трубопроводів повинно забезпечувати вільний доступ до для здійснення обслуговування та аварійного ремонту;
- головні механізми та їх передачі, упорні підшипники валопроводу повинні повністю або частково кріпитися до суднових фундаментів болтами;

|     |      |             |        |      |                       |       |
|-----|------|-------------|--------|------|-----------------------|-------|
|     |      |             |        |      | ДП.142.6221м.07.01.ПЗ | Аркуш |
| Зм. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                       |       |

– машинне відділення, тунелі валопроводу та трубопроводів повинні мати по два виходи, через які забезпечується вихід на палубу до рятувальних шлюпок або плотів.

– з метою забезпечення безпеки плавання та керування судном, світильники основного освітлення повинні бути встановлені у всіх приміщеннях;

– усі вентиляційні канали повинні бути захищені від корозії;

– усі вертикальні вентиляційні канали та шахти повинні проходити через водонепроникні палуби судна у межах одного водонепроникного відсіку;

– усі вентиляційні канали, які слугують для відведення вибуху, пожежонебезпечних парів та газів повинні бути газонепроникні й не з'єднуватися з каналами інших судових приміщень.

### ***Основні вимоги Регістру до параметрів головного судового двигуна:***

– головні судові двигуни повинні забезпечити можливість стабільної роботи з не менше 10 % перевантаженням від розрахункової потужності протягом не менше однієї години;

– мінімально допустима стійка частота обертання колінчастого валу головного двигуна повинна становити не більше ніж 30 % від розрахункової частоти обертання;

– ресивер та повітряні трубопроводи головного двигуна повинні бути обладнані системою своєчасного виявлення та сигналізації пожежі;

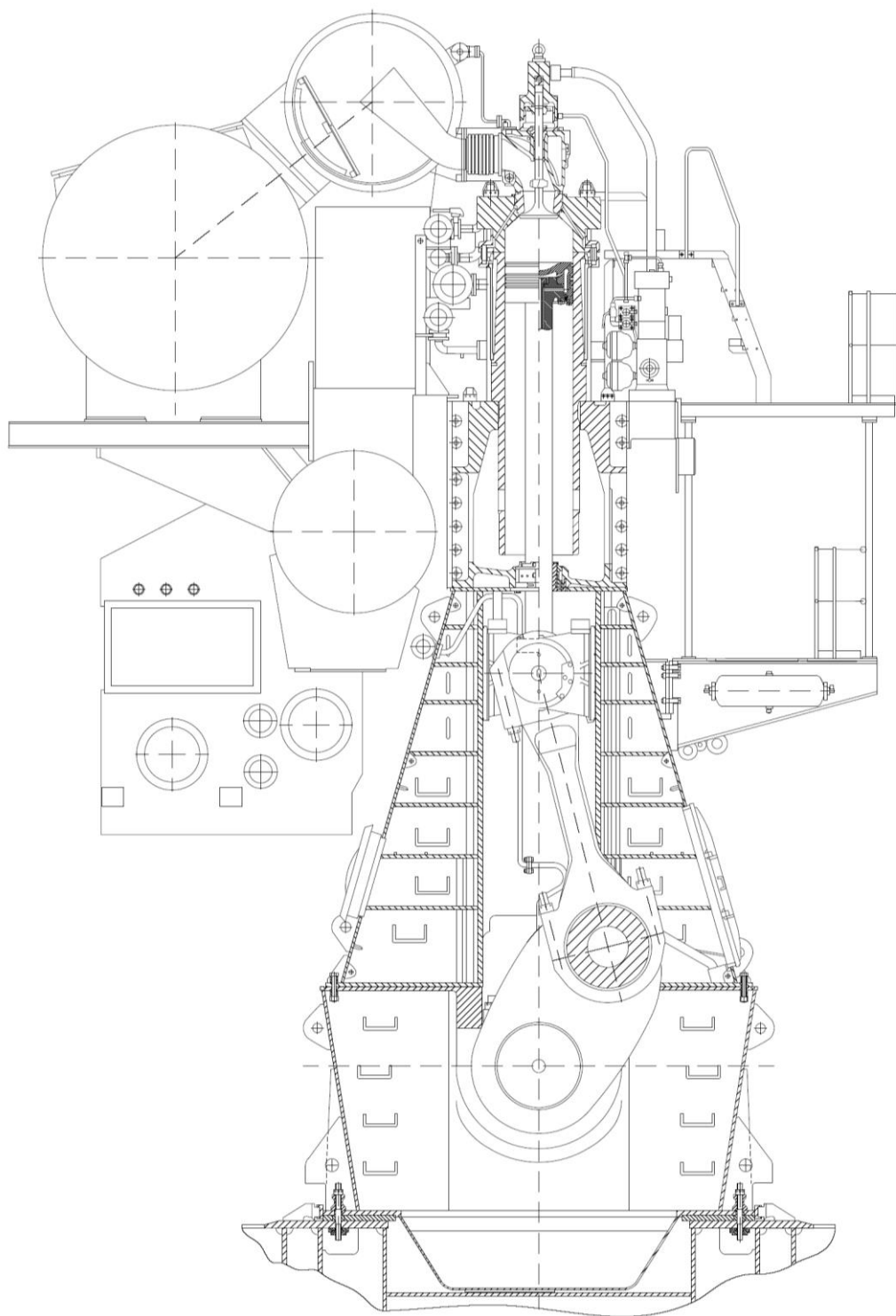
– головний двигун повинен мати регулятор, який відрегульовано на забезпечення не перевищення частоти обертання більше ніж на 15 % від розрахункової.

## **1.2. Опис конструкції малообертового судового двигуна 6ДКРН 80/230**

Судновий малообертовий двигун 6ДКРН 80/230 представлений на рис. 1.1 є двохтактним, шестициліндровим, реверсивним однорядним двигуном з вертикально розташованим робочими циліндрами. Діаметр поршня складає 800 мм, а хід поршня – 2300 мм. Базовий двигун має номінальну потужність 18720 кВт при 104

|     |      |             |        |      |                       |       |
|-----|------|-------------|--------|------|-----------------------|-------|
|     |      |             |        |      | ДП.142.6221м.07.01.ПЗ | Аркуш |
| Зм. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                       |       |

об/хв. Тиск повітря після компресора становить 0,38 МПа, а питома ефективна витрата палива 173 г/(кВт·год).



*Рисунок 1.1 – Загальний вигляд суднового малообертового двигуна 6ДКРН 80/230*

Фундаментна рама двигуна 6ДКРН 80/230 має спрощену коробчасту форму та є сталевую суцільнозварною (рис. 1.2). Кріпиться фундаментна рама двигуна

|     |      |             |        |      |                       |       |
|-----|------|-------------|--------|------|-----------------------|-------|
|     |      |             |        |      | ДП.142.6221м.07.01.ПЗ | Аркуш |
| Зм. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                       |       |

до фундаменту корпусу судна болтами зі сталевими клинами. Поперечні опори фундаментної рами литі зі сталі та мають отвори для виходу анкерних зв'язків. Вкладиші рамових підшипників двигуна є сталевими тонкостінними та залиті бабітом. Для зливу масла з картеру в циркуляційну масляну цистерну, яка розташована під двигуном у подвійному дні корпусі судна, в кормовій частині піддона фундаментної рами передбачено спеціальний отвір з сіткою. Також у кормі двигуна 6ДКРН 80/230 є відсік приводів з вбудованим у ньому упорним підшипником.

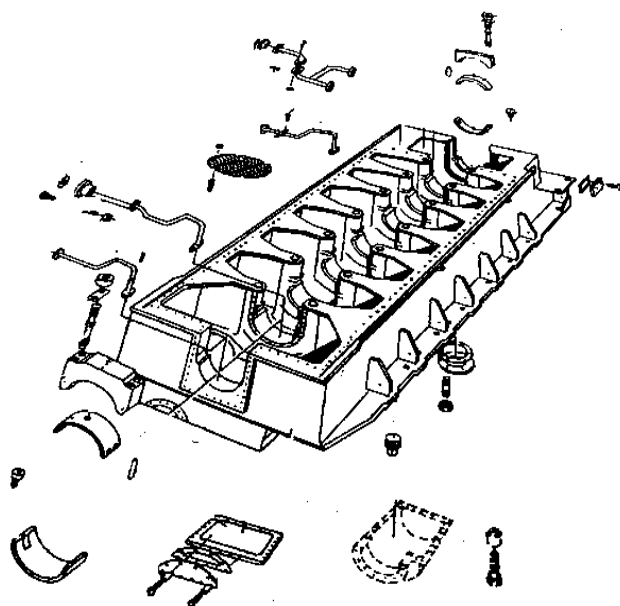


Рисунок 1.2 – Фундаментна рама двигуна 6ДКРН 80/230

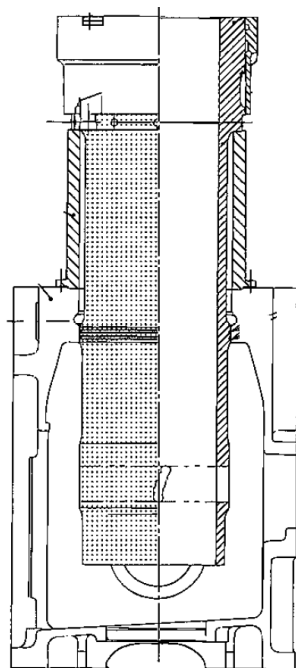
Станина двигуна 6ДКРН 80/230 є сталевую суцільнозварною з вхідними люками в кожен відсік циліндрів та відсік приводів з боку керування. Відсік приводів має також вихід з протилежного боку. П'ять запобіжні клапанів картера розміщені у верхній частині станини з боку газовихлопу двигуна та один, який розташовано з носового торця. Кожен робочий циліндр двигуна має по чотири сталевих направляючих крейцкопфа, які приварено до конструкції станини.

Блок циліндрів двигуна 6ДКРН 80/230 є зібраним з окремих литих чавунних блоків, який складено у єдиний моноблок за допомогою призонних болтів. У кожен блок циліндрів двигуна запресовано зіставну циліндрову втулку, яка складається з двох частин з роз'ємом, який знаходиться вище верхнього рівня блока.

|     |      |             |        |      |                       |       |
|-----|------|-------------|--------|------|-----------------------|-------|
|     |      |             |        |      | ДП.142.6221м.07.01.ПЗ | Аркуш |
| Зм. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                       |       |

Обидві частини втулки робочого циліндру виготовляються з модифікованого чавуну. У верхньому бурті нижній частині втулки робочого циліндру виконано отвори для розміщення восьми штуцерів циліндрової змазки. Зовні верхня частина втулки робочого циліндру закрита пустотілою чавунною сорочкою для забезпечення охолодження. В області камери згоряння двигуна втулка робочого циліндру має косі отвори для проходження охолоджуючої рідини. Ущільнення втулки робочого циліндру забезпечується чотирма гумовими кільцями у нижній її частині та двома гумовими кільцями (по одному кільцю зверху й знизу сорочки) у верхній її частині в районі сорочки охолодження. Ущільнення місця посадки між втулкою робочого циліндру та блоком забезпечено притиранням цих посадочних місць (без використання прокладок), а між втулкою робочого циліндру та кришкою за допомогою ущільнювального кільця з м'якої сталі. Перепуск охолоджуючої рідини з блоку двигуна у сорочку охолодження здійснюється за допомогою чотирьох перепускних патрубків, а з сорочки у кришку робочих циліндрів – по тим же перепускним трубкам.

Втулка робочого циліндра двигуна є суцільною та виготовленою з модифікованого чавуну (рис. 1.3). У нижній частині втулка робочого циліндра має тридцять продувних вікон.

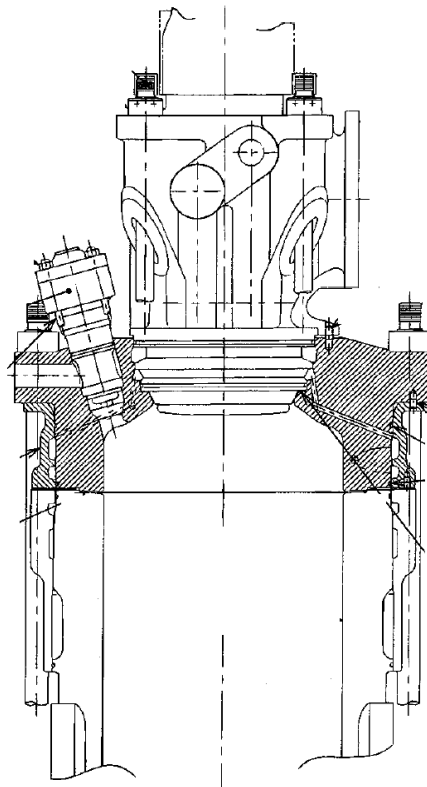


*Рисунок 1.3 – Втулка робочого циліндру двигуна 6ДКРН 80/230*

|     |      |             |        |      |                       |       |
|-----|------|-------------|--------|------|-----------------------|-------|
|     |      |             |        |      | ДП.142.6221м.07.01.ПЗ | Аркуш |
| Зм. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                       |       |

У масивному бурті втулки робочого циліндру є свердління для проходження охолоджуючої рідини із зарубашечного простору до кришки циліндрів. Змазка циліндричної втулки двигуна забезпечується за допомогою двох рядів отворів розміщених у верхній частині втулки для проходження циліндрового мастила. З боку дзеркала кожен вихідний отвір має роздавальні канавки масла.

Кришка робочого циліндра двигуна є литою зі сталі, ковпачкового типу, з отворами для проходження охолоджуючої рідини (рис. 1.4). У кришці робочого циліндра розміщуються дві паливні форсунки, випускний клапан, запобіжний клапан та індикаторний кран. Кришка робочого циліндра кріпиться до блоку циліндра двигуна за допомогою гідравлічного кільця та шістнадцяти шпильок, які проходять через порожнисту сорочку охолодження верхньої частини втулки.



*Рисунок 1.4 – Кришка робочого циліндра двигуна 6ДКРН 80/230*

Поршень двигуна 6ДКРН 80/230, представлений на рис. 1.5 має сталеву головку виготовлену із хром-молібденової сталі та укорочену чавунну спідницю. Поршень має чотири компресійних кільця та два красномідних прирабочних паска розміщених у юпці. Поршень охолоджується за допомогою маслом, яке по-

|     |      |             |        |      |                       |       |
|-----|------|-------------|--------|------|-----------------------|-------|
|     |      |             |        |      | ДП.142.6221м.07.01.ПЗ | Аркуш |
| Зм. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                       |       |

дається та відводиться за допомогою отвору в поперечині крейцкопфа та сталевій трубки розміщеної усередині штока.

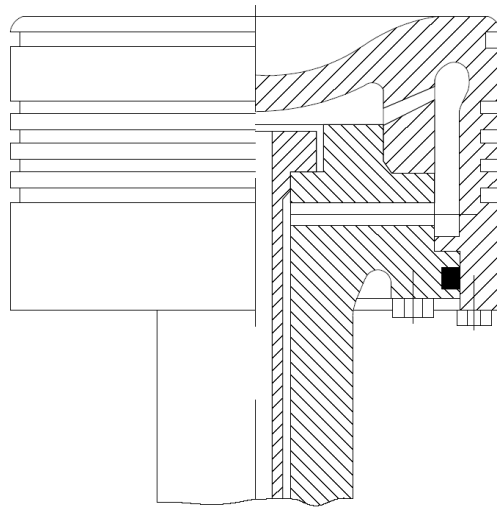


Рисунок 1.5 – Поршень двигуна 6ДКРН 80/230

Крейцкопф двигуна 6ДКРН 80/230 двосторонній та має чотири повзуна за-  
литі бабітом (рис. 1.6). Поперечина крейцкопфа сталева кована та має просверд-  
лені канали для проходження масла. До поперечини крейцкопфа за допомогою  
різьбових з'єднань кріпиться підп'ятник штоку поршня, коліно телескопа підве-  
дення змащення та зливна труба масла охолодження поршня двигуна.

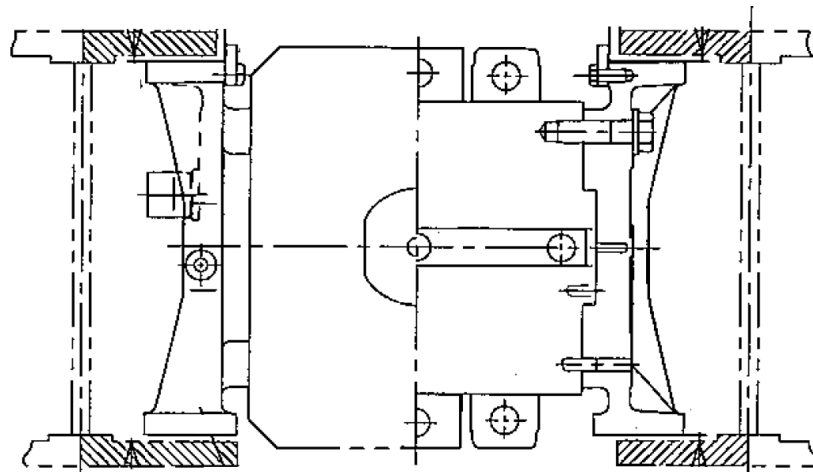


Рисунок 1.6 – Крейцкопф двигуна 6ДКРН 80/230

Колінчастий вал двигуна 6ДКРН 80/230 сталевий напівз'єднаний з литими  
кривошипи та запресованими рамовими шийками (рис. 1.7). На валу з носа двигу-  
на розміщено поршень демпфера осьових коливань. Також з цього боку розміще-

|     |      |             |        |      |                       |       |
|-----|------|-------------|--------|------|-----------------------|-------|
|     |      |             |        |      | ДП.142.6221м.07.01.ПЗ | Аркуш |
| Зм. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                       |       |

на однорядна зірочка для забезпечення приводу допоміжних валів з урівноважуючими балансирами. До колінчастого валу з корми двигуна кріпиться дворядна зірочка приводу розподільчого валу. Упорний гребінь з відповідно упорним підшипником розміщено у відсіку приводів.

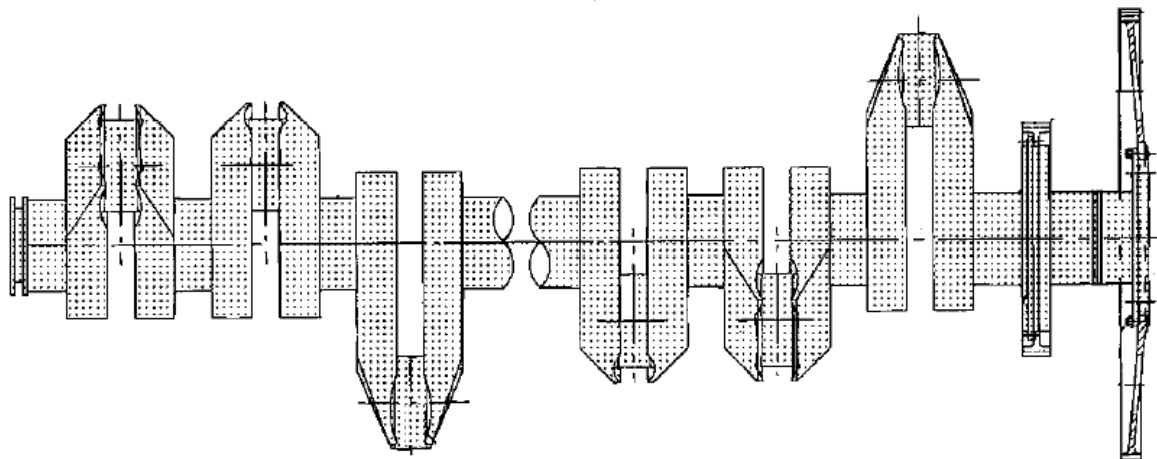


Рисунок 1.7 – Колінчастий вал двигуна 6ДКРН 80/230

Шатун двигуна 6ДКРН 80/230 виготовлено у вигляді сталевій відливки з подальшою ковкою та механічною обробкою. Верхня головка шатун двигуна безвильчатого типу, при цьому верхня та нижня головки є невід'ємні (рис. 1.8). Вкладиші головного та мотильового підшипників тонкостінні сталеві з заливкою бабітом. Усередині стрижня шатуна є свердління для подачі масла від головного до мотильового підшипника. Стрижень шатуна є порівняно коротким, що забезпечує зменшення загальної висоти двигуна.

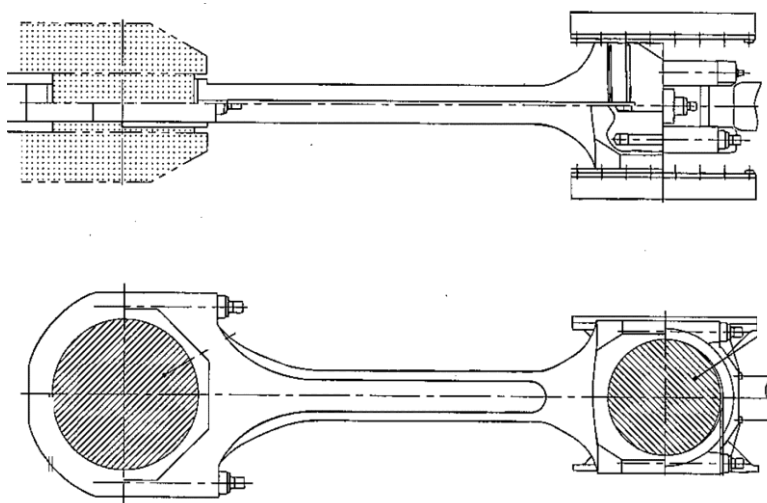


Рисунок 1.8 – Шатун двигуна 6ДКРН 80/230

|     |      |             |        |      |                       |       |
|-----|------|-------------|--------|------|-----------------------|-------|
|     |      |             |        |      | ДП.142.6221м.07.01.ПЗ | Аркуш |
| Зм. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                       |       |

Розподільчий вал двигуна приводиться у рух дворядним чотирьох-двіймовим ланцюгом (рис. 1.9). Дві проміжні зірочки розміщені на розподільчому валу використовуються для розміщення балансирів для урівноваження моментів від сил інерції другого порядку. Вал лубрикатора циліндрового масла та регулятора частоти обертання приводяться у рух від розподільчого валу двигуна. До розподільчого валу двигуна з кормового торця кріпиться вал повітророзподільника. Кулаки паливо та газорозподілу, а також сполучні фланці частин розподільчого валу насаджені за допомогою гарячепрессової посадки.

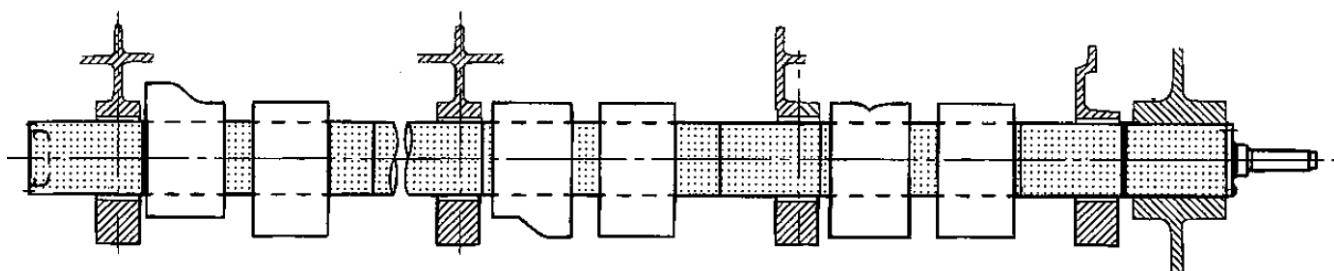
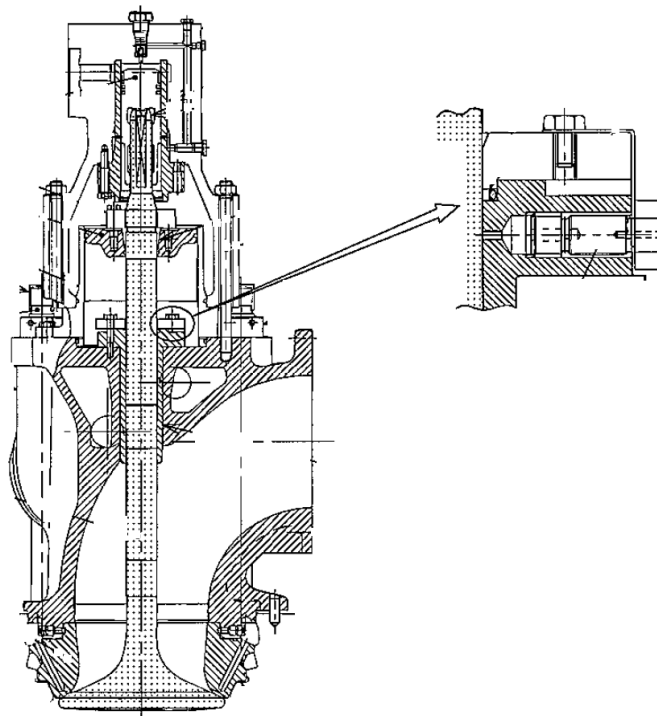


Рисунок 1.9 – Розподільний вал двигуна 6ДКРН 80/230

Двигун 6ДКРН 80/230 має класичну систему пуску, що містить головний пусковий клапан та пускові циліндрові клапани, а також золотниковий повітророзподільник. Реверс двигуна 6ДКРН 80/230 забезпечується реверсуванням повітророзподільника та штовхачів паливного насосу високого тиску за допомогою актуаторів розміщених на кожному насосі.

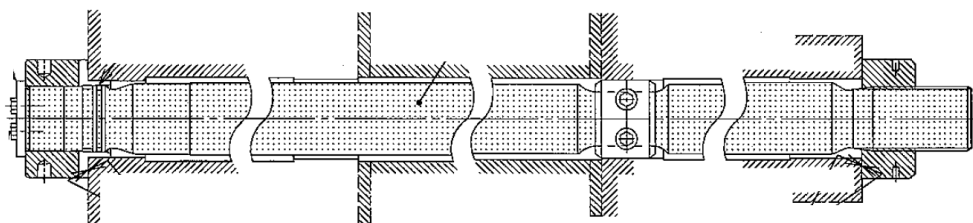
Випускний клапан двигуна 6ДКРН 80/230 має литий корпус з чавуну, шпindel з імпеллером для забезпечення повороту потоком газів та охолоджуване сидло (рис. 1.10). Охолоджуюча рідина по свердлінням в кришці циліндру переміщується через отвори в сидлі досить близько від посадкового поясу. Після чого охолоджуюча рідина прямує в порожнину охолодження корпусу клапана, а потім виходить з верхньої точки корпусу в відливну трубу. Посадочні пояски шпинделя та сидла клапану мають наплавку зі стеліта. Відкриття клапану здійснюється гідравлічним поршнем, а закриття – пневматичним поршнем. Випускний клапан розташовано у центрі кришки робочого циліндра двигуна та приєднується за допомогою чотирьох шпильок та гайок.

|     |      |             |        |      |                       |       |
|-----|------|-------------|--------|------|-----------------------|-------|
|     |      |             |        |      | ДП.142.6221м.07.01.ПЗ | Аркуш |
| Зм. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                       |       |



*Рисунок 1.10 – Вихлопний клапан двигуна 6ДКРН 80/230*

Анкерні болти двигуна 6ДКРН 80/230 виконані зі сталі та є зіставними (рис. 1.11). Болти складаються з двох частин та стягують воедино блок станину та фундаментну раму двигуна. Затяжка гайок анкерних болтів здійснюється гідравлічним шляхом.



*Рисунок 1.11 – Анкерний болт двигуна 6ДКРН 80/230*

### **1.3. Висновок до розділу**

Малообертовий двотактний двигун 6ДКРН 80/230 виробництва фірми MAN B&W відповідає усім вимогам експлуатації на судні у якості головного. Поперечний перетин двигуна та загальний вид машинного відділення з розміщеним обладнанням, представлений на кресленнях формату А1 графічної частини проекту.

|     |      |             |        |      |                       |       |
|-----|------|-------------|--------|------|-----------------------|-------|
|     |      |             |        |      | ДП.142.6221м.07.01.ПЗ | Аркуш |
| Зм. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                       |       |

|           |      |                 |        |      |                                                   |  |  |
|-----------|------|-----------------|--------|------|---------------------------------------------------|--|--|
|           |      |                 |        |      | ДП.142.6221м.07.02.ПЗ                             |  |  |
|           |      |                 |        |      |                                                   |  |  |
| Зм.       | Арк. | № докум.        | Підпис | Дата | Розрахунок робочого циклу<br>двигуна 6ДКРН 80/230 |  |  |
| Студент   |      | Мелконян Л.Т.   |        |      |                                                   |  |  |
| Консульт. |      |                 |        |      |                                                   |  |  |
| Керівник  |      | Митрофанов О.С. |        |      |                                                   |  |  |
|           |      |                 |        |      |                                                   |  |  |
|           |      |                 |        |      | НУК                                               |  |  |

## 2.1. Основні вимоги до модернізованого двигуна 6ДКРН 80/230

Відповідно до завдання кафедри «Двигуни внутрішнього згоряння, установки та технічна експлуатація» НУК ім. адм. Макарова модернізується двотактний судновий двигун типу 6ДКРН 80/230 виробництва фірми MAN B&W. Модернізація двигуна повинена забезпечити збільшення його потужності у 21600 кВт при 104 об/хв та зменшення питомої витрати палива. Модернізований двигун з вдосконаленою паливною системою має інші параметри роботи, відмінні від двигуна обраного у якості прототипу, відповідно до цього виникає необхідність моделювання робочого циклу та визначення нових показників роботи. Для забезпечення необхідної потужності та економічності необхідно проаналізувати вплив на ці показники основних параметрів робочого циклу з метою виділення найбільш підходящих для змінення для даного типу двигунів.

Надійність, працездатність та довговічність двигуна формується ще на стадії проектування конструкції, розрахунку основних параметрів роботи та міцності. На стадії проектування або проведення модернізації двигуна необхідно чітко враховувати особливості умов експлуатації, забезпечення обслуговування та ремонту. При конструюванні нового або модернізації існуючого двигуна необхідно забезпечити легкий доступ до основних вузлів та деталей, що сприятиме спрощенню проведення ремонтних робіт та обслуговування. Також особливу увагу потрібно приділити забезпеченню екологічних та санітарних умов роботи персоналу, що буде експлуатувати та обслуговувати двигун.

Модернізація двигуна шляхом змінення паливної системи також дасть змогу знизити токсичність відпрацьованих газів, що безперечно є досить важливим показником сучасних двигунів.

## 2.2. Параметри головних судових двигунів-аналогів

За базу для виконання дослідження та модернізації було обрано головний судновий малообертовий двигун 6ДКРН 80/230 номінальною потужністю 18720 кВт при частоті обертання колінчастого валу – 104 об/хв. У таблиці 2.1 подано основні характеристики сучасних двигунів аналогічного типорозміру та виробництва різних

|     |      |             |        |      |                       |       |
|-----|------|-------------|--------|------|-----------------------|-------|
|     |      |             |        |      | ДП.142.6221м.07.02.ПЗ | Аркуш |
| Зм. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                       |       |

країн світу. Представлені у таблиці дані дозволяють оцінити ступінь ефективності проведеної модернізації.

*Таблиця 2.1 – Основні параметри аналогів проектного двигуна*

| Марка двигуна         | Циліндрова потужність двигуна, кВт | Частота обертання колінчатого вала двигуна, $\text{мін}^{-1}$ | Середній ефективний тиск, МПа | Питома ефективна витрата палива, $\text{г/кВт}\cdot\text{ч}$ |
|-----------------------|------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| UEC37LA (ДКРН 37/88)  | 515                                | 210                                                           | 1,554                         | 171                                                          |
| UEC45LA (ДКРН 45/135) | 882                                | 158                                                           | 1,559                         | 166                                                          |
| RTA38 (ДКРН 38/110)   | 680                                | 196                                                           | 1,667                         | 181                                                          |
| RTA48 (ДКРН 48/140)   | 1090                               | 154                                                           | 1,675                         | 178                                                          |
| S26MCE (ДКРН 26/98)   | 290                                | 250                                                           | 1.34                          | 171                                                          |

### 2.3. Розрахунок робочого циклу суднового малообертового двигуна 6ДКРН 80/230

Розрахунок робочого циклу головного суднового двотактного двигуна 6ДКРН 80/230 було виконано за допомогою програми Diesel-RK, яка спеціально призначена для проведення розрахунку та оптимізації двотактних, а також чотиритактних ДВЗ (дизельних; бензинових з іскровим запаленням, як карбюраторних так і з упорскуванням; газових з іскровим запаленням й форкамерних, а також багатьох інших) різної конструктивної складності. У програма Diesel-RK робочий циліндр двигуна розглядається, як відкриті термодинамічні системи тому ця програма відноситься до класу термодинамічних. Програма дозволяє проводити розрахунки та дослідження процесів газообміну двигунів з різними системами наддуву, проводити оптимізацію та підбір фаз газорозподілу й агрегатів наддуву до поршневої частини двигуна.

У програма Diesel-RK реалізована достатньо складна модель опису процесів сумішоутворення та згоряння яка дає змогу розраховувати швидкість тепло-виділення у робочому циліндрі враховуючи геометричну форму камери згоряння, інтенсивність утвореного вихору, параметри паливоподачі, наявність системи рециркуляції відпрацьованих газів.

|     |      |             |        |      |                       |       |
|-----|------|-------------|--------|------|-----------------------|-------|
|     |      |             |        |      | ДП.142.6221м.07.02.ПЗ | Аркуш |
| Зм. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                       |       |

Особливий інтерес у програмі Diesel-RK при проведенні дослідження та модернізації паливної системи двотактного суднового двигун 6ДКРН 80/230 становить можливість врахування кількості соплових отворів розпилювача форсунки їх діаметра та спрямованість (геометричні характеристики форсунки), форми характеристики уприскування (включаючи багатofазне упорскування), взаємодію струменів розпиленого палива зі стінками камери згоряння та між собою, а також властивості та склад палива. Відповідно все це та багато іншого у програмі дає змогу виконати оптимізацію форму камери згоряння та конструкцію паливної апаратури двигуна.

Програма також має вбудовану підпрограму візуалізації, яка дозволяє досліджувати та аналізувати взаємодію струменів палива зі стінками камери згоряння двигуна, а також повітряним потоком. За допомогою програми Diesel-RK можна здійснювати проектування форми камери згоряння та розпилювача форсунки (підбирати діаметр, кількість та спрямованість сопел у залежності від характеристики паливоподачі). Також програма Diesel-RK дає змогу оцінити екологічні показники двигуна та провести оптимізацію з митою покращення цих показників.

Вбудовані методи оптимізації дозволяють досліджувати можливі шляхи вдосконалення двигуна за різними напрямками. Так, наприклад, на кожному режимі роботи двигуна може бути закладена та виконано оптимізацію своєї діаграми ходу клапана, включаючи також утримання клапана на відповідній висоті та протягом необхідного часу.

При виконанні розрахунку робочого циклу головного суднового двотактного двигуна 6ДКРН 80/230 вихідні дані обиралися на основі літературних рекомендацій та паспортних даних двигуна-прототипу з урахуванням забезпечення заданої потужності, економічності та допустимих навантажень на деталі КШМ. Нижче представлено основні результати математичного моделювання робочого циклу головного суднового двигуна 6ДКРН 80/230 за допомогою програми Diesel-RK.

|     |      |             |        |      |                       |       |
|-----|------|-------------|--------|------|-----------------------|-------|
|     |      |             |        |      | ДП.142.6221м.07.02.ПЗ | Аркуш |
| Зм. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                       |       |

## **Результати розрахунку головного суднового двигуна 6ДКРН 80/230**

|                                                 |                         |
|-------------------------------------------------|-------------------------|
| Частота обертання колінчатого валу двигуна..... | $n = 104$ об/хв         |
| Ефективна потужність двигуна.....               | $N_e = 21661$ кВт       |
| Середній ефективний тиск.....                   | $P_e = 1,8015$ МПа      |
| Крутний момент.....                             | $M_e = 1989000$ Нм      |
| Циклова подача палива двигуна.....              | $q_c = 98,864$ г        |
| Питома ефективна витрата палива.....            | $g_e = 170$ г/(кВт·год) |
| Ефективний ККД.....                             | $\eta_e = 0,49$         |

### ***Параметри навколишнього середовища***

|                                                    |                      |
|----------------------------------------------------|----------------------|
| Тиск.....                                          | $P_o = 1$ бар        |
| Температура.....                                   | $T_o = 288$ К        |
| Тиск за турбіною (статичний).....                  | $P_{от} = 1,02$ бар  |
| Тиск за фільтром (тиск загальмованого потоку)..... | $P_{овх} = 0,98$ бар |

### ***Параметри наддув та газообмін двигуна***

|                                                          |                         |
|----------------------------------------------------------|-------------------------|
| Тиск перед випускним колектором.....                     | $P_k = 3,674$ бар       |
| Температура перед випускним колектором.....              | $T_k = 311,33$ К        |
| Витрата повітря через робочий циліндри.....              | $G_{air} = 46,009$ кг/с |
| ККД агрегату наддуву двигуна.....                        | $\eta_{тк} = 0,817$     |
| Тиск перед турбіною (середній).....                      | $P_t = 0,317$ МПа       |
| Температура перед турбіною (середня).....                | $T_t = 683,04$ К        |
| Витрата відпрацьованих газів через робочий циліндри..... | $G_{gas} = 47,053$ кг/с |
| Коефіцієнт надлишку повітря.....                         | $\alpha_{sum} = 3,08$   |
| Коефіцієнт наповнення повітрям.....                      | $\eta_n = 0,835$        |
| Коефіцієнт залишкових газів у робочому циліндрі.....     | $\gamma_r = 0,05$       |
| Коефіцієнт продувки робочого циліндру.....               | $\phi_i = 1,115$        |

### ***Параметри у впускному колекторі***

|                                            |                   |
|--------------------------------------------|-------------------|
| Тиск у впускному колекторі (середній)..... | $P_s = 0,366$ МПа |
|--------------------------------------------|-------------------|

|     |      |             |        |      |                       |       |
|-----|------|-------------|--------|------|-----------------------|-------|
|     |      |             |        |      | ДП.142.6221м.07.02.ПЗ | Аркуш |
| Зм. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                       |       |

Температура у впускному колекторі (середня).....  $T_s = 318,74 \text{ K}$   
Температура стінки впускного колектору (середня).....  $T_{ws} = 318,74 \text{ K}$   
Коефіцієнт тепловіддачі у впускному колекторі.....  $\alpha_{ws}=248,2 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{K)}$   
Коефіцієнт тепловіддачі у повітряному каналі.....  $\alpha_{wsc}=80,9 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{K)}$

### ***Параметри у випускному колекторі***

Статичний тиск відпрацьованих газів (середній).....  $P_r = 0,317 \text{ МПа}$   
Статична температура відпрацьованих газів (середня).....  $T_r = 682,62 \text{ K}$   
Швидкість газу (середня).....  $W_r = 83,71 \text{ м/с}$   
Число Струхалія.....  $Sh = 10,333$   
Температура стінки випускного колектору (середня).....  $T_{wr} = 591,29 \text{ K}$   
Коефіцієнт тепловіддачі у випускному колекторі.....  $\alpha_{wt}=132,4 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{K)}$   
Коефіцієнт тепловіддачі в клапанному каналі.....  $\alpha_{wcr}=168,1 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{K)}$

### ***Параметри процесу згоряння***

Коефіцієнт надлишку повітря при згорянні.....  $\alpha = 2,788$   
Максимальний тиск згоряння.....  $P_z = 15,66 \text{ МПа}$   
Максимальна температура згоряння.....  $T_z = 1551,8 \text{ K}$   
Кут максимального тиску (за ВМТ).....  $\varphi_{pz} = 9 \text{ град}$   
Кут максимальної температури (за ВМТ).....  $\varphi_{tz} = 22 \text{ град}$   
Максимальна швидкість наростання тиску при згорянні.....  $dP/d\varphi=4,94 \text{ бар/град}$

### ***Параметри процесу упорскування палива***

Максимальний тиск упорскування.....  $P_{впр.мах} = 110,47 \text{ МПа}$   
Середній діаметр капель.....  $d_{32} = 21,957 \text{ мкм}$   
Кут випередження упорскування (до ВМТ).....  $\Theta_{вп} = 6 \text{ град}$   
Кут паливоподачі (тривалість).....  $\varphi_{впр} = 22 \text{ град}$   
Період затримки запалення.....  $\varphi_{затер} = 0,348 \text{ град}$   
Частка палива, яка випарувалася за період затримки.....  $Sig = 0,000128$

|     |      |             |        |      |                       |       |
|-----|------|-------------|--------|------|-----------------------|-------|
|     |      |             |        |      | ДП.142.6221м.07.02.ПЗ | Аркуш |
| Зм. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                       |       |

### **Екологічні показники двигуна**

|                                                         |                                            |
|---------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Емісія диму за шкалою Хартриджа.....                    | $Hartridge = 2,0522$                       |
| Емісія диму за шкалою Боша.....                         | $Bosch = 0,224$                            |
| Коефіцієнт абсолютного світло поглинання ВГ за ЄЕК..... | $K = 0,04886 \text{ м}^{-1}$               |
| Емісія твердих часток.....                              | $PM=0,042 \text{ г/(кВт}\cdot\text{год)}$  |
| Емісія $CO_2$ .....                                     | $CO_2=550,6\text{г/(кВт}\cdot\text{год)}$  |
| Концентрація вологих $NO_x$ .....                       | $NO_x = 742,23 \text{ 1/млн}$              |
| Емісія $NO_x$ приведена до $NO_2$ .....                 | $NO_2=2,76 \text{ г/(кВт}\cdot\text{год)}$ |
| Комплекс сумарної емісії $NO_x$ та $PM$ .....           | $SE = 0,5361$                              |
| Емісія $SO_2$ .....                                     | $SO_2 = 0 \text{ г/кВтч}$                  |

### **Параметри робочого циклу двигуна у характерних точках**

|                                          |                             |
|------------------------------------------|-----------------------------|
| Тиск на початку стиснення.....           | $P_a = 0,38379 \text{ МПа}$ |
| Температура на початку стиснення.....    | $T_a = 354,66 \text{ К}$    |
| Тиск кінця процесу стиснення.....        | $P_c = 11,976 \text{ МПа}$  |
| Температура кінця процесу стиснення..... | $T_c = 911,94 \text{ К}$    |
| Тиск початку процесу випуску.....        | $P_b = 1,3759 \text{ МПа}$  |
| Температура початку процесу випуску..... | $T_b = 961,68 \text{ К}$    |

### **Параметри робочого процесу двигуна**

|                                          |                                                |
|------------------------------------------|------------------------------------------------|
| Ступінь стиснення.....                   | $\varepsilon = 14$                             |
| Кількість соплових отворів форсунки..... | $i_{\text{сопел}} = 3$                         |
| Діаметр соплових отворів форсунки.....   | $d_{\text{сопел}} = 1,27 \text{ мм}$           |
| Початок впуску (до ВМТ).....             | $\varphi_{\text{вп. нач.}} = 40 \text{ град}$  |
| Кінець впуску (за НМТ).....              | $\varphi_{\text{вп. кін.}} = 40 \text{ град}$  |
| Початок випуску (до НМТ).....            | $\varphi_{\text{вип. нач.}} = 87 \text{ град}$ |
| Кінець випуску (за ВМТ).....             | $\varphi_{\text{вип. кін.}} = 57 \text{ град}$ |

### **Параметри компресору (ступені високого тиску)**

|                                          |                            |
|------------------------------------------|----------------------------|
| Частота обертання ротора компресору..... | $n = 1040 \text{ хв}^{-1}$ |
|------------------------------------------|----------------------------|

|     |      |             |        |      |                       |       |
|-----|------|-------------|--------|------|-----------------------|-------|
|     |      |             |        |      | ДП.142.6221м.07.02.ПЗ | Аркуш |
| Зм. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                       |       |

|                                                 |                                          |
|-------------------------------------------------|------------------------------------------|
| Потужність компресора.....                      | $N = 7190,6$ кВт                         |
| Адіабатний ККД компресора.....                  | $\eta_{ад} = 0,86$                       |
| Витрата повітря через компресор.....            | $G_{квт} = 46,01$ кг/с                   |
| Витрата повітря приведена через КВТ.....        | $G_{пр\_квт} = 796,73$ кг/с              |
| Витрата повітря через КВТ (скорегований).....   | $G_{сог\_квт} = 46,15$ кг/с              |
| Частота обертання ротора КВТ (приведена).....   | $n_{пр\_квт} = 61,283$ хв <sup>-1</sup>  |
| Частота обертання ротора КВТ (скорегована)..... | $n_{сог\_квт} = 1057,9$ хв <sup>-1</sup> |
| Ступінь підвищення тиску в компресорі ВТ.....   | $\Pi_{квт} = 3,8$                        |
| Повний тиск на вході в КВТ.....                 | $P_{о\_квт} = 0,098$ МПа                 |
| Температура гальмування на вході в КВТ.....     | $T_{о\_квт} = 288$ К                     |
| Повний тиск за компресором ВТ.....              | $P_{к} = 0,37240$ МПа                    |
| Температура гальмування за компресором ВТ.....  | $T_{к} = 443,51$ К                       |
| Термічна ефективність ОНП ВТ.....               | $\eta_{Еcool\_вт} = 0,85$                |
| Температура охолоджуючої води в ОНП ВТ.....     | $T_{cool\_вт} = 288$ К                   |
| Тиск наддуву за КВТ.....                        | $P_{к\_квт} = 0,3674$ МПа                |
| Температура надувного повітря за КВТ.....       | $T_{к\_квт} = 311,33$ К                  |

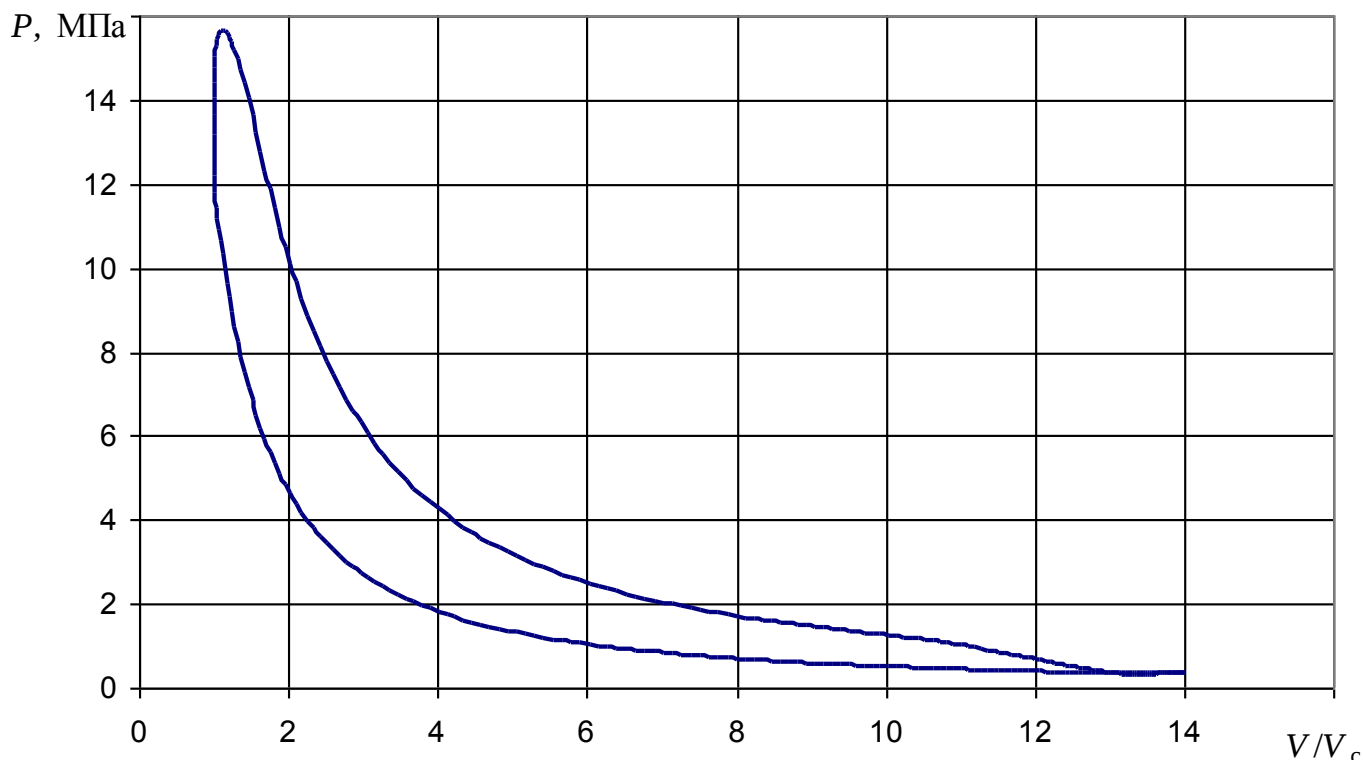
### **Параметри турбіни (ступені високого тиску)**

|                                                   |                                         |
|---------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| Частота обертання ротора.....                     | $n = 1040$ хв <sup>-1</sup>             |
| Потужність ТВТ з урахуванням механічного ККД..... | $N_{\_твт} = 8283$ кВт                  |
| Внутрішній ККД турбіни ВТ.....                    | $\eta_{т} = 0,91$                       |
| Механічний ККД турбіни ВТ.....                    | $\eta_{м} = 0,97$                       |
| Витрата газу через ТВТ.....                       | $G_{\_твт} = 47,053$ кг/с               |
| Витрата газу через ТВТ (приведена).....           | $G_{пр\_твт} = 387,81$                  |
| Частота обертання ротора ТВТ (приведена).....     | $n_{пр\_твт} = 39,793$ хв <sup>-1</sup> |
| Ступінь зниження тиску в турбіні ВТ.....          | $\Pi_{\_твт} = 3,11$                    |
| Відносна робота ТВТ.....                          | $B_{\_твт} = 27,294$                    |
| Повний тиск перед турбіною ВТ.....                | $P_{т\_твт} = 0,31709$ МПа              |
| Температура гальмування на вході в ТВТ.....       | $T_{т\_твт} = 683,04$ К                 |
| Протитиск за турбіною ВТ.....                     | $P_{о\_твт} = 0,10196$ МПа              |

|     |      |             |        |      |                       |       |
|-----|------|-------------|--------|------|-----------------------|-------|
|     |      |             |        |      | ДП.142.6221м.07.02.ПЗ | Аркуш |
| Зм. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                       |       |

Температура газу за турбіною ВТ.....  $T_{O\_ТВТ} = 524,22 \text{ К}$

На підставі виконаного розрахунку робочого циклу модернізованого головного суднового двотактного двигуна 6ДКРН 80/230 побудовано теоретичну індикаторну діаграму, яка представлена на рис. 2.1.



*Рисунок 2.1 – Індикаторна діаграма малообертового модернізованого двигуна 6ДКРН 80/230*

## 2.4. Висновки до розділу

У результаті проведених розрахунку робочого циклу головного суднового двотактного двигуна 6ДКРН 80/230 виробництва фірми MAN B&W з модернізованою паливною системою за допомогою програми Diesel-RK, отримано усі необхідні параметри циклу, які знадобляться для подальшого дослідження та розрахунку нової паливної системи з гідравлічним приводом. Основні результати виконаного розрахунку узагальнено та представлено у таблиці 2.2

З наведених у таблиці 2.2 результатів моделювання видно, що модернізований малообертовий двигун з паливною системою з гідравлічним приводом

|     |      |             |        |      |                       |       |
|-----|------|-------------|--------|------|-----------------------|-------|
|     |      |             |        |      | ДП.142.6221м.07.02.ПЗ | Аркуш |
| Зм. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                       |       |

за енергетичними, економічними та екологічними показниками переважає двигун-прототип. Зокрема, питома ефективна витрата палива знизилась на 3 г/(кВт·год), що є досить суттєво, а ефективна потужність збільшилася на 2880 кВт (15,4 %).

**Таблиця 2.2 – Параметри модернізованого головного суднового дво-  
тактного двигуна 6ДКРН 80/230**

| № з. п. | Параметр, позначення та розмірність                           | Значення |
|---------|---------------------------------------------------------------|----------|
| 1       | Ефективна потужність, $N_e$ , кВт                             | 21600    |
| 2       | Питома ефективна витрата палива, $g_e$ г/(кВт·год)            | 170      |
| 3       | Середній ефективний тиск, $p_e$ , МПа                         | 1,8      |
| 4       | Ефективний КПД, $\eta_e$                                      | 0,49     |
| 5       | Максимальний тиск згоряння, $P_z$ , МПа                       | 15,66    |
| 6       | Максимальна температура згоряння, $T_z$ , К                   | 1551,8   |
| 7       | Тиск наддуву $P_k$ , МПа                                      | 3,67     |
| 8       | Витрата газів через турбіну, $G_t$ , кг/с                     | 47,053   |
| 9       | Витрата повітря, $G$ кг/с                                     | 46,009   |
| 10      | Максимальна швидкість наростання тиску, $dP/d\phi$ , МПа/град | 4,94     |
| 11      | Емісія диму за шкалою Хартриджа                               | 2,0522   |
| 12      | Емісія диму за шкалою Бош                                     | 0,224    |
| 13      | Коефіцієнт абсолютного світло поглинання ВГ по ЄЕК, 1/м       | 0,048    |
| 14      | Емісія твердих часток, РМ, г/(кВт·год)                        | 0,042    |
| 15      | Емісія двоокису вуглецю, $CO_2$ , г/(кВт·год)                 | 550,62   |
| 16      | Емісія $NO_x$ приведена до $NO_2$ , г/(кВт·год)               | 2,76     |
| 17      | Комплекс сумарної емісії $NO_x$ та РМ, SE                     | 0,53     |

|           |      |                 |        |      |                                                                        |  |  |      |  |      |         |  |
|-----------|------|-----------------|--------|------|------------------------------------------------------------------------|--|--|------|--|------|---------|--|
|           |      |                 |        |      | ДП.142.6221м.07.03.ПЗ                                                  |  |  |      |  |      |         |  |
|           |      |                 |        |      |                                                                        |  |  |      |  |      |         |  |
| Зм.       | Арк. | № докум.        | Підпис | Дата |                                                                        |  |  |      |  |      |         |  |
| Студент   |      | Мелконян Л.Т.   |        |      | Розрахунок динаміки та<br>міцності деталей КШМ<br>двигуна 6ДКРН 80/230 |  |  | Літ. |  | Арк. | Аркушів |  |
| Консульт. |      |                 |        |      |                                                                        |  |  |      |  |      |         |  |
| Керівник  |      | Митрофанов О.С. |        |      |                                                                        |  |  | НУК  |  |      |         |  |
|           |      |                 |        |      |                                                                        |  |  |      |  |      |         |  |
|           |      |                 |        |      |                                                                        |  |  |      |  |      |         |  |

### 3.1. Розрахунки динаміки головного суднового двигуна 6ДКРН 80/230

Сучасні надійні, довговічні та економічні двигуни внутрішнього згоряння не може бути створені без коректного кінематичного, а також динамічного розрахунків, виконаних з урахуванням дійсних величин та характеру зміни сил, що навантажують основні деталі кривошипно-шатунного механізму (КШМ).

Надійність, довговічність та економічність сучасних ДВЗ залежить також від обраної схеми КШМ, рівномірності ходу, врівноваженості двигуна, а також величини крутильних коливань колінчастого валу. Для рівномірного обертання колінчастого валу та зниження крутильних коливань застосовують маховик. Крутний момент на валу двигуна змінюється за величиною та напрямом залежно від кута повороту валу двигуна.

Динамічний розрахунок КШМ полягає у визначенні сумарних сил та моментів, що виникають від газових та інерційних сил. На деталі КШМ діють сили: тиску газів; інерції; внутрішнього (шкідливого) опору; зовнішнього (корисного) опору; тяжкості (сили тяжіння у динамічних розрахунках поршневих ДВЗ не враховують). Сили тиску газів, що діють на поверхню поршня, для спрощення динамічного розрахунку замінюють спрямованою по осі циліндра силою, що додається до осі поршневого пальця. Сила тиску газів визначається за результатами теплового розрахунку. Сили тиску газів є позитивними, якщо вони спрямовані до осі колінчастого валу та негативними, якщо вони спрямовані від колінчастого валу.

Сила інерції спрямована у протилежний бік прискоренню. Сили інерції зворотно-поступально рухомих мас діють по осі циліндра й є позитивними, якщо вони спрямовані до осі колінчастого валу. Сумарну силу знаходиться шляхом складання сил тиску газів та сил інерції зворотно-поступально рухомих мас.

Для визначення інерційних сил, які виникають при роботі двигуна, необхідно визначити масу деталей, що рухаються. Для розрахунків зазвичай використовують маси деталей, наведені до площі поршня. Наведену масу деталей

|     |       |          |        |      |                       |      |
|-----|-------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|     |       |          |        |      | ДП.142.6221м.07.03.ПЗ | Арк. |
| Зм. | Аркуш | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |

вибирають на основі даних з аналогічних деталей подібних двигунів. На рис. 3.1 представлено приведені маси кривошипно-шатунного механізму, що використовуються при розрахунку сил інерції.

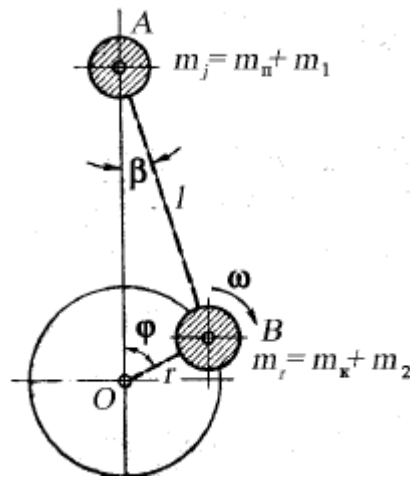


Рисунок 3.1 – Приведені маси кривошипно-шатунного механізму двигуна

Приведена маса шатуна двигуна знаходиться у центрі верхньої головки шатуна та здійснює поступальний рух й визначається:

$$M_{us} = M_{ш} \cdot \frac{b}{a+b} = M_{ш} \cdot \frac{b}{L} = 0,3 \cdot 7340 = 2202 \text{ кг} .$$

де  $M_{ш}$  – маса шатуна.

Поршень, поршневий шток та кільця здійснюють тільки поступальний рух тому їх маса не приводяться. Загальна маса ланок, які поступально рухаються визначається:

$$M_s = M_{\pi} + M_{us} = 2949 + 2202 = 5151 \text{ кг},$$

де  $M_{\pi}$  – маса поршня та з'єднаних з ним деталей, які здійснюють поступальний рух.

Для зручності розрахунків абсолютні маси заміняють віднесеними до площі поршня

$$F_n = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,8^2}{4} = 0,5024 \text{ м}^2; \quad m_s = \frac{M_s}{F_n} , \text{ кг/м}^2.$$

Сила інерції зворотно-поступально рухомих мас визначається як добуток маси  $m_s$  на прискорення поршня, взяте зі зворотним знаком, за формулою:

|     |       |          |        |      |                       |      |
|-----|-------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|     |       |          |        |      | ДП.142.6221м.07.03.ПЗ | Арк. |
| Зм. | Аркуш | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |

$$P_s = -m_s \cdot r \cdot \omega^2 \cdot (\cos \varphi + \lambda_{ш} \cdot \cos \varphi), \text{ МПа.}$$

Рушійна сила, яка виникає у двигуні є рівнодіючою всіх сил, які діють на поршень, а саме сили тиску газів у циліндрі  $P_{\Gamma}$ , сили тиску повітря в підпоршневій порожнині  $P_{пш}$ , сили інерції  $P_j$  та сили тяжіння  $P_T$  ( $P_T = m_s \cdot g$ ):

$$P_{руш} = P_{\Gamma} - P_{пш} + P_j + P_T, \text{ МПа}$$

Рушійна сила розкладається на дві складові:

– нормальну силу, яка діє перпендикулярно до осі робочого циліндра

$$N = P_{\partial\epsilon} \cdot \operatorname{tg} \beta$$

– силу, що діє уздовж осі шатуна

$$Q = \frac{P_{\partial\epsilon}}{\cos \beta}$$

Силу  $Q$  розкладаємо на дві складові:

– радіальну силу, що діє уздовж кривошипа

$$Z = Q \cdot \cos(\varphi + \beta) = P_{\partial\epsilon} \cdot \cos(\varphi + \beta) / \cos \beta$$

– дотичну силу

$$T = Q \cdot \sin(\varphi + \beta) = P_{\partial\epsilon} \cdot \sin(\varphi + \beta) / \cos \beta$$

**Таблиця 3.1– Вхідні дані для розрахунку діючих зусиль суднового головного малообертового двигуна 6ДКРН 80/230**

|                                                |                  |              |       |
|------------------------------------------------|------------------|--------------|-------|
| Діаметр поршня                                 | м                | $D$          | 0,8   |
| Частота обертання колінчастого валу            | $\text{хв}^{-1}$ | $n$          | 104   |
| Максимальний тиск згоряння                     | МПа              | $P_z$        | 15,66 |
| Тиск на початку процесу стиску                 | МПа              | $P_a$        | 0,383 |
| Тиск наддуву                                   | МПа              | $P_k$        | 0,367 |
| Тиск залишкових газів                          | МПа              | $P_{\Gamma}$ | 0,317 |
| Кривошипно-шатунне відношення                  |                  | $\lambda$    | 0,428 |
| Маса деталей, що рухаються возвратно-поступово | кг               | $m$          | 5151  |
| Радіус кривошипа колінчастого валу             | м                | $r$          | 1,15  |
| Ступінь стиснення                              |                  | $\epsilon$   | 14    |
| Показник політропи стиснення                   |                  | $n_1$        | 1,364 |
| Показник політропи розширення                  |                  | $n_2$        | 1,293 |
| Ступінь попереднього розширення                |                  | $\rho$       | 1,681 |
| Кількість циліндрів                            |                  | $i$          | 6     |

|     |       |          |        |      |                       |      |
|-----|-------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|     |       |          |        |      | ДП.142.6221м.07.03.ПЗ | Арк. |
| Зм. | Аркуш | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |

Динамічний розрахунок суднового головного малообертового двигуна 6ДКРН 80/230 виконаний за допомогою програми *Excel*, а результати представлений в таблиці 3.2–3.3 за якими будуються діаграми подані на рис. 3.2 – 3.4.

**Таблиця 3.2 – Результати динамічного розрахунку суднового головного малообертового двигуна 6ДКРН 80/230**

| $\varphi^\circ$ | <b>Pr</b> | <b>Pj</b> | <b>Pdv</b> | <b>N</b> | <b>Z</b> | <b>T</b> |
|-----------------|-----------|-----------|------------|----------|----------|----------|
| 0               | 0,383     | 0,799     | 1,182      | 0,000    | -1,182   | 0,000    |
| 15              | 0,388     | 0,832     | 1,219      | -0,136   | -1,213   | -0,185   |
| 30              | 0,403     | 0,911     | 1,314      | -0,286   | -1,281   | -0,410   |
| 45              | 0,433     | 0,988     | 1,421      | -0,444   | -1,319   | -0,691   |
| 60              | 0,484     | 0,998     | 1,481      | -0,576   | -1,239   | -0,995   |
| 75              | 0,569     | 0,879     | 1,448      | -0,635   | -0,988   | -1,234   |
| 90              | 0,711     | 0,598     | 1,309      | -0,597   | -0,597   | -1,309   |
| 105             | 0,964     | 0,156     | 1,120      | -0,491   | -0,185   | -1,209   |
| 120             | 1,443     | -0,400    | 1,044      | -0,406   | 0,171    | -1,107   |
| 135             | 2,443     | -0,988    | 1,455      | -0,454   | 0,707    | -1,350   |
| 150             | 4,726     | -1,509    | 3,217      | -0,699   | 2,436    | -2,214   |
| 165             | 9,648     | -1,867    | 7,781      | -0,865   | 7,292    | -2,850   |
| 180             | 14,013    | -1,995    | 12,018     | 0,000    | 12,018   | 0,000    |
| 195             | 15,660    | -1,867    | 13,793     | 1,534    | 12,926   | 5,052    |
| 210             | 10,939    | -1,509    | 9,430      | 2,049    | 7,142    | 6,490    |
| 225             | 5,851     | -0,988    | 4,864      | 1,519    | 2,365    | 4,513    |
| 240             | 3,554     | -0,400    | 3,154      | 1,226    | 0,516    | 3,344    |
| 255             | 2,424     | 0,156     | 2,580      | 1,132    | -0,426   | 2,785    |
| 270             | 1,817     | 0,598     | 2,415      | 1,102    | -1,102   | 2,415    |
| 285             | 1,469     | 0,879     | 2,349      | 1,030    | -1,603   | 2,002    |
| 300             | 1,261     | 0,998     | 2,259      | 0,878    | -1,890   | 1,517    |
| 315             | 1,136     | 0,988     | 2,123      | 0,663    | -1,970   | 1,033    |
| 330             | 1,061     | 0,911     | 1,972      | 0,429    | -1,922   | 0,615    |
| 345             | 0,523     | 0,832     | 1,355      | 0,151    | -1,347   | 0,205    |
| 360             | 0,383     | 0,799     | 1,182      | 0,000    | -1,182   | 0,000    |

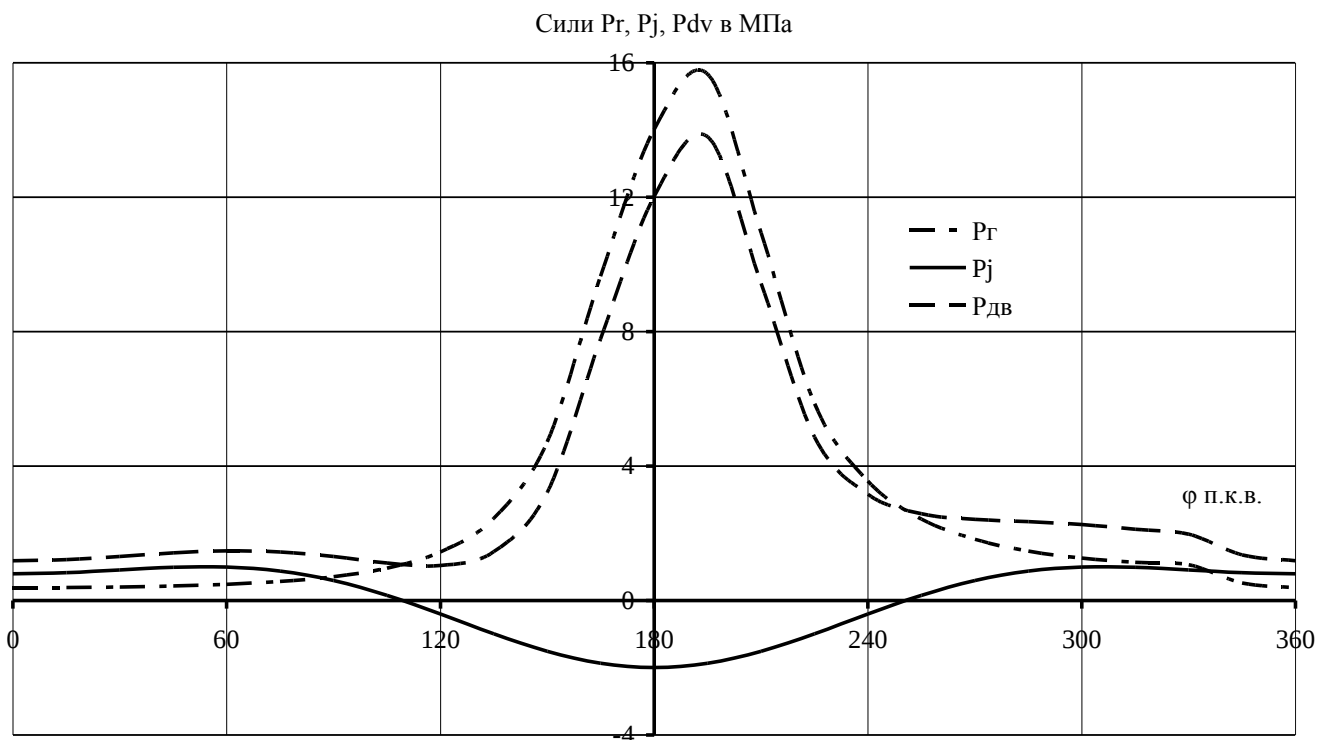


Рисунок 3.2 – Діаграми сил  $P_r$ ,  $P_j$ ,  $P_{dv}$  головного суднового малообертового двигуна 6ДКРН 80/230

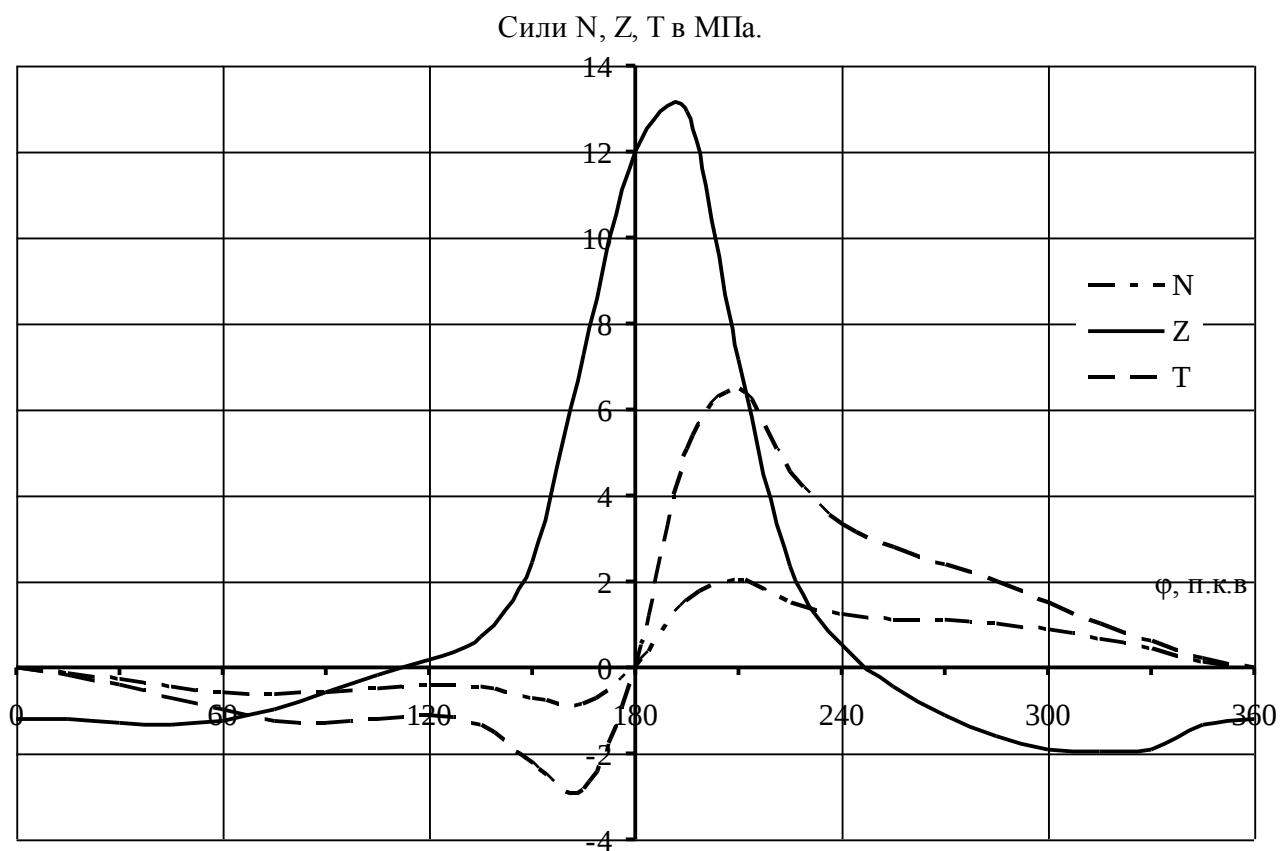


Рисунок 3.3 – Діаграми сил  $N$ ,  $Z$ ,  $T$  головного суднового малообертового двигуна 6ДКРН 80/230

Сумарні дотичні сили в багатоциліндровому судновому малообертовому двигуні 6ДКРН 80/230 визначаються для розрахунку обертового моменту та колінчатого вала на міцність. У таблиці 3.3 наведено результати розрахунку сумарної дотичної сили двигуні 6ДКРН 80/230.

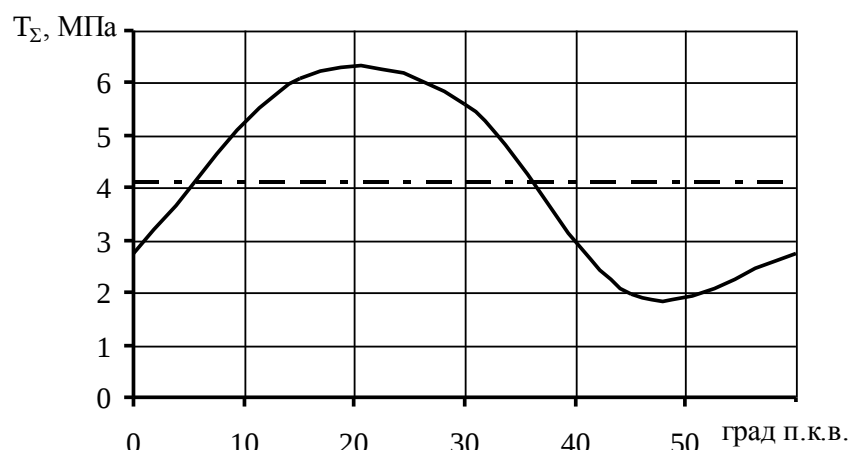
**Таблиця 3.3 – Визначення сумарних дотичних сил головного суднового малообертового двигуна 6ДКРН 80/230**

| $\varphi^\circ$ | $T_\Sigma$     |        |        |       |       |       | $T_\Sigma$ | $T^{cp}_\Sigma$ |
|-----------------|----------------|--------|--------|-------|-------|-------|------------|-----------------|
|                 | Номер циліндра |        |        |       |       |       |            |                 |
|                 | 1              | 2      | 3      | 4     | 5     | 6     |            |                 |
| 0               | 0,000          | -0,995 | -1,107 | 0,000 | 3,344 | 1,517 | 2,76       | 4,10            |
| 15              | -0,185         | -1,234 | -1,350 | 5,052 | 2,785 | 1,033 | 6,10       | 4,10            |
| 30              | -0,410         | -1,309 | -2,214 | 6,490 | 2,415 | 0,615 | 5,59       | 4,10            |
| 45              | -0,691         | -1,209 | -2,850 | 4,513 | 2,002 | 0,205 | 1,97       | 4,10            |
| 60              | -0,995         | -1,107 | 0,000  | 3,344 | 1,517 | 0,000 | 2,76       | 4,10            |
|                 |                |        |        |       |       |       | 16,42      |                 |

Середнє значення сумарної дотичної сили  $T_{\Sigma cp}$  визначається за даними представленими у таблиці 3.3 за наступною формулою:

$$T_{\Sigma cp} = \sum_{\varphi=0}^{\varphi_3-\Delta\varphi} T_{\Sigma\varphi} \cdot \Delta\varphi / \varphi_3; \quad T_{\Sigma cp} = 16,42 \cdot \frac{15}{60} = 4,10 \text{ МПа}.$$

На рис.3.4 наведено залежність зміни сумарної дотичної сили головного суднового малообертового двигуна 6ДКРН 80/230  $T_\Sigma$  та середнє за часом значення його сумарної дотичної сили  $T_{\Sigma cp}$ .



**Рисунок 3.4 – Графік сумарних дотичних сил головного суднового малообертового двигуна 6ДКРН 80/230**

### 3.2. Розрахунок на міцність деталей КШМ головного суднового малообертового двигуна 6ДКРН 80/230

#### 3.2.1. Розрахунок колінчастого валу двигуна 6ДКРН 80/230

У групу колінчастого валу входять безпосередньо колінчастий вал, противаги, розподільча шестерня або зірочка, шестерні приводу навішених допоміжних механізмів, вузол осьової фіксації, демпфер та маховик.

Колінчастий вал двигуна 6ДКРН 80/230 приймає зусилля від штоку поршня та шатунів, перетворює їх у крутний момент й передає його споживачеві. Також колінчастий вал здійснює переміщення поршнів у допоміжних ходах, приводить у дію допоміжні механізми. На вал діють сили від тиску газів та сили інерції мас, що поступово рухаються й обертаються. Вони викликають деформацію в елементах, концентрацію напруг, тертя та зношування шийок та підшипників колінчастого валу двигуна. Періодично змінний крутний момент викликають крутильні коливання валу, які збільшують напругу в його елементах та можуть сприяти втомному руйнуванню.

#### **Вихідні дані для розрахунку колінчастого валу двигуна 6ДКРН 80/230:**

|                                                  |                            |
|--------------------------------------------------|----------------------------|
| Діаметр робочого цилиндру                        | $D := 800 \text{ мм}$      |
| Максимальний тиск згоряння у робочому циліндрі   | $P_z := 15.66 \text{ МПа}$ |
| Частота обертання колінчастого валу              | $n := 104 \text{ хв}^{-1}$ |
| Максимальне значення абсолютної сили інерції     | $P_j := 1.995 \text{ МПа}$ |
| Радіус кривошипа колінчастого валу               | $r := 1150 \text{ мм}$     |
| Дотична сила при тиску у робочому циліндрі $P_z$ | $T_z := 5.052 \text{ МПа}$ |
| Максимальне значення дотичної сили               | $T := 6.49 \text{ МПа}$    |
| Максимальне значення радіальної сили             | $Z := 12.926 \text{ МПа}$  |

#### **Розрахунок:**

Розрахунок на міцність колінчастого валу двигуна 6ДКРН 80/230 проводиться в трьох його небезпечних положеннях:

– при знаходженні у ВМТ та найбільшому значенні радіального зусилля, яке становить  $P_z$  МПа вважаючи, що  $P_j = 0$ ;

|     |       |          |        |      |                       |      |
|-----|-------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|     |       |          |        |      | ДП.142.6221м.07.03.ПЗ | Арк. |
| Зм. | Аркуш | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |

- у положенні колінчатого валу двигуна яке відповідає максимальному значенню тангенціального зусилля розаховуємого коліна;
- у положенні колінчатого валу двигуна, яке відповідає найбільшому значенню тангенціального зусилля.

***Розрахунок колінчатого валу двигуна 6ДКРН 80/230 у першому положенні:***

Значення основних конструктивних параметрів колінчатого валу двигуна 6ДКРН 80/230

Діаметр та довжина корінної шийки колінчатого валу двигуна зі сторони відбору потужності –  $d_k := 700 \text{ мм}$ ;  $l_k := 300 \text{ мм}$ .

Діаметр та довжина корінної шийки колінчатого валу двигуна з сторони протилежної відбору потужності –  $d'_k := 700 \text{ мм}$ ;  $l'_k := 300 \text{ мм}$ .

Діаметр шатунної шийки колінчатого валу двигуна –  $d_{ш} := 700 \text{ мм}$ .

Довжина шатунної шийки колінчатого валу двигуна –  $l_{ш} := 270 \text{ мм}$ .

Товщина щоки колінчатого валу двигуна –  $h := 290 \text{ мм}$ .

Радіус кривошипа колінчатого валу двигуна –  $r = 1.15 \times 10^3 \text{ мм}$ .

Ширина щоки колінчатого валу двигуна –  $b := 1860 \text{ мм}$ .

Відстань між серединами корінних шийок колінчатого валу двигуна –  $L := 1080 \text{ мм}$ .

Відстань від середини корінної шийки колінчатого валу двигуна до середини щоки з боку відбору потужності –  $a_1 := 290 \text{ мм}$ ;

з боку протилежного відбору потужності –  $a'_1 := 290 \text{ мм}$ .

Відстань від середини корінної шийки колінчатого валу двигуна до щоки з боку відбору потужності двигуна –  $a := 155 \text{ мм}$ ; з боку протилежної відбору потужності двигуна –  $a' := 155 \text{ мм}$ .

***Розрахунок рамової шийки колінчатого валу двигуна зі сторони відбору потужності двигуна***

Момент згинання на корінній шийці колінчатого валу двигуна

|     |       |          |        |      |                       |      |
|-----|-------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|     |       |          |        |      | ДП.142.6221м.07.03.ПЗ | Арк. |
| Зм. | Аркуш | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |

$$M_{u1} = P_z \cdot \left( \pi \cdot \frac{D^2}{4} \right) \cdot \frac{\left( a' + h + \frac{l_{ш}}{2} \right)}{L} \cdot a \quad M_{u1} = 6.552 \times 10^8 \text{ Нмм}$$

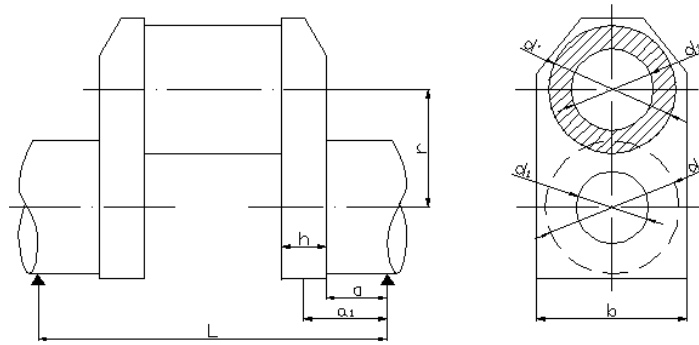


Рисунок 3.5 – Основні гелметричні розміри колінчатого валу двигуна 6ДКРН 80/230

Значення моменту опору шийки колінчатого валу двигуна

$$W := 0.1 \cdot \frac{d_k^4 - d_{k1}^4}{d_k} \quad W = 3.43 \times 10^7 \text{ мм}^3$$

де  $d_{k1} := 65 \text{ мм}$  – значення діаметру отвору у шийці колінчатого валу двигуна.

Напруга від згинання шийки колінчатого валу двигуна

$$\sigma_u := \frac{M_{u1}}{W} \quad \sigma_u = 19.105 \text{ МПа}$$

Значення моменту, який скручує шийку колінчатого валу двигуна

$$M_k := T_z \cdot \left( \pi \cdot \frac{D^2}{4} \right) \cdot r \quad M_k = 2.92 \times 10^9 \text{ Нмм}$$

**Абсолютне значення дотичної сили у момент пуску двигуна**

Значення полярного моменту опору перетину шийки колінчатого валу двигуна

$$W_n := 2 \cdot W \quad W_n = 6.859 \times 10^7 \text{ мм}^3$$

Значення напруги кручення шийки колінчатого валу двигуна

$$\tau_k := \frac{M_k}{W_n} \quad \tau_k = 42.573 \text{ МПа}$$

Складне навантаження на шийцку колінчатого валу двигуна

$$\sigma_c := \sqrt{\sigma_u^2 + 4 \cdot \tau_k^2} \quad \sigma_c = 87.264 \text{ МПа}$$

|     |       |          |        |      |                       |      |
|-----|-------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|     |       |          |        |      | ДП.142.6221м.07.03.ПЗ | Арк. |
| Зм. | Аркуш | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |

***Розрахунок рамової шийки колінчатого валу двигуна зі сторони протилежної відбору потужності від двигуна***

Значення згинаючого моменту на корінній шийці колінчатого валу двигуна

$$M_{u2} = P_z \cdot \left( \pi \cdot \frac{D^2}{4} \right) \cdot \frac{\left( a + h + \frac{l_{ш}}{2} \right)}{L} \cdot a' \quad M_{u2} = 6.552 \times 10^8 \text{ Нмм}$$

Значення моменту опору шийки колінчатого валу двигуна

$$W' := 0.1 \cdot d_k'^3 \quad W' = 3.43 \times 10^7 \text{ мм}^3$$

Значення напруги від згинання шийки колінчатого валу двигуна

$$\sigma'_u := \frac{M_{u2}}{W'} \quad \sigma'_u = 19.105 \text{ МПа}$$

Значення моменту, який скручує шийку колінчатого валу двигуна

$$M_k := T_z \cdot \left( \pi \cdot \frac{D^2}{4} \right) \cdot r \quad M_k = 1.265 \times 10^9 \text{ Нмм}$$

Значення полярного моменту опору перетину шийки колінчатого валу двигуна

$$W'_n := 2 \cdot W' \quad W'_n = 6.86 \times 10^7 \text{ мм}^3$$

Значення напруги від кручення шийки колінчатого валу двигуна

$$\tau'_k := \frac{M_k}{W'_n} \quad \tau'_k = 18.436 \text{ МПа}$$

Складне навантаження на шийці колінчатого валу двигуна

$$\sigma'_c := \sqrt{\sigma'_u{}^2 + 4 \cdot \tau'_k{}^2} \quad \sigma'_c = 41.528 \text{ МПа}$$

Корінна шийка колінчатого валу двигуна 6ДКРН 80/230 з боку відбору потужності має більшу довжину, що пов'язане зі застосуванням на ній підшипника ковзання. Відповідно до чого розрахунок необхідно далі проводити саме для неї, як для найбільш навантаженої. Це підтверджується порівнянням складних навантажень корінних шийок колінчатого валу.

***Розрахунок щокі коліна колінчатого валу двигуна 6ДКРН 80/230***

Значення згинаючого моменту від реакції на  $P_z$  на плече  $a_1$

|     |       |          |        |      |                       |      |
|-----|-------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|     |       |          |        |      | ДП.142.6221м.07.03.ПЗ | Арк. |
| Зм. | Аркуш | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |

$$M_u = P_z \cdot \left( \pi \cdot \frac{D^2}{4} \right) \cdot \frac{\left( a' + h + \frac{l_{\text{ш}}}{2} \right)}{L} \cdot a_1 \quad M_u = 1.226 \times 10^9 \text{ Нмм}$$

Значення моменту опору щоки колінчатого валу двигуна

$$W := \frac{b \cdot h^2}{6} \quad W = 2.607 \times 10^7 \text{ мм}^3$$

Значення напруга від згинання щоки колінчатого валу двигуна

$$\sigma_u := \frac{M_u}{W} \quad \sigma_u = 47.023 \text{ МПа}$$

Значення згинаючого моменту щоки колінчатого валу двигуна від тангенціаль-  
ної сили

$$M'_u := T_z \cdot \left( \pi \cdot \frac{D^2}{4} \right) \cdot r \quad M'_u = 1.265 \times 10^9 \text{ Нмм}$$

Значення момент опору щоки колінчатого валу двигуна

$$W' := \frac{h \cdot b^2}{6} \quad W' = 1.672 \times 10^8 \text{ мм}^3$$

Значення напруги від згинання щоки колінчатого валу двигуна

$$\sigma'_u := \frac{M'_u}{W'} \quad \sigma'_u = 7.563 \text{ МПа}$$

Значення напруги від стиску силою  $P_z / 2$

$$\sigma_{\text{см}} := \frac{P_z \cdot \left( \pi \cdot \frac{D^2}{4} \right)}{2 \cdot b \cdot h} \quad \sigma_{\text{см}} = 7.297 \text{ МПа}$$

Значення сумарного навантаження в щьоці колінчатого валу двигуна

$$\sigma_{\Sigma} := \sigma_u + \sigma'_u + \sigma_{\text{см}} \quad \sigma_{\Sigma} = 61.883 \text{ МПа}$$

**Розрахунок мотилевої шийки колінчатого валу двигуна 6ДКРН 80/230**

Значення згинаючого моменту шийки колінчатого валу двигуна від сили  $P_z$

$$M := \frac{P_z \cdot \left( \pi \cdot \frac{D^2}{4} \right) \cdot l_{\text{ш}}}{4} \quad M = 5.313 \times 10^8 \text{ Нмм}$$

Значення момент опору шийки колінчатого валу двигуна

|     |       |          |        |      |                       |      |
|-----|-------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|     |       |          |        |      | ДП.142.6221м.07.03.ПЗ | Арк. |
| Зм. | Аркуш | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |

$$W := 0.1 \cdot \frac{d_{\text{ш}}^4 - d_{\text{ш1}}^4}{d_{\text{ш}}} \quad W = 3.43 \times 10^7 \text{ мм}^3$$

де  $d_{\text{ш1}} := 56 \text{ мм}$  – значення діаметру отвору в шийці колінчатого валу двигуна.

Значення напруги від згинання мотилевої шийки колінчатого валу двигуна

$$\sigma_u := \frac{M}{W} \quad \sigma_u = 15.491 \text{ МПа}$$

Момент, який скручує мотилеву шийку колінчатого валу двигуна

$$M_k := T_z \cdot \left( \pi \cdot \frac{D^2}{4} \right) \cdot r \quad M_k = 1.265 \times 10^9 \text{ Нмм}$$

Значення полярного моменту опору перетину шийки колінчатого валу двигуна

$$W_n := 2 \cdot W \quad W_n = 6.86 \times 10^7 \text{ мм}^3$$

Значення напруги від кручення мотилевої шийки колінчатого валу двигуна

$$\tau_k := \frac{M_k}{W_n} \quad \tau_k = 18.437 \text{ МПа}$$

Значення складного навантаження на шийці колінчатого валу двигуна

$$\sigma_c := \sqrt{\sigma_u^2 + 4 \cdot \tau_k^2} \quad \sigma_c = 39.996 \text{ МПа}$$

**Розрахунок колінчатого валу двигуна 6ДКРН 80/230 у другому положенні**

**Розрахунок рамової шийки колінчатого валу двигуна зі сторони відбору потужності**

Значення згинаючого моменту на корінній шийці колінчатого валу двигуна від реакцій на  $T$  та  $Z$

$$M_{1u} = T \cdot \left( \pi \cdot \frac{D^2}{4} \right) \cdot \frac{\left( a' + h + \frac{l_{\text{ш}}}{2} \right)}{L} \cdot a \quad M_{1u} = 2.716 \times 10^8 \text{ Нмм}$$

Максимальне абсолютне значення дотичної сили

$$M_{2u} = Z \cdot \left( \pi \cdot \frac{D^2}{4} \right) \cdot \frac{\left( a' + h + \frac{l_{\text{ш}}}{2} \right)}{L} \cdot a \quad M_{2u} = 5.408 \times 10^8 \text{ Нмм}$$

Значення радіальної сили, яке відповідає максимальному значенню  $T$

|     |       |          |        |      |                       |      |
|-----|-------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|     |       |          |        |      | ДП.142.6221м.07.03.ПЗ | Арк. |
| Зм. | Аркуш | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |

Значення сумарного згинаючого моменту колінчатого валу двигуна

$$M_u := \sqrt{M_{1u}^2 + M_{2u}^2} \quad M_u = 6.052 \times 10^8 \text{ Нмм}$$

Значення момент опору шийки колінчатого валу двигуна

$$W := 0.1 \cdot \frac{d_k^4 - d_{k1}^4}{d_k} \quad W = 3.43 \times 10^7 \text{ мм}^3$$

де  $d_{k1} := 56 \text{ мм}$  – значення діаметру отвору в шийці колінчатого валу двигуна.

Значення напруги від згинання колінчатого валу двигуна

$$\sigma_u := \frac{M_u}{W} \quad \sigma_u = 17.645 \text{ МПа}$$

Значення моменту, який скручує шийку колінчатого валу двигуна

$$M_k := T_z \cdot \left( \pi \cdot \frac{D^2}{4} \right) \cdot r \quad M_k = 1.265 \times 10^9 \text{ Нмм}$$

Значення полярного моменту опору перетину шийки колінчатого валу двигуна

$$W_n := 2 \cdot W \quad W_n = 6.86 \times 10^7 \text{ мм}^3$$

Значення напруги від кручення колінчатого валу двигуна

$$\tau_k := \frac{M_k}{W_n} \quad \tau_k = 18.437 \text{ МПа}$$

Складне навантаження шийки колінчатого валу двигуна

$$\sigma_c := \sqrt{\sigma_u^2 + 4 \cdot \tau_k^2} \quad \sigma_c = 40.878 \text{ МПа}$$

### ***Розрахунок щок коліна колінчатого валу двигуна 6ДКРН 80/230***

Значення згинаючого моменту щок коліна колінчатого валу двигуна від реакції

Z на плече  $a_1$

$$M_u = Z \cdot \left( \pi \cdot \frac{D^2}{4} \right) \cdot \frac{\left( a' + h + \frac{l_{ш}}{2} \right)}{L} \cdot a_1 \quad M_u = 1.012 \times 10^9 \text{ Нмм}$$

Значення моменту опору щок колінчатого валу двигуна

$$W := \frac{b \cdot h^2}{6} \quad W = 2.607 \times 10^7 \text{ мм}^3$$

Значення від напруги згинання щок колінчатого валу двигуна

|     |       |          |        |      |                       |      |
|-----|-------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|     |       |          |        |      | ДП.142.6221м.07.03.ПЗ | Арк. |
| Зм. | Аркуш | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |

$$\sigma_u := \frac{M_u}{W} \quad \sigma_u = 38.813 \text{ МПа}$$

Значення згинаючого моменту від тангенціальної сили щоки колінчатого валу двигуна

$$M_u := T_z \cdot \left( \pi \cdot \frac{D^2}{4} \right) \cdot r \quad M_u = 1.265 \times 10^9 \text{ Нмм}$$

Значення моменту опору щоки колінчатого валу двигуна

$$W' := \frac{h \cdot b^2}{6} \quad W' = 1.672 \times 10^8 \text{ мм}^3$$

Значення від напруги згинання щоки колінчатого валу двигуна

$$\sigma'_u := \frac{M_u}{W'} \quad \sigma'_u = 7.563 \text{ МПа}$$

Значення від напруги стиску силою  $Z / 2$

$$\sigma_{cm} := \frac{Z \cdot \left( \pi \cdot \frac{D^2}{4} \right)}{2 \cdot b \cdot h} \quad \sigma_{cm} = 6.023 \text{ МПа}$$

Значення сумарного навантаження в щьоці колінчатого валу двигуна

$$\sigma_{\Sigma} := \sigma_u + \sigma'_u + \sigma_{cm} \quad \sigma_{\Sigma} = 52.399 \text{ МПа}$$

Значення моменту від скручення щоки колінчатого валу двигуна силою  $T$  на плечі  $a_1$

$$M_k := T_z \cdot \left( \pi \cdot \frac{D^2}{4} \right) \cdot \frac{\left( a' + h + \frac{l_w}{2} \right)}{L} \cdot a_1 \quad M_k = 1.713 \times 10^8 \text{ Нмм}$$

Значення полярного моменту опору перетину шийки колінчатого валу двигуна

$$W_n := \frac{2}{9} \cdot b \cdot h^2 \quad W_n = 3.476 \times 10^7 \text{ мм}^3$$

Значення максимальної напруги посередені широкої сторони щоки колінчатого валу двигуна

$$\tau'_k := \frac{M_k}{W_n} \quad \tau'_k = 4.927 \text{ МПа}$$

Значення складного навантаження посередені щьоки колінчатого валу двигуна

|     |       |          |        |      |                       |      |
|-----|-------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|     |       |          |        |      | ДП.142.6221м.07.03.ПЗ | Арк. |
| Зм. | Аркуш | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |

$$\sigma'_c := \sqrt{(\sigma'_u + \sigma_{cm})^2 + 4 \cdot \tau'_k} \quad \sigma'_c = 14.293 \text{ МПа}$$

Значення для вузької сторони щоби колінчатого валу двигуна

$$\sigma''_c := \sqrt{(\sigma'_u + \sigma_{cm})^2 + 4 \cdot \tau''_k} \quad \sigma''_c = 13.699 \text{ МПа}$$

$$W_n := \frac{2}{9} \cdot h \cdot b^2 \quad W_n = 2.23 \times 10^8 \text{ мм}^3; \quad \tau''_k := \frac{M_k}{W_n} \quad \tau''_k = 0.768 \text{ МПа}$$

### ***Розрахунок мотилевої шийки колінчатого валу двигуна 6ДКРН 80/230***

Шийка колінчатого валу двигуна згинається моментами у взаємно-перпендикулярних площинах

$$M'_u := \frac{T \cdot \left( \pi \cdot \frac{D^2}{4} \right) \cdot L}{4} \quad M'_u = 8.808 \times 10^8 \text{ Нмм};$$

$$M''_u := \frac{Z \cdot \left( \pi \cdot \frac{D^2}{4} \right) \cdot L}{4} \quad M''_u = 1.754 \times 10^9 \text{ Нмм.}$$

Значення сумарного згинаючого моменту колінчатого валу двигун

$$M_u := \sqrt{M'^2_u + M''^2_u} \quad M_u = 2.481 \times 10^9 \text{ Нмм}$$

Значення моменту опору шийки колінчатого валу двигун

$$W := 0.1 \cdot \frac{d_{ш}^4 - d_{ш1}^4}{d_{ш}} \quad W = 3.43 \times 10^7 \text{ мм}^3$$

Значення від напруги згинання шийки колінчатого валу двигун

$$\sigma_u := \frac{M_u}{W} \quad \sigma_u = 72.333 \text{ МПа}$$

Значення моменту, який скручує шийку колінчатого валу двигун

$$M_k := T_z \cdot \left( \pi \cdot \frac{D^2}{4} \right) \cdot r \quad M_k = 1.265 \times 10^9 \text{ Нмм}$$

Значення полярного моменту опору перетину шийки колінчатого валу двигун

$$W_n := 2 \cdot W \quad W_n = 6.86 \times 10^7 \text{ мм}^3$$

Значення напруги від кручення шийки колінчатого валу двигун

|     |       |          |        |      |                       |      |
|-----|-------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|     |       |          |        |      | ДП.142.6221м.07.03.ПЗ | Арк. |
| Зм. | Аркуш | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |

$$\tau_k := \frac{M_k}{W_n} \quad \tau_k = 18.437 \text{ МПа}$$

Значення складного навантаження на шийці колінчатого валу двигун

$$\sigma_c := \sqrt{\sigma_u^2 + 4 \cdot \tau_k^2} \quad \sigma_c = 81.19 \text{ МПа}$$

### 3.2.2. Розрахунок на міцність поршня двигуна 6ДКРН 80/230

Поршень сприймає силу від тиску газів у робочому циліндрі та передає її через шток та шатун на колінчастий вал. У двотактних двигунах поршень також керує газообміном. Механічні навантаження від сил тиску газів та сил інерції викликають напруги в матеріалі й деформацію поршня, високий питомий тиску на поверхнях деталей сполучних з ним призводять до порушення його геометричної форми, що, у свою чергу, збільшує тертя й знос при його русі. Теплове навантаження від дії гарячих газів та тертя викликають нагрівання і розширення поршня, а перепади температур у його тілі – термічні напруження.

#### *Розрахунок поршня двигуна 6ДКРН 80/230*

|                                             |                            |
|---------------------------------------------|----------------------------|
| Діаметр робочого циліндру                   | $D := 0.80 C_M$            |
| Значення максимального тиску згоряння       | $P_z := 15.66 \text{ МПа}$ |
| Частота обертання колінчастого валу двигуна | $n := 104 \text{ хв}^{-1}$ |
| Значення середнього індикаторного тиску     | $P_i := 1.825 \text{ МПа}$ |

#### *Основні конструктивні параметри поршня двигуна 6ДКРН 80/230*

|                                                             |                                  |
|-------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| Товщина днища поршня двигуна – $\delta_{\text{дн}}$         | $\delta_{\text{дн}} := 0.06 C_M$ |
| Висота поршня двигуна – $H$                                 | $H := 0.478 C_M$                 |
| Відстань до першої кільцевої канавки поршня двигуна – $l_1$ | $l_1 := 0.138 C_M$               |
| Діаметр головки поршня двигуна – $d_g$                      | $d_g := 0.7496 C_M$              |
| Толщина стінки голівки поршня двигуна – $S$                 | $S := 0.192 C_M$                 |
| Висота перемичок поршня двигуна – $h_n$                     | $h_n := 0.01 C_M$                |
| Глубина проточки під кільця у поршні:                       |                                  |

|     |       |          |        |      |                       |      |
|-----|-------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|     |       |          |        |      | ДП.142.6221м.07.03.ПЗ | Арк. |
| Зм. | Аркуш | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |

компресійні кільця –  $t_1 := 0.033$  м; маслоз'ємні кільця –  $t_2 := 0.033$  м.

Висота проточки під кільця у поршні:

компресійні кільця  $h_{kk} := 0.020$  м; маслоз'ємні кільця –  $h_{km} := 0.020$  м.

Значення мінімальної площі стінок голівки поршня двигуна

$$F_{\min} := \left[ \frac{\pi \cdot \left[ (d_g - t_2 \cdot 2)^2 - (d_g - t_2 \cdot 2 - 2 \cdot s)^2 \right]}{4} \right] \quad F_{\min} = 0.2965 \text{ м}^2$$

Значення напруги від стиску голівки поршня двигуна

$$\sigma_c := \frac{P_z \cdot \left( \pi \cdot \frac{D^2}{4} \right)}{F_{\min}} \quad \sigma_c = 26.546 \text{ МПа}$$

Допустима напруга стиску для обраної сталі становить 80МПа.

Значення напруги від згинання поршня двигуна

$$\sigma_u := P_z \cdot \frac{3}{16} \cdot \left[ \frac{(d_g - s \cdot 2)^2}{\delta \cdot 2} \right] \quad \sigma_u = 27.255 \text{ МПа}$$

Допустима напруга від згинання для сталюого днища без наявності ребер складає 45 МПа.

Визначення температурної напруги в днищі поршня двигуна

значення теплового навантаження

$$\sigma_t := q \cdot \delta \cdot a \quad \sigma_t = 226.096 \text{ МПа}$$

де  $q := (71000 + 310 \cdot n)P_i$   $q = 188413$  ; для обраної сталі  $a := 0.02$  .

Значення сумарного навантаження в днищі поршня двигуна

$$\sigma_{\Sigma} := \sigma_u + \sigma_t \quad \sigma_{\Sigma} = 253.35 \text{ МПа}$$

Допустиме значення сумарних навантажень складає 400 МПа.

### 3.2.3. Розрахунок на міцність шатуна двигуна 6ДКРН 80/230

Шатун з'єднує поршень двигуна або поперечку крейцкопфа з колінчастим валом, забезпечує переміщення поршня під час здійснення допоміжних ходів.

|     |       |          |        |      |                       |      |
|-----|-------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|     |       |          |        |      | ДП.142.6221м.07.03.ПЗ | Арк. |
| Зм. | Аркуш | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |

Шатун піддається дії сили від тиску газів, сил інерції від мас, що рухаються обертово та зворотнопоступово.

### ***Розрахунок шатуна двигуна 6ДКРН 80/230***

|                                                         |                            |
|---------------------------------------------------------|----------------------------|
| Діаметр робочого циліндру                               | $D := 800 \text{ мм}$      |
| Максимальний тиск згоряння                              | $P_z := 15.66 \text{ МПа}$ |
| Частота обертання колінчастого валу двигуна             | $n := 104 \text{ хв}^{-1}$ |
| Значення максимальної абсолютної сили інерції у двигуні | $P_j := 1.995 \text{ МПа}$ |
| Радіус кривошипа колінчастого валу                      | $r := 1150 \text{ мм}$     |

### ***Основні конструктивні розміри шатуна двигуна 6ДКРН 80/230***

|                                                                                         |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| Діаметр пальця – $d_p = 726 \text{ мм}$ .                                               |
| Внутрішній діаметр верхньої голівки (вилки) – $d_B = 656 \text{ мм}$ .                  |
| Зовнішній діаметр верхньої голівки (вилки) – $d_H = 1018 \text{ мм}$ .                  |
| Довжина верхньої голівки шатуна двигуна – $l_B = 300 \text{ мм}$ .                      |
| Діаметр шатунної шийки колінчастого валу – $d_{ш} = 700 \text{ мм}$ .                   |
| Зовнішній діаметр нижньої голівки шатуна – $d_3 = 1300 \text{ мм}$ .                    |
| Товщина стінки вкладиша шатуна – $t = 30 \text{ мм}$ .                                  |
| Відстань між шатунними болтами – $l_6 = 1176 \text{ мм}$ .                              |
| Довжина нижньої головки шатуна – $l_H = 300 \text{ мм}$ .                               |
| Розміри перетину в середній частині – $d_1 = 372 \text{ мм}$ ; $d_2 = 120 \text{ мм}$ . |
| Довжина шатуна – $l_{\text{ш}} := 3303 \text{ мм}$ .                                    |

### ***Розрахунок на міцність стрижня шатуна двигуна 6ДКРН 80/230***

Значення моменту інерції середнього перетину стрижня шатуна двигуна

$$I_x = 3.14 \cdot \frac{\left(\frac{d_1}{2}\right)^4}{4} \cdot \left[1 - \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^4\right] \quad I_x = 9.396 \times 10^8 \text{ мм}^4$$

$$I_y = 3.14 \cdot \frac{\left(\frac{d_1}{2}\right)^4}{4} \cdot \left[1 - \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^4\right] \quad I_y = 9.294 \times 10^8 \text{ мм}^4$$

|     |       |          |        |      |                       |      |
|-----|-------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|     |       |          |        |      | ДП.142.6221м.07.03.ПЗ | Арк. |
| Зм. | Аркуш | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |

Значення площі середнього перетину стрижня шатуна двигуна

$$f = 3.14 \cdot \frac{(d_1)^2}{4} - 3.14 \cdot \frac{(d_2)^2}{4} \quad f = 9.733 \times 10^4 \text{ мм}^2$$

Значення напруги у площині хитання шатуна двигуна

$$\sigma_x := \frac{P_z \cdot \left( \pi \cdot \frac{D^2}{4} \right)}{f} + 0.000526 \cdot \frac{\left[ P_z \cdot \left( \pi \cdot \frac{D^2}{4} \right) \cdot l^2 \right]}{I_x} \quad \sigma_x = 128.955 \text{ МПа}$$

Допустима напруга у площині хитання шатуна складає 400МПа.



Рисунок 3.6 – Схема розрахунку стрижня шатуна двигуна 6ДКРН 80/230

Значення напруги у площині, яка перпендикулярна площині хитання шатуна двигуна

$$I_1 = I - \left( \frac{d_B}{2} + \frac{d_H}{2} \right) \quad I_1 = 2.466 \times 10^3 \text{ мм}^4$$

$$\sigma_y = \frac{P_z \cdot \left( \pi \cdot \frac{D^2}{4} \right)}{f} + 0.000526 \cdot \frac{\left[ P_z \cdot \left( \pi \cdot \frac{D^2}{4} \right) \cdot \frac{I_1^2}{2} \right]}{I_y} \quad \sigma_y = 94.423 \text{ МПа}$$

Значення максимального вигинаючого моменту стрижня шатуна

$$M_m = \frac{q \cdot l^2}{16} \quad M_m = 7.056 \times 10^8 \text{ Нм}$$

де  $\gamma = 7.85 \cdot 10^{-6}$  – значення питомої ваги сталі кг/мм<sup>3</sup>; сила інерції елементів

$$q = f \cdot \gamma \cdot r \cdot \left( \frac{n}{300} \right)^2 \cdot 9.8 \quad q = 1.035 \times 10^3 \text{ Н}$$

стрижня шатуна двигуна

|     |       |          |        |      |                       |      |
|-----|-------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|     |       |          |        |      | ДП.142.6221м.07.03.ПЗ | Арк. |
| Зм. | Аркуш | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |

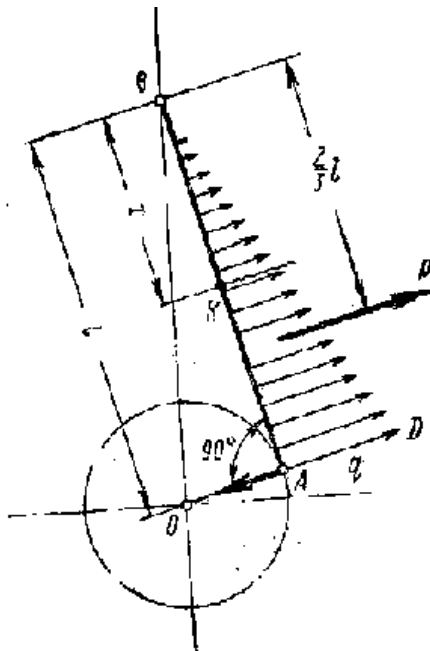


Рисунок 3.7 – Розрахункова схема шатуна  
двигуна 6ДКРН 80/230 при згинанні від сил інерції

Значення моменту опору перетину шатуна двигуна, який відповідає максимальному моменту від його згинання. небезпечний перетин знаходиться на відстані  $0,557 \cdot l$  від точки В.

$$W_3 = 3.14 \cdot \frac{(d_1)^3}{32} \cdot \left[ 1 - \left( \frac{d_2}{d_1} \right)^3 \right] \quad W_3 = 4.882 \times 10^6 \text{ мм}^3$$

Значення напруги від згинання стрижня шатуна

$$\sigma_u = \frac{M_m}{W_3} \quad \sigma_u = 144.534 \text{ МПа}$$

Значення сумарної умовної напруги

$$\sigma_\Sigma = \frac{P_z \cdot \left( \pi \cdot \frac{D^2}{4} \right)}{f} + \frac{M_m}{W_3} \quad \sigma_\Sigma = 225.411 \text{ МПа}$$

Допустима сумарна умовна напруга з легованої сталі складає 220 МПа.

### **Розрахунок вилки шатуна двигуна 6ДКРН 80/230**

Розрахунок вилки шатуна на стиснення та згинання у перетині у-у

Значення площі середнього перетину стрижня шатуна двигуна

$$f_1 = 0.300 \cdot 0.300 \quad f = 9.733 \times 10^4 \text{ мм}^2$$

|     |       |          |        |      |                       |      |
|-----|-------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|     |       |          |        |      | ДП.142.6221м.07.03.ПЗ | Арк. |
| Зм. | Аркуш | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |

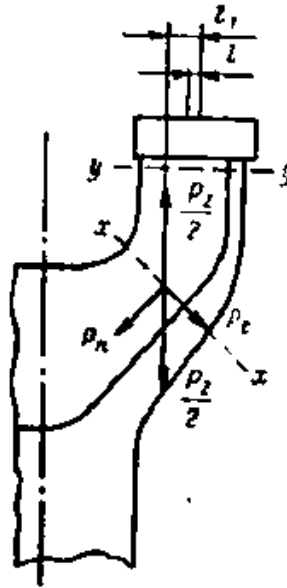


Рисунок 3.8 – Ескіз вилки шатуна двотактного двигуна 6ДКРН 80/230

Значення напруги стиснення вилки шатуна

$$W_{31} = \frac{180^3}{6} \quad W_{31} = 9.72 \times 10^5 \text{ мм}^3; \quad \sigma_{\text{сж}} = \frac{P_z}{2 \cdot f_1} \quad \sigma_{\text{сж}} = 87 \text{ МПа}$$

Значення напруги згинання вилки шатуна

$$\sigma_{\text{из}} = \frac{P_z \cdot l_B \cdot 1000}{2 \cdot W_{31}} \quad \sigma_{\text{из}} = 2.417 \text{ МПа}$$

Значення сумарної умовної напруги

$$\sigma = \sigma_{\text{сж}} + \sigma_{\text{из}} \quad \sigma = 89.417$$

Розрахунок на стиснення та згинання у перетині x-x, що проходить через центр ваги

Значення напруга згинання вилки шатуна двотактного двигуна

$$\sigma_{\text{из}} = \frac{P_z \cdot l_1 \cdot 1000}{2 \cdot W_{31}} \quad \sigma_{\text{из}} = 19.865 \text{ МПа}$$

Значення напруга стиснення вилки шатуна двотактного двигуна

$$P_n := P_z \cdot \cos(45) \quad P_n = 8.227 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\text{сж}} = \frac{P_n}{f_1} \quad \sigma_{\text{сж}} = 91.406 \text{ МПа}$$

Значення дотичної напруги вилки шатуна двотактного двигуна

|     |       |          |        |      |                       |      |
|-----|-------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|     |       |          |        |      | ДП.142.6221м.07.03.ПЗ | Арк. |
| Зм. | Аркуш | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |

$$P_t := P_n \quad \tau := \frac{P_t}{f_1} \quad \tau = 91.406 \text{ МПа}$$

Загальна сума усіх напруг вилки шатуна двотактного двигуна

$$\sigma := \sqrt{(\sigma_{сж} + \sigma_{из})^2 + 4 \cdot \tau^2} \quad \sigma = 214.013 \text{ МПа}$$

Відносна деформація вилки шатуна

$$\delta_{\text{вв}} = 0.017 \cdot \frac{P_j \cdot d_s^2}{E \cdot I} \quad \delta = 7.95 \times 10^{-10}$$

$$d_s = \frac{(d_H + d_B)}{2} \quad d_s = 837 \text{ мм} - \text{середній діаметр вилки шатуна}; E := 2.1 \cdot 10^5$$

– модуль пружності легірованої сталі;  $I = 0.01 \cdot I_B \cdot (d_H - d_B)^3$

$$I = 1.423 \times 10^8 \text{ мм}^3 - \text{момент інерції перетину.}$$

Відносна деформація не повинна перевищувати значення 0,0005 мм/мм.

Максимальний питомий тиск на вкладиш

$$K = \frac{P_z \cdot \left( \pi \cdot \frac{D^2}{4} \right)}{l_{\text{вк}} \cdot d_p \cdot 2} \quad K = 38.723 \text{ МПа}$$

де  $l_f = 5 \text{ мм}$  – довжина фаски вкладиша;  $l_{\text{вк}} = \frac{l_B}{2} - (2 \cdot l_f) \quad l_{\text{вк}} = 140 \text{ мм}$  – робоча довжина вкладиша. Значення допустимого максимального питомого тиску на вкладиш складає 50 МПа.

Значення площі небезпечного перетину нижньої голівки шатуна двигуна

$$F_{\text{вв}} = \frac{[d_3 - [d_{\text{ш}} + (2 \cdot t)]]}{2} \cdot l_H \quad F = 8.1 \times 10^4 \text{ мм}^2$$

Значення моменту опору небезпечного перетину нижньої голівки шатуна двигуна

$$W_H = \frac{\left[ \frac{[d_3 - [d_{\text{ш}} + (2 \cdot t)]]}{2} \right]^2}{6} \cdot l_H \quad W_H = 3.645 \times 10^6 \text{ мм}^4$$

Значення сумарної напруги нижньої голівки шатуна двигуна від згинання та стиску

|     |       |          |        |      |                       |      |
|-----|-------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|     |       |          |        |      | ДП.142.6221м.07.03.ПЗ | Арк. |
| Зм. | Аркуш | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |

$$\sigma'_{\Sigma} = \left( \frac{23600 \cdot l_6}{W_H} + \frac{0.5}{F} \right) \cdot P_j \quad \sigma'_{\Sigma} = 15.1902543 \text{ МПа}$$

Допустимі напруги становить 80 МПа.

Значення моменту інерції небезпечного перетину нижньої голівки шатуна двигуна

$$I = \frac{l_H \cdot \left[ \frac{[d_3 - [d_{\text{ш}} + (2 \cdot t)]]^3}{2} \right]}{12} \quad I = 4.921 \times 10^8 \text{ мм}^4$$

Значення відносної деформації нижньої голівки шатуна двигуна

$$\delta = 0.017 \cdot \frac{P_j \cdot l_6^2}{E \cdot I} \quad \delta = 4.539 \times 10^{-10} \frac{\text{мм}}{\text{мм}}$$

Відносна деформація нижньої голівки шатуна двигуна 6ДКРН 80/230 не повинна перевищувати 0,0005 мм/мм.

### 3.3. Висновки до розділу

Виконано динамічний розрахунок малообертового головного судового двигуна 6ДКРН 80/230, який встановлено на суховантажному судні, побудовано діаграми діючих сил, а також проведено розрахунок на міцність основних деталей кривошипно-шатунного механізму.

У результаті виконаного розрахунку встановлено, що усі діючі механічні навантаження на елементи кривошипно-шатунного механізму двигуна 6ДКРН 80/230 знаходяться у допустимих межах.

|     |       |          |        |      |                       |      |
|-----|-------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|     |       |          |        |      | ДП.142.6221м.07.03.ПЗ | Арк. |
| Зм. | Аркуш | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |

|           |      |                 |        |      |                                                       |  |  |  |      |      |         |  |  |
|-----------|------|-----------------|--------|------|-------------------------------------------------------|--|--|--|------|------|---------|--|--|
|           |      |                 |        |      | ДП.142.6221м.07.04.ПЗ                                 |  |  |  |      |      |         |  |  |
|           |      |                 |        |      |                                                       |  |  |  |      |      |         |  |  |
| Зм.       | Арк. | № докум.        | Підпис | Дата |                                                       |  |  |  |      |      |         |  |  |
| Студент   |      | Мелконян Л.Т.   |        |      | Модернізація паливної системи<br>двигуна 6ДКРН 80/230 |  |  |  | Літ. | Арк. | Аркушів |  |  |
| Консульт. |      |                 |        |      |                                                       |  |  |  |      |      |         |  |  |
| Керівник  |      | Митрофанов О.С. |        |      |                                                       |  |  |  | НУК  |      |         |  |  |
|           |      |                 |        |      |                                                       |  |  |  |      |      |         |  |  |
|           |      |                 |        |      |                                                       |  |  |  |      |      |         |  |  |

#### 4.1. Загальні відомості щодо використання паливних насосів з гідравлічним приводом плунжера для малообертових суднових двигунів

При розробці нових концепцій у частині організації робочого циклу сучасних суднових двигунів ряд фірм виробників обрали шлях заміни стандартних паливних насосів високого тиску на насоси з гідравлічним приводом плунжера та електронним керуванням паливоподачі. Для малообертових двигунів подібні системи були розроблені такою фірмою, як **Mitsubishi** тоді, як фірма **Caterpillar** для своїх високообертових двигунів все ширше використовує електрокеровані насос-форсунки з гідравлічним приводом.

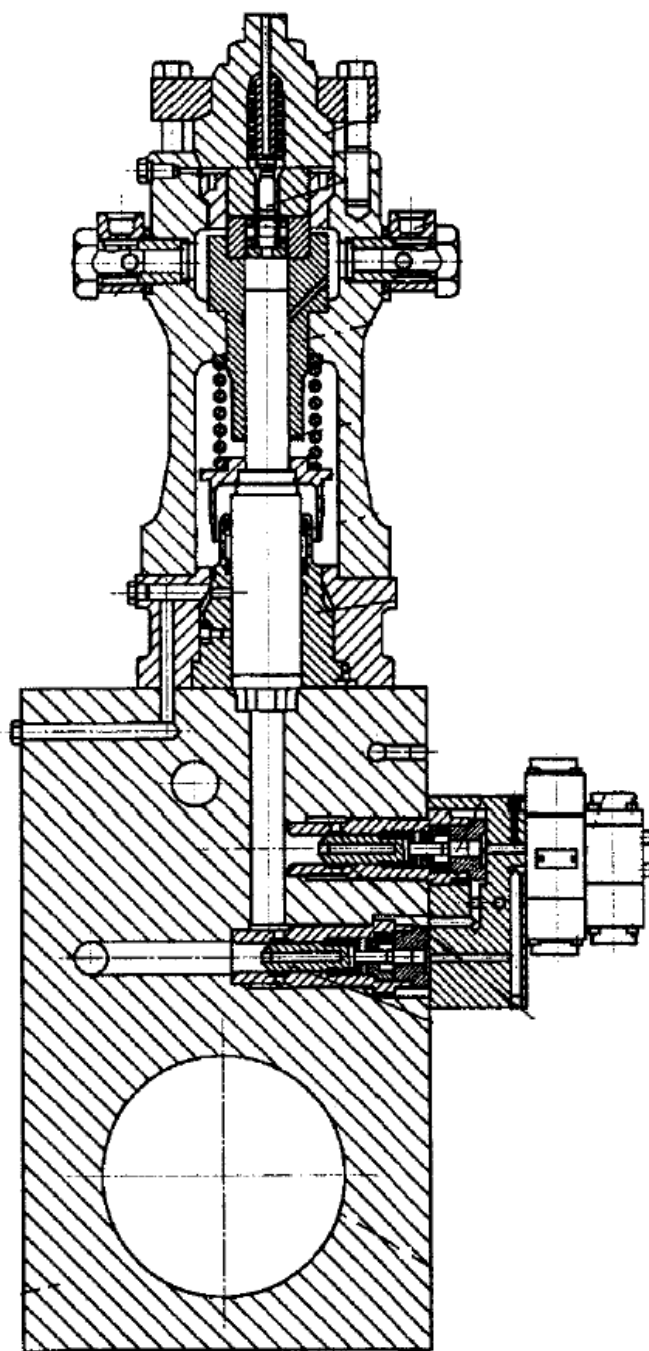
Перший малообертовий двигун з гідропривідною системою паливоподачі було виготовлено фірмою **Mitsubishi** у 2002 році, який отримав маркування **UEC Eco-Engine**. В таких двигунах окрім паливоподачі електронна система керує роботою випускних клапанів двигуна, процесами пуску та реверсування, змащенням циліндрів, а також регулюванням частоти обертання колінчастого валу.

Для забезпечення упорскування палива у робочий циліндр використовують паливні насоси, які, фактично є гідравлічними мультиплікаторами тиску. Конструктивно вони виконані простіше своїх механічних аналогів. Застосування на двигуні гідравліки дозволило відмовитися від використання розподільчого валу та його приводу, механізмів регулювання циклової подачі палива та керування фазами упорскування (**VIT**). До переваг також можна віднести те, що плунжер ПНВТ не має регулюючих кромок, що значно спрощує технологію його виготовлення та підвищує ресурс роботи. Окрім того, елементи, які використовуються для підведення та паливоподачі у робочий циліндр під високим тиском, не потребують будь-яких конструктивних змін та змін у обслуговуванні. У цій паливній системі використовуються ті ж самі форсунки, трубопроводи високого тиску, з'єднуюча арматура, що й в традиційних системах упорскування.

Паливний насос високого тиску виробництва фірми **Mitsubishi** складається з втулки плунжеру та гідравлічного циліндра. У середині гідравлічного циліндра розміщено поршень, який має механічний зв'язок з плунжером паливного насосу

|     |       |          |        |      |                       |      |
|-----|-------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|     |       |          |        |      | ДП.142.6221м.07.04.ПЗ | Арк. |
| Зм. | Аркуш | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |

високого тиску (рис. 4.1). Діаметр приводного гідравлічного циліндра у кілька разів більший, ніж у самого плунжера. Це дає змогу у стільки ж разів підвищити тиск палива на виході з насоса, збільшуючи його з 20...30 до 60...100 МПа. При цьому, на відміну від паливних насосів високого тиску з механічним приводом, тиск, під яким паливо подається до форсунки, не залежить від частоти обертання колінчастого валу двигуна, що значно покращує якість його згоряння у робочому циліндрі на режимах часткових навантажень.



*Рисунок 4.1 – Паливний насос високого тиску з гідропривідною системою виробництва фірми Mitsubishi, який встановлено на двигуні UEC Eco-Engine*

|     |       |          |        |      |                       |      |
|-----|-------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|     |       |          |        |      | ДП.142.6221м.07.04.ПЗ | Арк. |
| Зм. | Аркуш | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |

У двигунів серії **UEC Eco-Engine** виробництва фірми **Mitsubishi** у якості акумулятора тиску виступає порожнина в жорсткому корпусі блоку насосів. Таке рішення забезпечило можливість використовувати для приводу паливних насосів високого тиску та випускного клапану більш високого тиску й дало змогу зменшити кількість масла у системі.

У паливних насосах високого тиску двигунів серії **UEC Eco-Engine** виробництва фірми **Mitsubishi** використовують двоступеневі електрокеровані розподільні пристрої клапанного типу. Гідравлічна схема паливного насоса високого тиску двигунів серії **UEC Eco-Engine** подана на рис. 4.2.

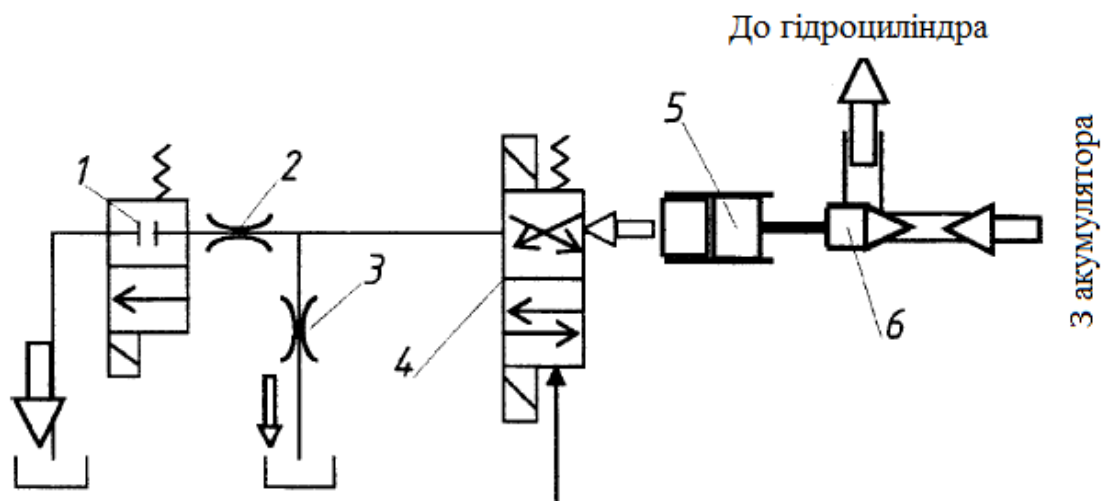


Рисунок 4.2 – Принципова схема гідроприводу паливного насоса високого тиску двигуна серії **UEC Eco-Engine** виробництва фірми **Mitsubishi**: 1 – пілотний клапан з приводом від соленоїда; 2 – дросель магістральний; 3 – дросель зливний; 4 – головний розподільник; 5 – поршень приводу головного клапана; 6 – головний клапан

#### 4.2. Модернізація паливної системи малообертового суднового двигуна 6ДКРН 80/230

Для мінімізації змін у штатну паливну апаратуру малообертового суднового двигуна 6ДКРН 80/230 запропоновано паливну систему з використанням паливних насосів високого тиску з гідравлічним приводом плунжера та електронним керуванням паливоподачі. Кожен блок паливного насоса високого тиску забезпечено газовим акумулятором тиску з мембранним роздільником, який забезпечує стійку подачу масла та запобігає виникненню небезпечних коливань в керуючій масляній системі (рис.4.3).

|     |       |          |        |      |                       |      |
|-----|-------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|     |       |          |        |      | ДП.142.6221м.07.04.ПЗ | Арк. |
| Зм. | Аркуш | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |

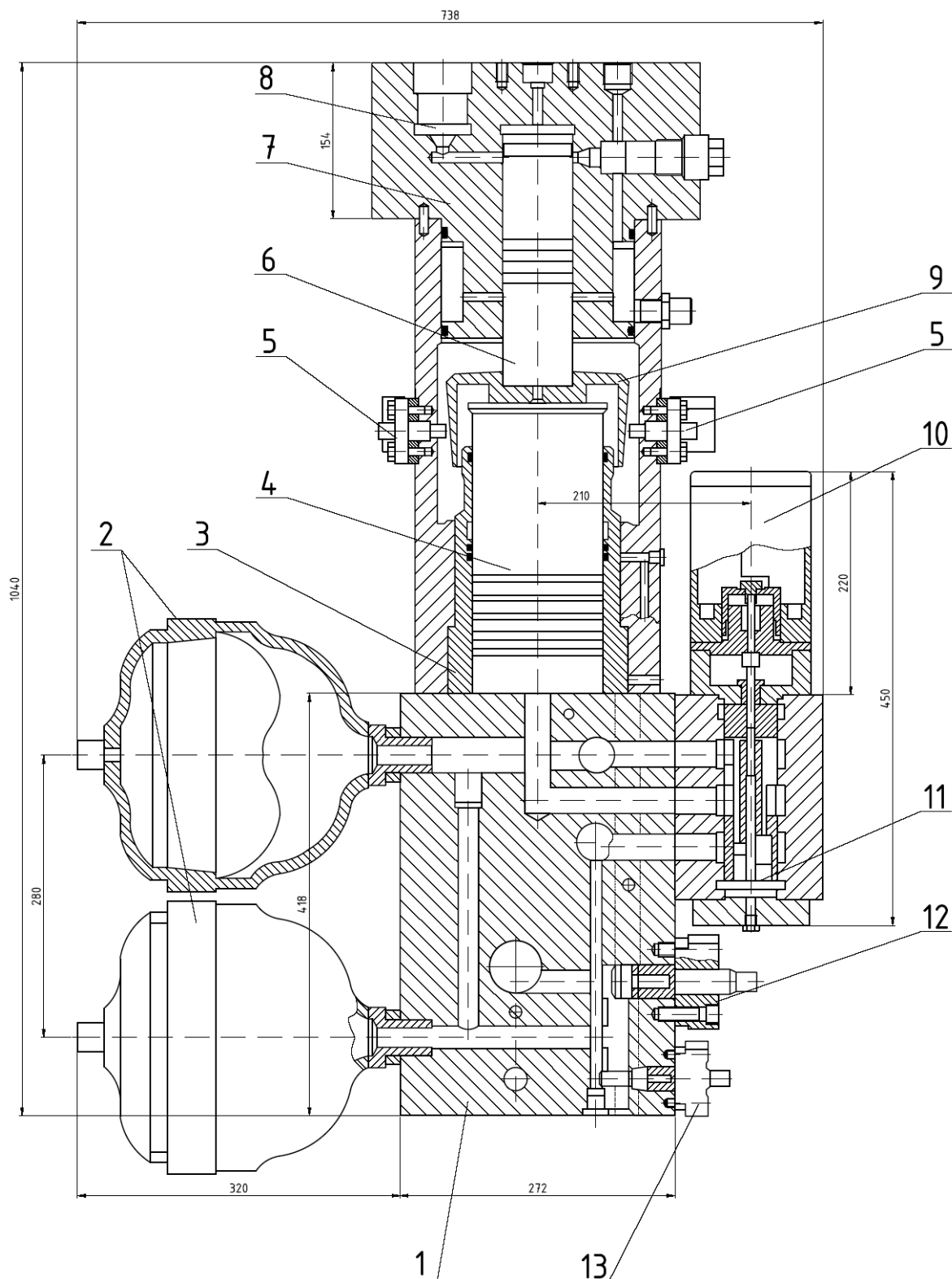


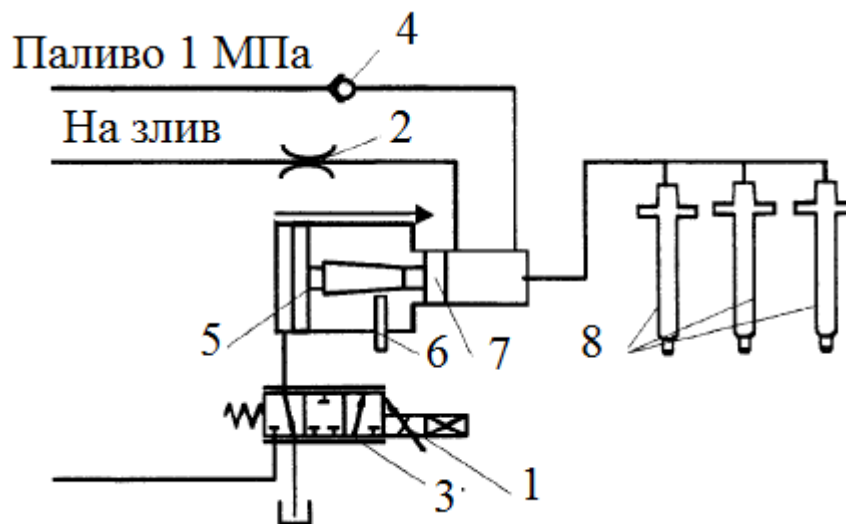
Рисунок 4.3 – Паливний насос високого тиску з гідропривідною системою:

1 – корпус ПНВТ; 2 – газові акумулятори тиску; 3 – втулка гідравлічного поршня;  
 4 – гідравлічний поршень приводу плунжера ПНВТ; 5 – датчики руху; 6 – плунжер;  
 7 – втулка плунжера; 8 – елемент приєднання магістралі високого тиску;  
 9 – вимірювальний конус; 10 – соленоїд; 11 – керуючий золотник; 12 – клапан  
 регулювання керуючого тиску; 13 – клапан обмеження керуючого тиску

|     |       |          |        |      |                       |      |
|-----|-------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|     |       |          |        |      | ДП.142.6221м.07.04.ПЗ | Арк. |
| Зм. | Аркуш | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |

Масло поступає до мембранних акумуляторів тиску з магістралі керування та від них до розподільних пристроїв паливного насосу високого тиску, актуатора випускного клапану, а також насосу-лубрикатора.

Для паливної системи малообертового суднового двигуна 6ДКРН 80/230 пропонується застосовувати двоступеневий електрокерований розподільчий механізм золотникового типу, схема якого подано на рис. 4.4.



*Рисунок 4.4 – Принципова схема гідроприводу паливного насоса високого тиску суднового двигуна 6ДКРН 80/230:*

*1 – пілотний клапан з приводом від соленоїда; 2 – дросель зливний; 3 – головний розподільник; 4 – зворотний клапан; 5 – поршень гідропривода; 6 – датчик положення; 7 – паливний плунжер; 8 – форсунки*

Розподільчий механізм паливних насосів високого тиску та актуаторів випускних клапанів, мають ідентичну конструкцію, а в деяких випадках є взагалі уніфікованими. Принцип дії та конструкція золотникових розподільників суднового двигуна 6ДКРН 80/230 подано на рис, 4.5.

У середині корпусу розподільчого пристрою розміщується головний золотник з нарізаними на ньому розподільчими канавками. Переміщення головного золотника розподільчого пристрою забезпечується за допомогою виступу, який виконує роль гідравлічного поршня. У порожнині по обидва боки розташовано виступи, а масло надходить через так званий «пілотний» золотниковий клапан з електронним приводом. Якщо електричний сигнал

|     |       |          |        |      |                       |      |
|-----|-------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|     |       |          |        |      | ДП.142.6221м.07.04.ПЗ | Арк. |
| Зм. | Аркуш | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |

відсутній, золотник займає своє середнє положення, перекриваючи центральною кромкою сполучення порожнини привідного гідравлічного циліндру *A* з порожниною високого тиску *Б* та зливною порожниною *В*. При цьому плунжер насоса залишається нерухомим відповідно уприскування палива відсутнє (рис, 4.5 а).

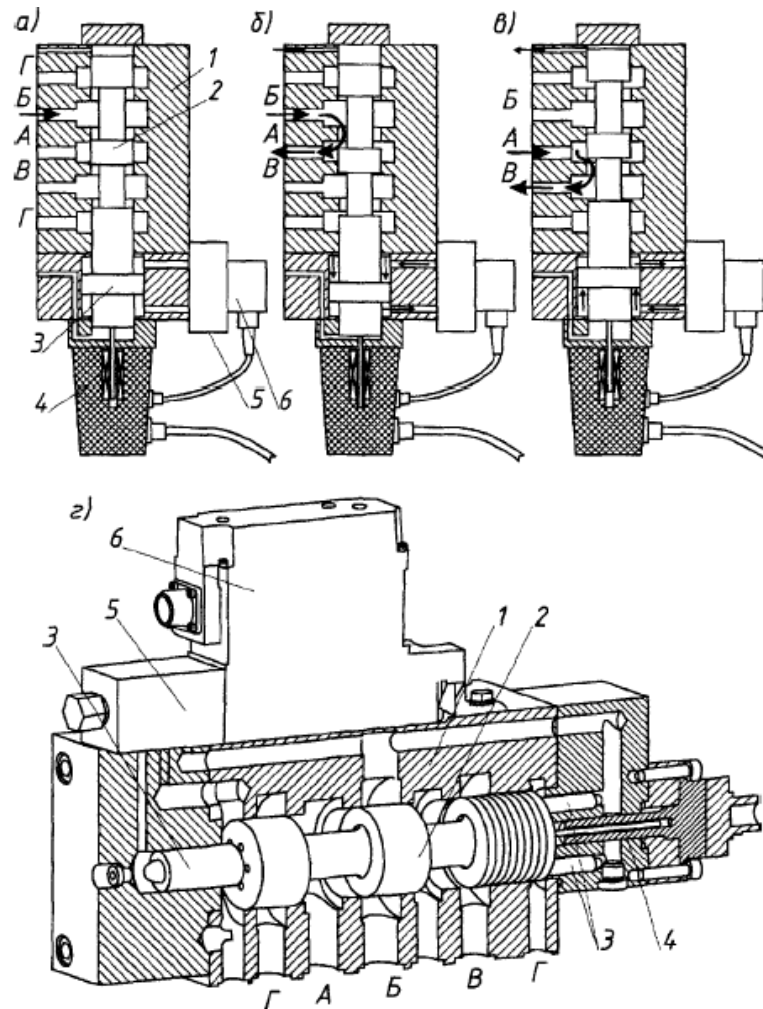


Рисунок 4.5 – Схема роботи золотникового розподільника паливного насосу високого тиску суднового двигуна 6ДКРН 80/230 (а, б, в) та його загальний вигляд (з):

1 – корпус; 2 – головний золотник; 3 – поршень приводу головного золотника; 4 – датчик переміщення; 5 – пілотний клапан; 6 – соленоїд; *A* – порожнина гідроциліндра; *Б* – порожнина високого тиску; *В* – зливна порожнина; *Г* – порожнина збору протікання

При надходженні з блоку керування електричного сигналу, масло поступає у порожнину над керуючим виступом, переміщуючи його та весь золотник до низу. У результаті чого порожнина *A* гідравлічного поршня з'єднується з

|     |       |          |        |      |                       |      |
|-----|-------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|     |       |          |        |      | ДП.142.6221м.07.04.ПЗ | Арк. |
| Зм. | Аркуш | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |

порожниною *Б* високого тиску, та поршень разом з плунжером починають рухатися вгору (рис. 4.5 б). При досягненні необхідного тиску відкриття форсунки у робочому циліндрі починається упорскування палива. Величина циклової подачі палива у робочий циліндр напряму залежить від величини ходу плунжера на такті нагнітання, яка визначається тривалістю відкриття золотникового розподільника.

Після закінчення ходу нагнітача керуючий клапан подає масло в порожнину під виступом при цьому золотник переміщується угору, з'єднуючи порожнину *А* з зливною порожниною *В* (рис. 4.5 б). Масло покидає порожнину гідравлічного циліндра, відповідно упорскування палива припиняється, а плунжер повертається у своє вихідне положення. У золотниковій парі корпус розподільника для забезпечення збору протічок є додаткові дренажні порожнини *Г*.

Контроль за положенням золотника та його переміщенням забезпечується за допомогою датчика зворотного зв'язку, який генерує та передає сигнал на електронний блок керування. На рис. 4.5 г подано загальний вигляд розподільника паливного насосу високого тиску, у якого поршні для приводу головного золотника розміщуються по його торцях.

Необхідний момент подачі масла під поршень приводу, а також початок його зливу визначається надходженням керуючого імпульсу з електронного блоку, яким окремо оснащується кожен циліндр двигуна 6ДКРН 80/230.

Електронна система керування на основі мікропроцесорної техніки у поєднанні з гідрооб'ємною системою приводу паливного насосу високого тиску суднового двигуна 6ДКРН 80/230 дає змогу реалізовувати різні способи паливоподачі у робочий циліндр (одиначне упорскування всієї циклової дози палива, попереднє впорскування так званої пілотної порції, що передує основному упорскуванню, багатостадійне упорскування та ін.). Необхідний закон паливоподачі може бути оптимізований до конкретного режиму роботи суднового двигуна та може бути застосований при переході на цей режим.

Перехід від одного алгоритму керування паливоподачі до іншого може бути здійснено у проміжок часу між двома послідовними упорскуваннями. Для забезпечення нормальної роботи гідрооб'ємного приводу паливного насосу високого тиску, випускного клапану та лубрикаторних насосів двигун 6ДКРН

|     |       |          |        |      |                       |      |
|-----|-------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|     |       |          |        |      | ДП.142.6221м.07.04.ПЗ | Арк. |
| Зм. | Аркуш | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |

80/230 обладнуються системою керуючого масла, принципова схема якої подана на рис. 4.6.

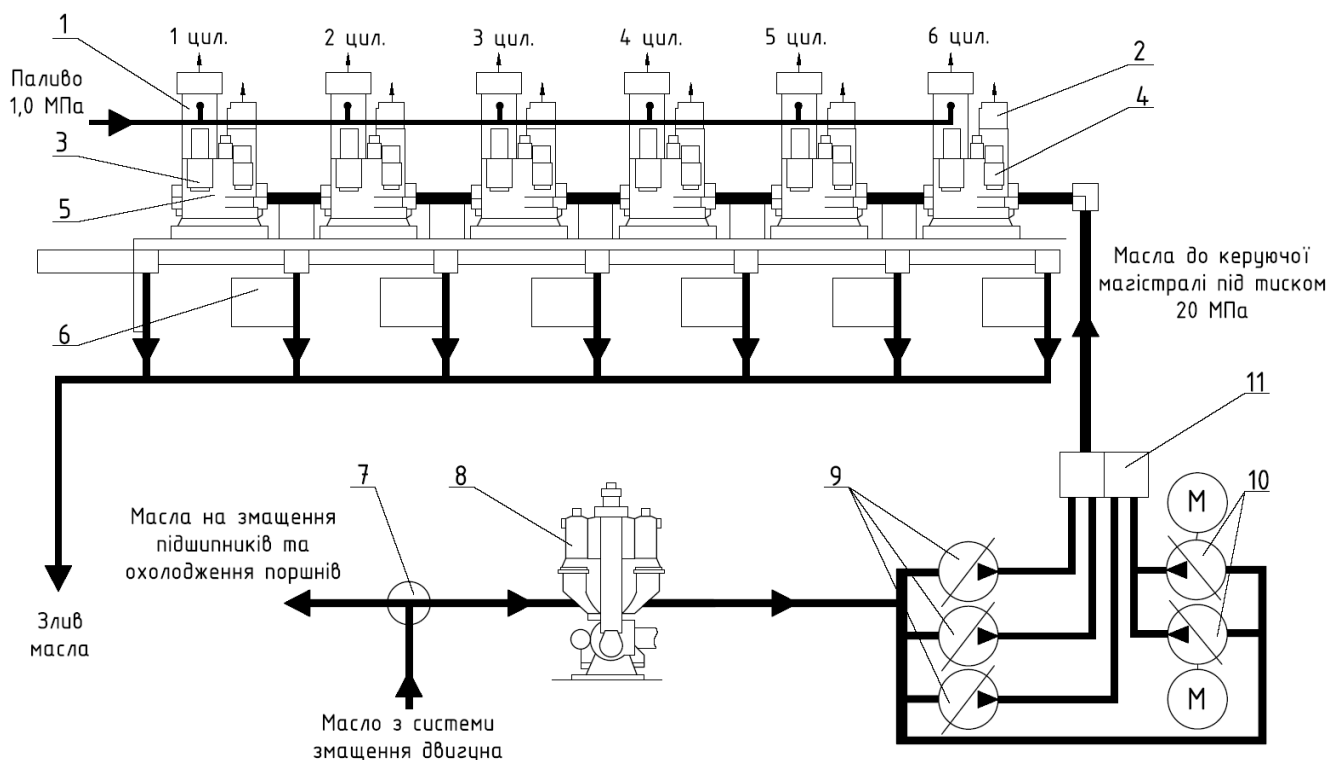


Рисунок 4.6 – Схема системи керуючого масла для гідравлічного приводу паливного насоса високого тиску, актуаторів випускних клапанів і насосів-лубрикаторів двигуна 6ДКРН 80/230:

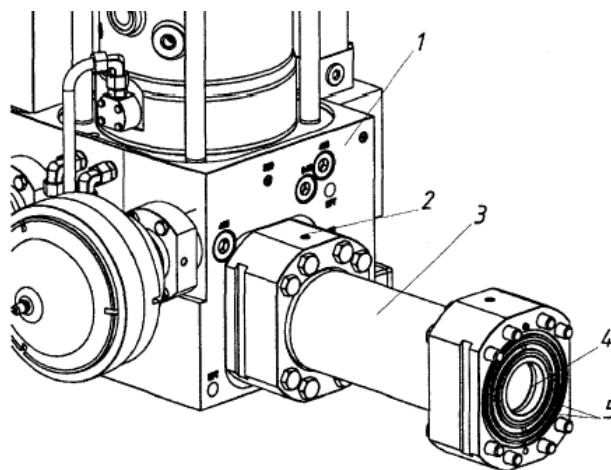
1 – ПНВТ; 2 – актуатор випускного клапану; 3 – клапан керування гідроприводом ПНВТ; 4 – клапан керування гідроприводом актуатора випускного клапана; 5 – лубрикаторний насос; 6 – електронний блок керування; 7 – масляний розподільник; 8 – автоматичний фільтр тонкого очищення масла; 9 – масляні насоси з приводом від двигуна; 10 – масляні насоси з приводом від електродвигуна; 11 - акумулятор

Масло в систему керуючого масла для гідравлічного приводу відбирається з циркуляційної системи змащення двигуна. Перед надходженням масла у керуючу магістраль воно проходить додаткове очищення у самоочисному фільтрі, який забезпечує затримання механічних домішок розміром до 5 мкм, а далі масло поступає до блоку насосів. Частина насосів мають привід від двигуни та забезпечують під час роботи дизеля подачу масла в систему під тиском у 20 МПа.

|                       |       |          |        |      |      |
|-----------------------|-------|----------|--------|------|------|
| ДП.142.6221м.07.04.ПЗ |       |          |        |      | Арк. |
| Зм.                   | Аркуш | № докум. | Підпис | Дата |      |

Інша частина насосів має електричний привід та забезпечує систему маслом під тиском у 17,5 МПа під час запуску двигуна або при його роботі в аварійних ситуаціях. Після насосів масло поступає в порожнину акумулювання, що забезпечує зменшення пульсації тиску. Далі по трубопроводах високого тиску масло поступає до кожного блоку насосів високого тиску двигуна.

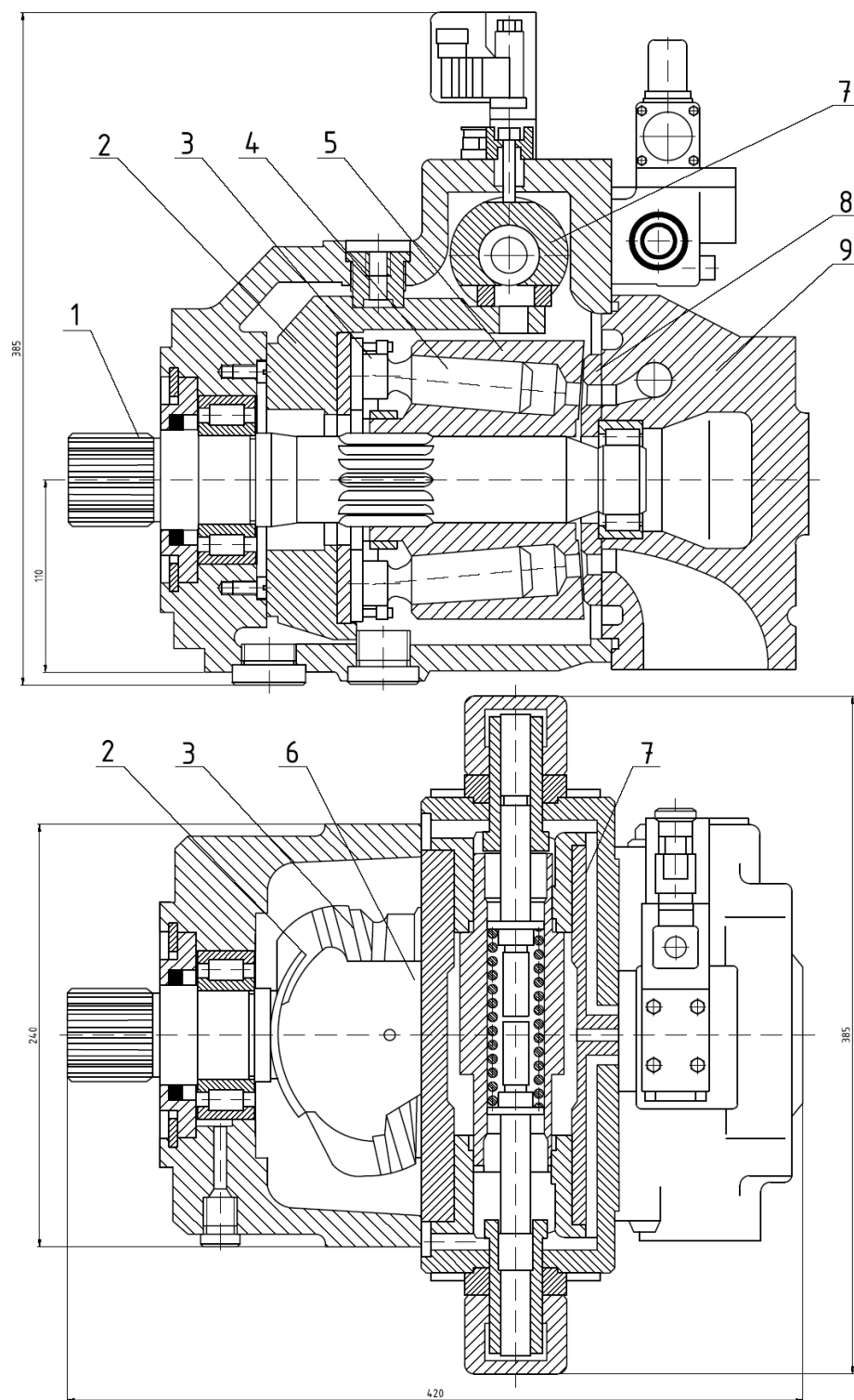
Для запобігання травматизму обслуговуючого персоналу при прориві масляних магістралей їх виготовляють двошаровими. Відповідно внутрішня порожнина масляної магістралі використовується як робоча, яка зовні покрита захисним кожухом (рис. 4.7). Для забезпечення подачі масла у керуючу магістраль на двигуні використовуються аксіально-плунжерні насоси у яких регулювання продуктивності забезпечується шляхом зміни нахилу привідного диска. Конструкція аксіально-плунжерного масляного насосу представлена на рис. 4.8. Хід плунжерів у насосі такого типу напряму залежить від кута нахилу привідного диска до осі блоку циліндрів. Зміна кута нахилу диска, яка реалізується за допомогою гідравлічного механізму дозволяє здійснювати регулювання продуктивності насоса від нульової подачі (розміщення приводного диска перпендикулярно осі приводного валу) до максимальної (привідний диск відхилено на максимальний кут). Це дає змогу, незалежно від частоти обертання колінчастого валу двигуна, зберігати подачу масла в керуючу магістраль постійною, підтримуючи необхідний тиск в системі.



*Рисунок 4.7 – Фрагмент магістралі системи керуючого масла:*

*1 – корпус паливного насоса високого тиску; 2 – з'єднувальний фланець; 3 – захисний кожух; 4 - робоча поверхня; 5 - ущільнення*

|     |       |          |        |      |                       |      |
|-----|-------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|     |       |          |        |      | ДП.142.6221м.07.04.ПЗ | Арк. |
| Зм. | Аркуш | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |



*Рисунок 4.8 – Аксиально-плунжерний масляний насос високого тиску:*

*1 – вал приводу насоса; 2 – похилий приводний диск; 3 – опора кульового підшипника; 4 – плунжер; 5 – статор; 6 – важіль змінення нахилу привідного диска; 7 – механізм змінення нахилу диска; 8 – опорно-розподільчий диск; 9 – кришка*

До основних переваг даного типу насосів можна віднести відсутність в них клапанних механізмів. Масло, яке всмоктується або витісняється плунжерами,

|     |       |          |        |      |                       |      |
|-----|-------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|     |       |          |        |      | ДП.142.6221м.07.04.ПЗ | Арк. |
| Зм. | Аркуш | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |

розподіляється за допомогою серпоподібних вікон виконаних у опорно-розподільчому диску та отворів у блоці циліндрів. У відповідних мертвих точках плунжерів отвори кожного циліндра перекриваються нижньою та верхньою розподільчими перемичками, які розташовані між вікнами. Завдяки цьому такі насоси мають достатньо високий ККД при відносно невеликій нерівномірності подачі масла, а при зміні напрямку обертання колінчастого валу двигуна вони зберігають незмінним напрям перекачки масла.

#### 4.3. Розрахунок та проектування паливного насосу високого тиску судового двигуна 6ДКРН 80/230 з гідравлічним приводом плунжера та електронним керуванням паливоподачі

Вихідні данні для проведення розрахунку та проектування паливного насосу високого тиску головного судового двотактного двигуна 6ДКРН 80/230 виробництва фірми MAN B&W з гідравлічним приводом плунжера та електронним керуванням паливоподачі було отримано у другому розділі проекту у результаті математичного моделювання робочого циклу двигуна за допомогою програми розрахунку Diesel-RK.

##### *Вихідні дані для розрахунок паливного насосу високого тиску*

|                                            |                                        |
|--------------------------------------------|----------------------------------------|
| Потужність двигуна                         | $N_e = 21600$ кВт                      |
| Питома ефективна витрата дизельного палива | $g_e = 170$ г/(кВт·год)                |
| Частота обертання                          | $n = 104$ об/хв                        |
| Кількість циліндрів                        | $i = 6$                                |
| Коефіцієнт тактності двигуна               | $z = 1$                                |
| Максимальний тиск згоряння                 | $P_z = 156,6$ кг/см <sup>2</sup>       |
| Тривалість паливоподачі                    | $\varphi_{\text{пм}} = 22$ град п.к.в. |
| Тиск у точці с                             | $P_c = 119,8$ кг/см <sup>2</sup>       |

##### **Визначення діаметру та ходу плунжера**

Циклова подача палива

$$V_{\text{ц}} = \frac{N_{\text{ц}} \cdot g_e \cdot K}{60 \cdot n \cdot z \cdot \gamma_m} = 128,901 \text{ см}^3/\text{цикл}$$

де  $\gamma_m = 875$  кг/м<sup>3</sup>;

коефіцієнт запасу  $K = 1,15$

Об'єм який описує плунжер при русі від ВМТ до НМТ

$$V_{\text{п}} = K_2 \cdot V_{\text{ц}} = \frac{\pi \cdot d_{\text{п}}^2}{4} \cdot S_{\text{п}} = 515,604 \text{ см}^3$$

|     |       |          |        |      |                       |      |
|-----|-------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|     |       |          |        |      | ДП.142.6221м.07.04.ПЗ | Арк. |
| Зм. | Аркуш | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |

де  $K_2 = 4 \dots 8$  – коефіцієнт перевищення об'єму, який описує плунжер, над максимальною цикловою подачею палива на суму об'ємів: стиснення палива в надплунжерній об'ємі і в лінії високого тиску, деформації паливопроводу високого тиску, об'єму який описує плунжер при перекритті наповнювальних отворів, при розгоні і гасінні швидкості плунжера.

Приймаємо  $K_2 = 4$

Відповідно до стандартів

$$\frac{S_{\Pi}}{d_{\Pi}} = 1 \dots 1,5$$

Приймаємо  $S_{\Pi} = 1,5 d_{\Pi}$

Діаметр плунжера

$$d_{\Pi} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V_{\Pi}}{1,3 \cdot \pi}} = 80 \text{ мм}$$

Хід плунжера

$$S_{\Pi} = 120 \text{ мм}$$

Площа плунжеру

$$F_{\Pi} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 4989,096 \text{ мм}^2$$

### Розрахунок процесу паливоподачі

Тиск газу в циліндрі двигуна в момент упорскування

$$P_{\Pi} = \frac{P_{\text{сж}} + P_z}{2} = 13,82 \text{ МПа}$$

Коефіцієнт стискаємості палива

$$\alpha_{\text{сж}} = 8 \text{E-}04 \text{ МПа}^{-1}$$

Зазор між торцями плунжера і корпусом нагнітючого клапану

$$\Delta = 8 \text{ мм}$$

Об'єм надплунжерної порожнини паливного насоса

$$\text{при його знаходженні в НМТ} \quad V_{\text{НП}} = F_{\Pi} \cdot (S_{\Pi} + \Delta) = 6 \text{E-}04 \text{ м}^3$$

Коефіцієнт витрати наповнювальних отворів плунжерній пари

$$\mu_{\text{Н}} = 0,86$$

Тиск палива в порожнині низького тиску паливного насоса

$$P_0 = 0,4 \text{ Мпа}$$

Діаметр наповнювальних отворів плунжерній пари  $d_{\text{Н}} = 20 \text{ мм}$

Кількість наповнювальних отворів плунжерній пари  $i_{\text{Н}} = 4$

Прохідний перетин наповнювальних отворів круглої форми

$$f_{\text{Н}} = i_{\text{Н}} \cdot \frac{\pi \cdot d_{\text{Н}}^2}{4} = 0,00126 \text{ м}^2$$

Діаметр голки розпилювача

$$d_{\text{И}} = 30 \text{ мм}$$

Діаметр основи замикаючого конуса голки розпилювача

$$d_{\text{К}} = 18,2 \text{ мм}$$

Відносна величина диференціальної площини голки розпилювача

$$\delta = 0,64$$

Кут замикаючого конуса голки розпилювача

$$\delta_{\text{г}} = 60 \text{ град}$$

Діаметр колодязя розпилювача

$$d_{\text{КО}} = 20 \text{ мм}$$

|     |       |          |        |      |                       |      |
|-----|-------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|     |       |          |        |      | ДП.142.6221м.07.04.ПЗ | Арк. |
| Зм. | Аркуш | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |

|                                                                                      |                               |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| Діаметр розпилюючих отворів                                                          | $d_p = 0,5$ мм                |
| Кількіст розпилюючих отворів                                                         | $i_p = 4$                     |
| Підйом голки розпилювача                                                             | $h_H = 0,45$ мм               |
| Залишковий тиск у системі високого тиску                                             | $P_{зт} = 3$ МПа              |
| Тиск початку впорскування                                                            | $P_{вп} = 40$ МПа             |
| Коефіцієнт витрати мінімального прохідного перерізу в замикаючому конусі розпилювача | $\mu_{зк} = 0,7$              |
| Коефіцієнт витрати отворів розпилювача                                               | $\mu_p = 0,6$                 |
| Сумарний прохідний перетин отворів форсунки                                          | $f_p = 0,785$ мм <sup>2</sup> |

### Розрахунок першого періоду паливоподачі

Коефіцієнти

$$K_1^1 = \frac{F_H}{\alpha_{сж} \cdot 6 \cdot n_K \cdot V_H} = 31,4025$$

$$K_3^1 = \frac{\mu_H}{\alpha_{сж} \cdot 6 \cdot n_K \cdot V_H} \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho_T}} = 258,793$$

Тиск першого періоду

$$P_H = \left( \frac{K_1^1 \cdot C_H}{K_3^1 \cdot f_H} \right)^2 + P_0 = 0,41985 \text{ МПа}$$

$$\Delta P_H = \left( K_1^1 \cdot C_H - K_3^1 \cdot f_H \cdot \sqrt{(P_H - P_0) \cdot 10^6} \right) \cdot \Delta \beta;$$

| $\beta$ | $\Delta P$  |
|---------|-------------|
| 0,5     | 0,633383551 |
| 1       | 1,289663998 |
| 1,5     | 1,945944444 |
| 2       | 2,602224891 |
| 2,5     | 3,258505338 |

$$P = 9,73 \text{ Мпа}$$

### Розрахунок другого періоду паливоподачі

Другий період паливоподачі триває починаючи з моменту відкриття нагнітаючого клапану до моменту підйома голки розпилювача.

Поперечний переріз основи замикаючого конуса голки розпилювача

$$F_K = \frac{\pi \cdot d_K^2}{4} = 52,783 \text{ мм}^2$$

Площа диференціальної площадки голки розпилювача

$$F_\delta = \frac{\pi \cdot (d_H^2 - d_K^2)}{4} = 653,717 \text{ мм}^2$$

До закриття наповнюючих отворів

$$K_1^2 = \frac{F_H}{\alpha \cdot 6 \cdot n_K \cdot (V_H + V_L)} = 31,4025$$

$$K_3^2 = \frac{\mu_H}{\alpha_{сж} \cdot 6 \cdot n_K \cdot (V_H + V_L)} \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho_T}} = 129,396$$

$$\Delta P = \left( K_1^2 \cdot C_H - K_3^2 \cdot f_H \cdot \sqrt{(P_H - P_0) \cdot 10^6} \right) \cdot \Delta \beta$$

|     |       |          |        |      |                       |      |
|-----|-------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|     |       |          |        |      | ДП.142.6221м.07.04.ПЗ | Арк. |
| Зм. | Аркуш | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |

| $\beta$ | $\Delta P$  |
|---------|-------------|
| 3       | 3,033194058 |
| 3,5     | 3,689474505 |
| 4       | 4,345754951 |

$$P = 11,06842 \text{ МПа}$$

Після закриття наповнюючих отворів

$$\Delta P = K_1^3 \cdot C_{II} \cdot \Delta \beta;$$

| $\beta$ | $\Delta P$  |
|---------|-------------|
| 4,5     | 23,62609608 |
| 5       | 24,28237653 |
| 5,5     | 24,93865697 |
| 6,5     | 25,59493742 |
| 7,5     | 26,25121787 |

$$P = 83,92 \text{ МПа}$$

Тиск підйому голки розпилювача

$$P_H = P_{ВП} - P_C \cdot \frac{F_K}{F_\delta} = 39,03 \text{ МПа}$$

Тиск у лінії високого тиску

$$P_L = P_H - P_{3T} = 80,92 \text{ МПа}$$

### Розрахунок третього періоду паливоподачі

Третій період триває від моменту підйому голки розпилювача форсунки, коли починається впорскування палива в циліндр двигуна через розпилюючі отвори розпилювача, до початку відсічки, тобто до моменту початку перетікання палива з надплунжерної порожнини в запірні отвори плунжерній пари. Відсічення в першому наближенні приймаємо після впорскування 70 % циклової подачі палива.

$$K_1^3 = \frac{F_{II}}{\alpha_{СЖ} \cdot 6 \cdot n_K \cdot (V_H + V_L + V_P)} = 31,3533$$

$$K_2^3 = \frac{\mu_P \cdot f_P}{\alpha_{СЖ} \cdot 6 \cdot n_K \cdot (V_H + V_L + V_P)} \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho_T}} = 0,0001$$

$$K_C = \frac{(\mu_{3K} \cdot F_{3K})^2}{(\mu_{3K} \cdot F_{3K})^2 + (\mu_P \cdot f_P)^2} = 0,99769$$

$$F_{3K} = \pi \cdot \left( d_{KO} - h_H \cdot \sin \frac{\delta_H}{2} \cdot \cos \frac{\delta_H}{2} \right) \cdot h_H \cdot \sin \frac{\delta_H}{2} = 1,4E-05 \text{ м}^2$$

$$\Delta P = \left( K_1^3 \cdot C_{II} - K_2^3 \cdot \sqrt{K_C \cdot (P_L - P_{II}) \cdot 10^6} \right) \cdot \Delta \beta;$$

| $\beta$ | $\Delta P$  | P     |
|---------|-------------|-------|
| 8       | 10,48343742 | 91,40 |
| 8,5     | 11,13868845 | 92,05 |
| 9       | 11,79393947 | 92,71 |
| 9,5     | 12,44919049 | 93,36 |
| 10      | 13,10444151 | 94,02 |
| 10,5    | 13,75969253 | 94,68 |

|     |       |          |        |      |                       |      |
|-----|-------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|     |       |          |        |      | ДП.142.6221м.07.04.ПЗ | Арк. |
| Зм. | Аркуш | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |

|      |             |        |
|------|-------------|--------|
| 11   | 14,41494355 | 95,33  |
| 11,5 | 15,07019457 | 95,99  |
| 12   | 15,72544559 | 96,64  |
| 12,5 | 16,38069661 | 97,30  |
| 13   | 17,03594764 | 97,95  |
| 13,5 | 17,69119866 | 98,61  |
| 14   | 18,34644968 | 99,26  |
| 14,5 | 19,0017007  | 99,92  |
| 15   | 19,65695172 | 100,57 |
| 15,5 | 20,31220274 | 101,23 |
| 16   | 20,96745376 | 101,88 |
| 16,5 | 21,62270478 | 102,54 |
| 17   | 22,2779558  | 103,19 |
| 17,5 | 22,93320683 | 103,85 |
| 18   | 23,58845785 | 104,50 |
| 18,5 | 24,24370887 | 105,16 |
| 19   | 24,89895989 | 105,81 |
| 19,5 | 25,55421091 | 106,47 |
| 20   | 26,20946193 | 107,13 |
| 20,5 | 26,86471295 | 107,78 |
| 21   | 27,51996397 | 108,44 |
| 21,5 | 28,17521499 | 109,09 |
| 22   | 28,83046602 | 109,75 |

Тиск у лінії високого тиску

$$P_{Л1+1} = P_{Л1} + \Delta P = 101,88 \text{ МПа}$$

Тиск палива перед розпилюючими отворами

$$P_c = \frac{(\mu_{зк} \cdot F_{зк})^2 \cdot P_L + (\mu_P \cdot f_P)^2 \cdot P_{Ц}}{(\mu_{зк} \cdot F_{зк})^2 + (\mu_P \cdot f_P)^2} = 101,68 \text{ МПа}$$

#### Четвертий період паливоподачі

Четвертий період паливоподачі триває від моменту відсічення розвантажувального ходу нагнітального клапана, який настає, коли припиняється подача палива з надплунжерної порожнини в порожнину корпусу нагнітального клапана внаслідок зрівнювання об'ємної швидкості плунжера з об'ємною швидкістю витікання палива через відсічні отвори і швидкістю розширення палива в надплунжерній порожнині через падіння тиску.

#### П'ятий період паливоподачі

П'ятий період паливоподачі триває від моменту початку розвантажувального ходу нагнітального клапана до посадки голки розпилювача на замикаючий конус корпусу розпилювача форсунки.

Тиск посадки голки форсунки

$$P_{КВ} = P_{НВ} \cdot \delta = 25,6 \text{ МПа}$$

|     |       |          |        |      |                       |      |
|-----|-------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|     |       |          |        |      | ДП.142.6221м.07.04.ПЗ | Арк. |
| Зм. | Аркуш | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |

### Розрахунок плунжеру

Розрахунок плунжера на стиск в мінімальному перетині і питоме навантаження опорного торця.

Напруга стиснення в мінімальному перетині плунжера  
якщо мінімальний діаметр плунжеру та максимальний однакові

$$\sigma_{сж} = \frac{P_T}{F_{\text{пмін}}} = 83,9156 \text{ МПа}$$

якщо мінімальний діаметр плунжеру дорівнює  $d_{\text{мін}} = 76 \text{ мм}$  тоді  
площа мінімального поперечного перерізу плунжера

$$F_{\text{мін}} = \frac{\pi \cdot d_{\text{пмін}}^2}{4} = 4501 \text{ мм}^2$$
$$\sigma_{сж} = \frac{P_T}{F_{\text{пмін}}} = 93,0154 \text{ МПа}$$

напруга стиснення в мінімальному поперечному перерізі плунжера  
не перевищують допустимих  $[\sigma_{сж}] = 300 \text{ МПа}$

Питома навантаження при плоских торцях плунжера і штовхача  
діаметр опорного торця плунжера  $d_{\text{поп}} = 60 \text{ мм}$   
площа опорного торця плунжера

$$F_{\text{поп}} = \frac{\pi \cdot d_{\text{поп}}^2}{4} = 2826 \text{ мм}^2$$
$$K_m = \frac{P_T}{F_{\text{поп}}} = 148,147$$

питоме навантаження при плоских торцях плунжера і штовхача не перевищує  
допустимої  $[K_T] = 2000 \text{ МПа}$

### Розрахунок пружини форсунки двигуна 6ДКРН 80/230

Значення середнього діаметру пружини форсунки двигуна

$$D_{\text{оф}} = 80 \text{ мм}$$

Індекс пружини форсунки двигуна

$$C_{\text{пр}} = \frac{D_{\text{оф}}}{d_{\text{пф}}} = \frac{80}{10} = 8$$

Число робочих витків пружини форсунки двигуна

$$I_p = \frac{G \cdot d_{\text{пф}}^4}{8 \cdot D_{\text{оф}}^3 \cdot K_{\text{п2}} \cdot K_{\text{ж}}} = \frac{129,26 \cdot 10^{10} \cdot 0,010^4}{8 \cdot 0,080^3 \cdot 1,1111 \cdot 236,693 \cdot 10^3} = 12$$

приймаємо  $I_p = 12$  та визначаємо нове значення  $K_{\text{ж}}$ :

$$K_{\text{ж}} = \frac{G \cdot d_{\text{пф}}^4}{8 \cdot D_{\text{оф}}^3 \cdot K_{\text{п2}} \cdot i_p} = \frac{129,26 \cdot 10^{10} \cdot 0,010^4}{8 \cdot 0,08^3 \cdot 1,11 \cdot 12} = 236,693 \text{ кН/м}$$

Повне число витків форсунки двигуна

$$I_{\text{п}} = I_p + I_{\text{оп}} = 12 + 3 = 15$$

|     |       |          |        |      |                       |      |
|-----|-------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|     |       |          |        |      | ДП.142.6221м.07.04.ПЗ | Арк. |
| Зм. | Аркуш | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |

Значення сили попереднього затягування пружини форсунки двигуна

$$P_1 = p_{\text{нв}} \cdot F_d = 180 \cdot 10^6 \cdot 5,22 \cdot 10^{-5} = 9696 \text{ Н}$$

Оцінка можливості прориву робочих газів з робочої порожнини через запірний конус розпилювача форсунки

$$\frac{P_1}{P_{\text{ТО}} + P_{\text{Г}}} = \frac{9396}{6532,9} = 1,438 \geq 1,3$$

$$P_{\text{ТО}} + P_{\text{Г}} = 0,785 \cdot \left[ 0,5 \cdot (P_z + P_{\text{ст}}) \cdot d_K^2 + P_{\text{ТО}} \cdot (d_H^2 + d_K^2) \right]$$

$$P_{\text{ТО}} + P_{\text{Г}} = 0,785 \cdot \left[ 0,5 \cdot (15,66 + 11,98) \cdot 0,0082^2 + 6 \cdot (0,03^2 + 0,0082^2) \right] = 6532,9 \text{ Н}$$

Значення сила, яка стискує пружину при підйомі голки форсунки двигуна до упору

$$P_{\text{уп}} = P_1 + K_{\text{ж}} \cdot h_{\text{и}} = 9696 + 236693,65 \cdot 0,01 = 11762,93 \text{ Н}$$

Сила, яка діє на пружину у момент відриву від замикаючого конусу розпилювача форсунки двигуна

$$P_2 = \sqrt{P_1^2 + M \cdot V_{\text{МАХ}}^2 \cdot K_{\text{ж}}} = \sqrt{9396^2 + 60,96^2 \cdot 2,496 \cdot 10^3} = 13348,28 \text{ Н}$$

$$\text{де } M = m_{\text{и}} + m_{\text{ш}} + m_{\text{п}}/3 = 15,525 + 42,855 + \frac{7,74}{3} = 60,96$$

$$m_{\text{и}} = 6,45 \cdot 10^{-6} \cdot D_{\text{оф}} \cdot d_{\text{пф}}^2 \cdot i_{\text{п}} = 64,5 \cdot 10^{-6} \cdot 80 \cdot 10^2 \cdot 15 = 7,74$$

$$V_{\text{МАХ}} = \frac{2 \cdot h_{\text{и}}}{t_{\text{и}}} = \frac{2 \cdot 1 \cdot 10^{-2}}{8,013 \cdot 10^{-3}} = 2,496 \text{ м/с}; t_{\text{и}} = \frac{\alpha_{\text{п}}}{6 \cdot n} = \frac{5}{6 \cdot 104} = 8,013 \cdot 10^{-3} \text{ с}$$

так як  $P_{\text{уп}} < P_2$ , відповідно тоді для проведення розрахунків приймаємо  $P_{\text{п}} = P_2$

Значення максимальної сили, що стискує пружину до виникнення дотику між витками

$$P_3 = \frac{P_{\text{п}}}{1 - \delta_3} = \frac{13348,28}{1 - 0,25} = 17797,715 \text{ Н}$$

де  $\delta_3 = 0,25$  – значення відносного інерційного зазору.

Значення напруги матеріалу пружини від кручення

$$\tau = \frac{2,55 \cdot D_{\text{оф}} \cdot K_{\text{п}} \cdot P}{d_{\text{пф}}^3} = \frac{2,55 \cdot 0,08 \cdot 1,58 \cdot P}{0,010^3} = 322320 \cdot P \text{ МПа}$$

Значення напруги при попередньому затягуванні пружини форсунки

$$\tau_1 = R \cdot P_1 = 322320 \cdot 9396 \cdot 10^{-6} = 302,85 \text{ МПа}$$

Значення напруги при дійсному робочому зусиллі

|     |       |          |        |      |                       |      |
|-----|-------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|     |       |          |        |      | ДП.142.6221м.07.04.ПЗ | Арк. |
| Зм. | Аркуш | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |

$$\tau_2 = R \cdot P_p = 322320 \cdot 1334,8 \cdot 10^{-6} = 430,24 \text{ МПа} < 675 \text{ МПа}$$

Значення напруги при стискуванні пружини форсунки до виникнення дотику між витками

$$\tau_3 = R \cdot P_3 = 322320 \cdot 1779,77 \cdot 10^{-6} = 573,655 \text{ МПа} < 940 \text{ МПа}$$

Значення напруги від сили кручення не перевищує допустимі значення.

Значення відносного фактору запасу міцності

$$K_{\Pi} = \frac{\alpha_d}{\alpha_{\tau}} = \frac{1,837 \cdot 10^8}{1,274 \cdot 10^7} = 1,442 > 1,2$$

відповідно до чого пружина форсунки володіє хорошими втомними характеристиками.

Значення допустимих розмірів коливань

$$\alpha_d = 240 \cdot 10^6 - 0,51 \cdot 10^{-9} \cdot (\tau_2 - 98 \cdot 10^6)^2$$

$$\alpha_d = 240 \cdot 10^6 - 0,51 \cdot 10^{-9} \cdot (430,24 \cdot 10^6 - 98 \cdot 10^6)^2 = 183,7 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Значення дійсний розмірів коливань

$$\alpha_{\tau} = \tau_2 - \tau_1 = 430,24 - 302,85 = 127,39 \text{ МПа}$$

Перевірка відсутності контакту витків пружини форсунки

$$\frac{V_{MAX}}{V_{KP}} = \frac{2,49}{11,77} = 0,211 < 1; \text{ де } V_{KP} = \frac{\tau_3 \cdot \left(1 - \frac{P_p}{P_2}\right)}{\sqrt{2 \cdot G \cdot \rho}} = 11,77 \text{ м/с}$$

відповідно до чого зіткнення витків пружини форсунки відсутнє.

Значення деформації пружини форсунки

– попередня деформація

$$F_1 = \frac{P_1}{K_{ж}} = \frac{939,6}{236,6 \cdot 10^3} = 39,7 \cdot 10^{-3}, \text{ м}$$

– робоча деформація

$$F_p = \frac{P_p}{K_{ж}} = \frac{1334,8}{236,6 \cdot 10^3} = 49,7 \cdot 10^{-3}, \text{ м}$$

– максимальна деформація до виникнення контакту між витками форсунки

$$F_3 = \frac{P_3}{K_{ж}} = \frac{1777,97}{236,6 \cdot 10^3} = 0,0752, \text{ м}$$

Значення максимальної деформації одного витка пружини форсунки

|     |       |          |        |      |                       |      |
|-----|-------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|     |       |          |        |      | ДП.142.6221м.07.04.ПЗ | Арк. |
| Зм. | Аркуш | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |

$$f_3 = \frac{8 \cdot D_{\text{оф}}^3 \cdot K_{\text{п2}} \cdot P_3}{G \cdot d_{\text{пф}}^4} = \frac{8 \cdot 0,08^3 \cdot 1,11 \cdot 1777,97}{129,265 \cdot 10^{10} \cdot 0,010^3} = 6,266 \cdot 10^{-5}, \text{ м}$$

Перевірка пружини форсунки на резонанс

$$\frac{n_c}{n_k} = \frac{2825,52}{475} = 5,9 > 10$$

відповідно резонанс у пружині форсунки відсутній.

Значення нижчої власної частоти коливань пружини форсунки

$$n_c = 2,17 \cdot 10^7 \cdot \frac{d_{\text{пф}}}{i_p \cdot D_{\text{оф}}^2} = 2,17 \cdot 10^7 \cdot \frac{10}{12 \cdot 80^2} = 2825,52, \text{ с}^{-1}$$

Значення висоти пружини форсунки у стиснутому до дотику витків стані

$$H_3 = (i_p + 2) \cdot d_{\phi} = (12 + 2) \cdot 10 = 140, \text{ мм}$$

Значення висоти пружини форсунки у вільному стані

$$H_0 = H_3 + F_3 = 140 + 100 = 240 \text{ мм}$$

Перевірка пружини форсунки на стійкість

$$\frac{H_0}{D_{\text{оф}}} = \frac{240}{8} = 3 < 8$$

відповідно пружина форсунки стійка.

Значення висоти пружини форсунки при попередній її деформації

$$H_1 = H_0 - F_1 = 240 - 39,69 = 200,30 \text{ мм}$$

Значення висоти пружини форсунки при робочій її деформації

$$H_2 = H_0 - F_p = 240 - 49,69 = 190,3 \text{ мм}$$

Значення кроку пружини форсунки

$$t = f_3 + d_{\text{пф}} = 0,062 + 10 = 10,062 \text{ мм}$$

Значення довжини пружини у розгорнутому стані

$$L = 3,2 \cdot D_{\text{оф}} \cdot i_{\text{п}} = 3,2 \cdot 80 \cdot 15 = 3840 \text{ мм}$$

### ***Розрахунок корпусу розпилювача форсунки двигуна 6ДКРН 80/230***

Корпус розпилювача форсунки двигуна 6ДКРН 80/230 перевіряється на деформацію від зусилля затяжки гайки форсунки та напруги розриву в перетині отворів розпилення.

Значення деформації корпусу розпилювача форсунки від зусилля затяжки гайки

|     |       |          |        |      |                       |      |
|-----|-------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|     |       |          |        |      | ДП.142.6221м.07.04.ПЗ | Арк. |
| Зм. | Аркуш | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |

$$\delta_{ДЕ} = \frac{10^6 \cdot P_3 \cdot l_3}{F_3 \cdot E} = \frac{10^6 \cdot 0,3518 \cdot 0,06}{15,1 \cdot 10^{-4} \cdot 2,2 \cdot 10^5} = 63,54 \text{ мкм}$$

де  $l_3 = 0,06$  м – довжина частини корпусу розпилювача форсунки, який затискається;  $F_3 = 15,1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$  – площа поперечного перетину частини корпусу розпилювача, який затискається;  $P_3 = q \cdot F_\gamma = 233 \cdot 15,1 \cdot 10^{-4} = 0,3518$  МН – осьове зусилля від затяжки накидної гайки форсунки;  $q = 50\text{--}200$  МПа – значення питомого тиску на торці розпилювача, що забезпечує ущільнення каналу високого тиску ( $q = 233$  для двигуна прототипу);  $F_\gamma = 15,1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$  – значення площі ущільнюючого торця розпилювача форсунки.

Значення напруги розриву у перетині отворів розпилення

$$\sigma_{II} = \frac{P_{C\text{MAX}} \cdot (0,785 \cdot d_{KO}^2 + i_p \cdot d_p \cdot l_p)}{0,785 \cdot (d_{HP}^2 - d_{KO}^2) - i_p \cdot d_p \cdot l_p}$$

$$\sigma_{II} = \frac{101,68 \cdot (0,785 \cdot 0,010^2 + 4 \cdot 0,0005 \cdot 0,004)}{0,785 \cdot (0,016^2 - 0,01^2) - 4 \cdot 0,0005 \cdot 0,004} = 76,841 \text{ МПа}$$

де  $P_{C\text{max}} = 101,68$  МПа – максимальний тиск палива перед отворами розпилення форсунки;  $d_{KO} = 10$  мм;  $d_{HP} = 16$  мм;  $d_p = 0,5$  – діаметр колодязя розпилювача зі зовнішньої частини носика розпилювача форсунки;  $i_p = 4$  – число отворів розпилювача форсунки;  $l_p = 0,004$  м – довжина отвору розпилювача; напруга розриву в перетині отворів розпилення не повинно перевищувати допустимого значення –  $[\sigma_p] = 80$  МПа.

### ***Розрахунок голки розпилювача форсунки двигуна 6ДКРН 80/230***

Значення питомого навантаження між запірними конусами голки та корпусу розпилювача форсунки

$$K_{II} = \frac{P_{HB} \cdot (d_{II}^2 - d_K^2)}{d_K^2 - d_Y^2} = \frac{40 \cdot (0,03^2 - 0,0182^2)}{0,0182^2 - 0,0162^2} = 330,67 \text{ МПа}$$

де  $P_{HB} = 40$  МПа – тиск початку упорскування палива;  $d_{II}$ ,  $d_K$ ,  $d_Y$  – діаметр голки, частини замикаючого вершину конуса та замикаючого конуса голки форсунки відповідно. Розраховане значення питомого навантаження не перевищує допустимого  $[K_{II}] = 350$  МПа.

Значення питомого навантаження на опорні торцеві поверхні голки при її повному ході

|     |       |          |        |      |                       |      |
|-----|-------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|     |       |          |        |      | ДП.142.6221м.07.04.ПЗ | Арк. |
| Зм. | Аркуш | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |

$$K_{\text{ио}} = \frac{P_{\text{лmax}} \cdot d_{\text{и}}^2 - 1,27 \cdot P_{\text{уп}}}{d_{\text{и}}^2 - d_{\text{оп}}^2} = \frac{101,88 \cdot 0,03^2 - 1,27 \cdot 1,176 \cdot 10^{-3}}{0,03^2 - 0,0162^2} = 143,793 \text{ МПа}$$

де  $P_{\text{л max}} = 101,88 \text{ МПа}$  – значення максимального тиску палива у лінії високого тиску;  $d_{\text{и}}, d_{\text{оп}}$  – діаметр голки форсунки та її опорної поверхні, мм;  $P_{\text{уп}}$  – сила, яка стискає пружину форсунки при підйомі голки до її упору;  $K_{\text{ж}}$  – жорсткість пружини форсунки;  $P_1$  – значення сили попереднього затягування пружини форсунки;  $F_{\text{д}}$  – площа диференційної площадки,  $\text{м}^2$ .

Розраховане значення питомого навантаження не перевищує допустиме  $[K_{\text{ио}}] = 150 \text{ МПа}$ .

Розрахунок значення напруги зминання у сполученні сфери штанги з торцевою площиною хвостовика голки форсунки

$$\sigma_{\text{см}} = 0,616 \cdot \sqrt[3]{\frac{P_{\text{уп}} \cdot E^2}{d_{\text{сш}}^2}} = 0,616 \cdot \sqrt[3]{\frac{1,176 \cdot 10^{-3} \cdot (2,2 \cdot 10^5)^2}{0,06^2}} = 1546,2 \text{ МПа}$$

де  $d_{\text{сш}} = 0,06 \text{ м}$  – значення діаметру сфери штанги.

Розрахована напруга зминання не перевищує допустимого значення  $[\sigma_{\text{см}}] = 2000 \text{ МПа}$ .

### ***Розрахунок стрижня штанги форсунки двигуна 6ДКРН 80/230***

Штанга форсунки двигуна 6ДКРН 80/230 перевіряється на напругу стиску в мінімальному перетині та на запас стійкості від поздовжнього вигину.

Значення напруги від стиску в мінімальному перетині штанги форсунки:

$$\sigma_{\text{сж}} = \frac{4 \cdot P_{\text{уп}}}{\pi \cdot d_{\text{шт}}^2} = \frac{4 \cdot 1,176 \cdot 10^{-3}}{3,14 \cdot 0,011^2} = 124,235 \text{ МПа}$$

де  $d_{\text{шт}} = 0,011 \text{ м}$  – значення найменшого діаметра стрижня штанги.

Напруга від стиску в мінімальному перетині стрижня штанги форсунки не перевищує допустимого  $[\sigma_{\text{сж}}] = 300 \text{ МПа}$ .

Значення запасу стійкості штанги форсунки від поздовжнього вигину

$$n_{\text{в}} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{\text{шт}}}{P_{\text{уп}} \cdot l_{\text{шт}}^2} = \frac{3,14^2 \cdot 2,2 \cdot 10^5 \cdot 7,183 \cdot 10^{-10}}{1,176 \cdot 10^{-3} \cdot 0,2^2} = 3,311$$

де  $l_{\text{шт}} = 0,2 \text{ м}$  – довжина штанги форсунки;

|     |       |          |        |      |                       |      |
|-----|-------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|     |       |          |        |      | ДП.142.6221м.07.04.ПЗ | Арк. |
| Зм. | Аркуш | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |

$$I_{шт} = \frac{\pi \cdot d_{шт}^4}{64} = \frac{3,14 \cdot 0,011^4}{64} = 7,183 \cdot 10^{-10} \text{ м}^4 - \text{значення моменту інерції мінімального}$$

поперечного перетину штанги форсунки.

Значення розрахованого запасу стійкості від вигину більше допустимого  $[n_y] = 2,5$ .

#### 4.4. Висновки до розділу

У розділі розроблено принципову схему паливної системи з паливним насосом високого тиску з гідравлічним приводом плунжера та електронним керуванням паливоподачі для головного малообертового суднового двигуна 6ДКРН 80/230 виробництва фірми **MAN B&W**, який встановлено на контейнеровозі. Отримані у другому розділі результати розрахунку робочого циклу двигуна дозволили визначити параметри та спроектувати основні елементи паливного насоса високого тиску з гідравлічним приводом плунжера. Згідно з розрахунком усі діючі механічні навантаження на елементи паливного насоса високого тиску та паливної форсунки знаходяться у допустимих межах.

Креслення системи керуючого масла для гідравлічного приводу, паливний насос високого тиску, аксиально-плунжерний масляний насос високого тиску та золотниковий розподільник паливного насосу представлені на аркушах формату А1.

|     |       |          |        |      |                       |      |
|-----|-------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|     |       |          |        |      | ДП.142.6221м.07.04.ПЗ | Арк. |
| Зм. | Аркуш | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |

|             |      |                 |        |      |                                         |  |  |
|-------------|------|-----------------|--------|------|-----------------------------------------|--|--|
|             |      |                 |        |      | ДП.142.6221м.07.05.ПЗ                   |  |  |
|             |      |                 |        |      |                                         |  |  |
| Змн.        | Арк. | № докум.        | Підпис | Дата | Монтаж судового двигуна<br>6ДКРН 80/230 |  |  |
| Студент.    |      | Мелконян Л.Т.   |        |      |                                         |  |  |
| Консультант |      |                 |        |      |                                         |  |  |
| Керівник    |      | Митрофанов О.С. |        |      |                                         |  |  |
|             |      |                 |        |      |                                         |  |  |
|             |      |                 |        |      | НУК<br>ім. адм. Макарова                |  |  |

## **5. Технологічний процес монтажу головного суднового малообертового двигуна 6ДКРН 80/230 на судовий фундамент**

### **5.1. Аналіз способів монтажу головних двигунів на судовий фундамент**

Монтаж головного суднового двигуна може здійснюватися блочним чи агрегатним шляхом. Малообертові суднові двигуни мають значну масу та габарити, які ускладнюють, а у деяких випадках узагалі унеможливають транспортування їх у зібраному стані. Відповідно встановлення двигуна та центрування виконують тільки окремими блоками. Після закріплення двигуна та центрування на судновому фундаменті необхідно провести трудомістке й досить точне загальне складання двигуна із забезпеченням конструктивних та технологічних допусків. Основним недоліком способу блочного монтажу є недостатня жорсткість остову двигуна, вплив деформацій корпусу судна, обмеженість транспортабельності монтажних блоків, а також обмеженість або відсутність кранів великої вантажопідйомності.

Агрегатний спосіб монтажу, на відміну від блочного, не потребує трудомісткого та точного складання суднового двигуна в умовах судна, яке будується. Економічна доцільність та ефективність способу агрегування полягає у тому, що значно знижується трудомісткість монтажу двигуна за рахунок перенесення його збиральних операцій із судна до окремого цеху заводу. Однак недоліки агрегатного способу монтажу фактично ті самі, що й при блочному способі монтажу двигуна на судовий фундамент.

Враховуючі перераховані переваги та недоліки, а також світовий досвід монтажу малообертових двигунів приймаємо агрегатний спосіб монтажу для суднового двигуна 6ДКРН 80/230.

Центрування механізмів при монтажі може виконуватися оптичним методом або по зломам й зміщенням осей валів. Так, метод центрування механізмів по зломам та зміщенням осей валів передбачає визначення положення одного механізму по відношенню до базового. Головний судновий двигун центрують відповідно по фланцю першого проміжного валу. Перевагою цього метода є те,

|     |      |             |        |      |                       |      |
|-----|------|-------------|--------|------|-----------------------|------|
|     |      |             |        |      | ДП.142.6221м.07.05.ПЗ | Лист |
| Зм. | Лист | № документа | Підпис | Дата |                       |      |

що головний двигун можна монтувати після опущення судна на воду. Недоліком є необхідність наявності проміжного валу (базового механізму).

Центрування суднового двигуна або будь якого іншого механізму оптичним методом забезпечується за допомогою візирної труби по двом мішеням, які дозволяють матеріалізувати базові точки теоретичної осі валопроводу. Перевагою даного методу є відсутність необхідності мати базовий механізм та безпосередньо монтованого механізму, а також цей метод дозволяє забезпечити меншу похибку вимірювання на відміну від інших методів. Відповідно тому для центрування суднового двигуна 6ДКРН 80/230 обираємо оптичний метод.

Встановлення головного двигуна на судновий фундамент здійснюємо на спеціальних пластмасових підкладках, що дозволяє відмовитися від попередньої обробка опорних поверхонь фундаменту з використанням дорогих переносних металообробних верстатів.

## **5.2. Необхідні прилади та пристрої для здійснення монтажу на судновий фундамент головного двигуна 6ДКРН 80/230**

Для монтажу головного двигуна використовується траверса, яка представляє собою зварну з двох швелерів балку. Між звареними швелерами на кінцях балки встановлюються по блоку для тросів. До осі блоків підвішуються тяги, які мають на кінці вантажні скоби. Для забезпечення центрування головного двигуна 6ДКРН 80/230 та пробивки осі валопроводу використовується візирні труби марок ВТ-3 (рис.5.1) й ВТ-4, а також застосовують трубу прецизійного нівеліра НА-1. Візирні труби ВТ-3 та ВТ-4 є переобладнаними трубами теодоліта марок ТТ-50 і Т-5, які є рівноцінними за якостями й точністю спостереження.

Основні технічні характеристики візирної труби ВТ-3

|                                               |      |
|-----------------------------------------------|------|
| Величина збільшення труби (кратність).....    | 25,3 |
| Дозвільна сила.....                           | 4,5  |
| Границя візування, м.....                     | 1–25 |
| Точність візування на довжині у 25 м, мм..... | 0,3  |
| Маса візирної труби, кг.....                  | 3    |

|     |      |             |        |      |                       |      |
|-----|------|-------------|--------|------|-----------------------|------|
|     |      |             |        |      | ДП.142.6221м.07.05.ПЗ | Лист |
| Зм. | Лист | № документа | Підпис | Дата |                       |      |

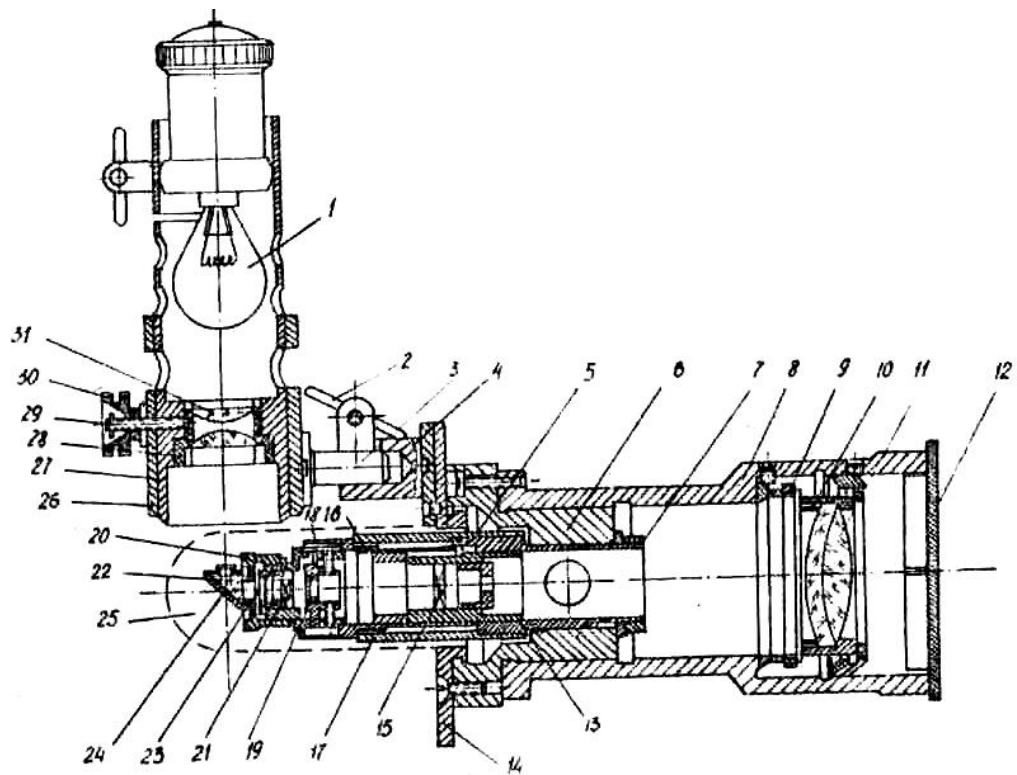


Рисунок 5.1 – Загальна конструкція та устрій візирної труби ВТ-3

Для закріплення візирної труби на фланці валу головного суднового двигуна 6ДКРН 80/230 застосовуються спеціальні кронштейни кріплення представлені на рис. 5.2. Перший тип (рис. 5.2, а) використовується при кріпленні візирних труб марок ВТ-3 або ВТ-4, а другий (рис. 5.2, б) – труби НА-І.

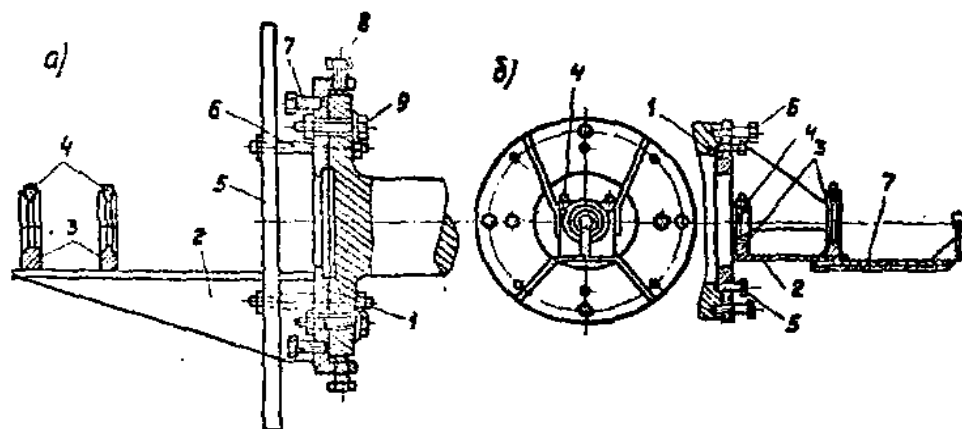


Рисунок 5.2 – Конструкція кронштейнів для кріплення візирної труби ВТ-3 на фланець головного двигуна 6ДКРН 80/230

Для виготовлення пластмаси використовується змішувач марки СЛ-10 представлений на рис. 5.3. Змішувач СЛ-10 має корито з масляним підігрівом

спеціальної форми, яке виконане із нержавіючої сталі, а робочими органами є два z-подібних валка. Робочий об'єм корита змішувача складає 5 л, а повний – 10 л.

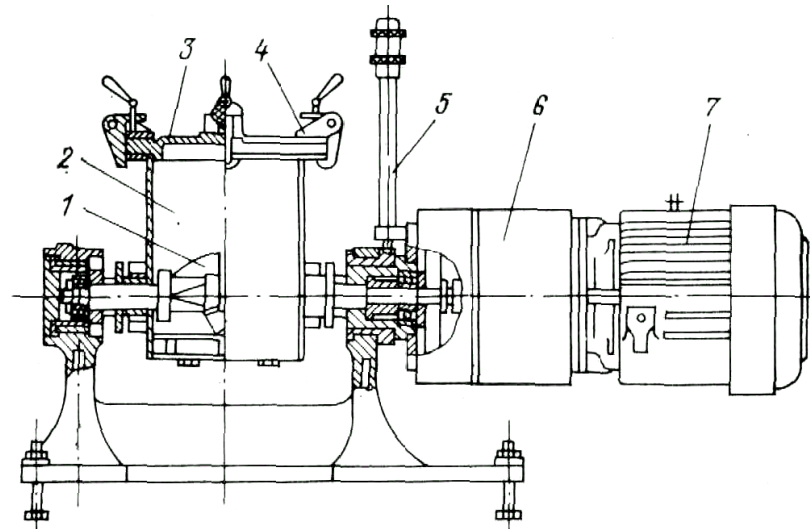


Рисунок 5.3 – Конструкція та устрій змішувач пластмаси СЛ-10

Запресовування пластмаси у отвори лап механізму здійснюється пневматичним пресом. Пневматичний прес складається з привідного циліндру закритого кришкою та робочого циліндру з привідним та робочим поршнями, які пов'язані між собою за допомогою штоку. Робочий об'єм циліндру складає 2,63 л, а робочий тиск стиснутого повітря – 0,5...0,6 МПа.

### 5.3. Технічні вимоги до монтажу головного суднового двигуна 6ДКРН 80/230

#### Основні вимоги до фундаменту

Фундаменти на, які встановлюються двигуни повинні бути виготовлені згідно з ОСТ 5.0015–70 та відповідною діючою технічною документацією. Правильність встановлення фундаменту щодо теоретичної осі валопроводу судна перевіряється за ОН 9-915–69. Місце встановлення фундаменту задається спеціальними контрольними точками, які нанесено за координатами із плаза на спеціальних шергенах в частині носової та кормової перебірок МВ у блоці судна. За умов відсутності інших додаткових вимог, зазначених у монтажному кресленні, координати встановлення фундаменту повинні відповідати наступним допускам:

|     |      |             |        |      |                       |      |
|-----|------|-------------|--------|------|-----------------------|------|
|     |      |             |        |      | ДП.142.6221м.07.05.ПЗ | Лист |
| Зм. | Лист | № документа | Підпис | Дата |                       |      |

– непаралельність осі фундаменту відносно теоретичної осі валопроводу у горизонтальній площині повинно становити не більш 1 мм на 1 м довжини самого фундаменту, а зсув його осі відносно теоретичної осі лінії валу не повинне перевищувати  $\pm 8$  мм;

– непаралельність поверхонь опор фундаменту відносно теоретичної осі лінії валу в вертикальній його площині допускається не більш 1 мм на 1 м довжини самого фундаменту, а відхилення відстані від поверхонь опор фундаменту до теоретичної осі лінії валу по висоті, при цьому, не повинне перевищувати  $+10, -3$  мм;

– допустиме відхилення відстані фундаменту від поперечної перебірки судна становить  $\pm 10$  мм.

Встановлення фундаменту повинно бути прийнято технічним контролем та схвалено організацією, яка забезпечує нагляд. До початку процесу обробки поверхонь опор фундаменту на судні в частині розміщення фундаменту необхідно закінчити усі роботи, які можуть викликати деформацію фундаменту, наприклад, проведення зварювальних робіт, клепки, іспитів на непроникність тощо.

Обробка поверхонь опор фундаменту повинна виконуватися згідно з діючою технічною документацією. Допускається обробка тільки ділянок фундаменту встановлення компенсуючих ланок. У такому випадку оброблена ділянка фундаменту повинна бути з кожної її сторони на 15 мм більше розміру встановлюваної компенсуючої ланки.

Перевірка точності обробки поверхонь опор фундаменту виконується за допомогою щупа та лінійки довжина, якої повинна бути не менше довжини компенсуючої ланки. При цьому пластина щупу з товщиною 0,05 мм не повинна проходити між поверхнею та лінійкою. При встановленні двигуна на пластмасу обробку поверхонь опор фундаменту виконувати не слід. Краї поверхонь, що оброблено необхідно притупити, поверхні опор фундаменту змазати консервуючим маслом та захистити від механічних ушкоджень, а необроблені поверхні пофарбовані.

### ***Основні вимоги до завантаження головного двигуна***

До початку завантаження двигуна у корпус судна необхідно зробити перевірку з метою виявлення дефектів, які можуть перешкоджати правильній установ-

|     |      |             |        |      |                       |      |
|-----|------|-------------|--------|------|-----------------------|------|
|     |      |             |        |      | ДП.142.6221м.07.05.ПЗ | Лист |
| Зм. | Лист | № документа | Підпис | Дата |                       |      |

ці двигуна на фундамент. При виявленні дефектів їх необхідно усунути. Поверхню опор фундаменту необхідно очистити від консервуючого масла та слідів іржі.

Вузли та деталі, які перешкоджають нормальній установці двигуна, повинні бути демонтовані згідно з вимогами інструкції з експлуатації двигуна. Зняті деталі та вузли необхідно маркувати, законсервувати та здати на зберігання.

Конструкції які слугують для завантаження двигуна, а також інструкція з їх встановлення повинні бути узгоджені з підприємством-постачальником.

Стропування двигуна для завантаження необхідно робити за спеціальною схемою, яка розроблена підприємством-постачальником. Перед тим, як завантажувати двигун на фундамент судна, яке знаходиться на стапелі, потрібно його корпус навантажити зусиллями, що попереджує деформацію. Перед встановленням двигуна на фундамент їх нижні опорні поверхні та поверхні фланців необхідно очистити і оглянути, а при виявленні заусенців та забоїв їх необхідно усунути.

Двигун необхідно встановлювати на судновий фундамент на тимчасових дерев'яних прокладках, товщиною яка дорівнює розмірам компенсуючих клинів. Прокладки необхідно розставити таким чином, щоб не перешкоджати подальшій установці віджимних болтів або іншого обладнання для переміщення ГД.

У повздовжньому напрямку головний двигун повинен встановлюватися за допомогою мірної рейки, на якій зафіксовано, згідно з кресленням, відстань від кормового торця кронштейна, яблука ахтерштевня або прийнятої за базу лінії до кормового торця валу двигуна. Після завантаження головного двигуна, завантажувальне обладнання необхідно зняти, а ГД накрити чохлами.

### ***Основні вимоги до стикування валів головного двигуна***

Фланці валів, які стикуються необхідно розвернути один відносно іншого таким чином, щоб місця з максимальним торцевим биттям розташовувалися через кут 180°.

При стикуванні фланці валів необхідно відцентровані один відносно іншого у вертикальній та горизонтальній площині з точністю, яка складає 0,1 мм на зсув й 0,15 мм/м на злам. Зсув валів повинен визначатися за допомогою стріл при спільному повороті цих валів. Злам необхідно визначати за допомогою щупу по рі-

|     |      |             |        |      |                       |      |
|-----|------|-------------|--------|------|-----------------------|------|
|     |      |             |        |      | ДП.142.6221м.07.05.ПЗ | Лист |
| Зм. | Лист | № документа | Підпис | Дата |                       |      |

зниці зазорів між фланцями. Відцентровані фланці валів з рознесеним торцевим биттям стягуються тимчасовими болтами, після чого в обох фланцях одночасно виконується обробка отворів під з'єднувальні болти.

### ***Основні вимоги до центрування головного двигуна***

За умов використання оптичного методу центрування виконання установки та центрування оптичного приладу на фланці двигуна необхідно виконувати відповідно до ОСТ 5.4078–73 або ОСТ 5.4038–71.

Головний двигун встановлюється на судні по осі валопроводу, матеріалізованого двома точками, координати яких отримують з плаза. Плазові точки потрібно нанести на корпусні конструкції судна з точністю не менш ніж  $\pm 1$  мм від розмірів вказаних у кресленні. Оптичне оснащення, яке використовується при центруванні повинне забезпечити високу точність вимірів. Теоретичну вісь валопроводу необхідно зафіксувати перехрещенням двох ліній, які нанесено на мішень. Товщина ліній перехрещень мішені  $t$  залежить від значення відстані спостереження та визначається за формулою:

$$t = 0,025 \cdot L, \text{ мм}$$

де  $L$  – значення відстані спостереження, м.

Після виконання центрування двигуна та закріплення на фундаменті у процесі здачі монтажу технічному контролю здійснюється замір раскепів кожного кривошипа колінчастого валу. При вимірюванні усі рамові шийки колінвалу двигуна повинні прилягати до вкладишів ромових підшипників. Раскеп колінчастого валу необхідно вимірювати у двох площинах:

- у вертикальній площині, тобто при положенні кривошипа колінчастого валу в верхній та нижній мертвих точках;
- у горизонтальній площині, тобто при положенні кривошипа колінчастого валу з боку лівого та правого бортів судна.

Пристрій для заміру раскепу необхідно встановлювати в місцях, які зазначено підприємством-постачальником двигуна. Різниця замірів у одному кривошипі колінчастого валу (раскеп) не повинна перевищувати величини, яку встановлено підприємством-постачальником двигуна.

|     |      |             |        |      |                       |      |
|-----|------|-------------|--------|------|-----------------------|------|
|     |      |             |        |      | ДП.142.6221м.07.05.ПЗ | Лист |
| Зм. | Лист | № документа | Підпис | Дата |                       |      |

твом-постачальником даного двигуна. Максимальна значення раскепов для даного двигуна складає 0,12 мм.

Перевірка площини рами виконується при наявності даних щодо її перевірки у формулярі двигуна. Метод перевірки та допустимі відхилення від прямолінійності встановлює підприємство-постачальник двигуна.

Після центрування двигуна потрібно перевірити положення поршня у втулці робочого циліндру. Це здійснюється за допомогою обладнання для дистанційного визначення радіальних зазорів між втулкою робочого циліндра та поршнем двигуна. Значення масляного зазору між крейцкопфом та напрямними не повинен перевищувати зазору між робочим циліндром й поршнем двигуна. При необхідності зазори встановлюються завдяки переміщенню напрямних крейцкопфа двигуна.

#### ***Основні вимоги до фіксування механізмів головного двигуна***

Головний двигун необхідно встановлювати на судні таким чином, щоб до вузлів кріплення було забезпечено вільний доступ з механізованим інструментом. На поверхні опор двигуна не повинно бути глухих отворів з різьбою для закручуванням болтів у напрямку знизу – нагору. У полках фундаментної рами або лапах обов'язково передбачено отвори з різьбою для встановлення віджимних болтів вертикального переміщення при центруванні двигуна. У судновому фундаменті не потрібно робити отвори з різьбою для закріплення й віджиму болтів. Конструкція підкладок повинна виключати їх підгін за місцем, а також обробку фундаменту.

#### ***Основні вимоги до кріплення механізмів головного двигуна***

Виконання свердлень отворів у фундаменті під болти необхідно робити після виконання центрування ГД.

Встановлення шпильок необхідно здійснювати у присутності технічного контролю. Після відповідної перевірки стрижень шпильки та стінки отвору необхідно змазати технічним жиром (ОСТ 1045–73) чи іншим маслом, що застосовується при захисті від виникнення корозії. Гайки шпильок після затягування повинні щільно прилягати до фундаменту та лап ГД. Для виконання цієї вимоги до-

|     |      |             |        |      |                       |      |
|-----|------|-------------|--------|------|-----------------------|------|
|     |      |             |        |      | ДП.142.6221м.07.05.ПЗ | Лист |
| Зм. | Лист | № документа | Підпис | Дата |                       |      |

пускається здійснення підрізування лап ГД та полиць фундаменту. Глибина підрізів під голівки болтів та гайки не повинна перевищувати значення у 10 % товщини лапи ГД або полки фундаменту. Шорсткість підрізаної площини не повинна бути більша ніж  $R_z = 80$  мкм за ОСТ 2789–73. Гострі краї отворів необхідно притупити.

Затяжка кріпильних шпильок здійснюється за допомогою гідравлічного домкрату за правилом затягування хрест-навхрест. Значення моменту затяжки кріпильних болтів зазначене у кресленні згідно з вимогами підприємства-постачальника двигуна.

Після затяжки пластина щупу товщиною у 0,05 мм не повинна проходити під гайкою. Щуп в глибину вузла з'єднання не повинен проходити більш ніж на 10 % від довжини підкладки.

Всі гайки шпильок кріплення повинні бути зафіксовані від відкручування за допомогою контр гайок, або іншими способами. У судових двигунах для забезпечення унеможливлення самовільного відкручування найчастіше використовують корончаті гайки.

Після виконання встановлення ГД на компенсуючі клини, роботи потрібно пред'явити технічному контролю.

#### 5.4. Розрахунок нерухомості змонтованого головного судового двигуна 6ДКРН 80/230

Після встановлення двигуна на судовий фундаменту необхідно перевірити нерухомість його від дії експлуатаційних навантажень.

Експлуатаційні навантаження при виникненні нестандартних ситуацій (наприклад, зіткнення судна)

$$P_1 = m \cdot k_g \cdot g = 705000 \cdot 2 \cdot 9,80 = 13818000 \text{ Н};$$

де  $m$  – маса двигуна 6ДКРН 80/230,  $m = 705000$  кг;  $g$  – прискорення сили тяжіння,  $g = 9,80 \text{ м/с}^2$ ;  $k_g$  – коефіцієнт перевантаження  $k_g = 2$ .

Експлуатаційні навантаження при крені судна на кут ( $\alpha$ ) до  $45^\circ$

$$P_2 = m \cdot \cos(45^\circ) \cdot g = 705000 \cdot 0,707 \cdot 9,80 = 4884663 \text{ Н}.$$

|     |      |             |        |      |                       |      |
|-----|------|-------------|--------|------|-----------------------|------|
|     |      |             |        |      | ДП.142.6221м.07.05.ПЗ | Лист |
| Зм. | Лист | № документа | Підпис | Дата |                       |      |

Експлуатаційні навантаження при хитанні судна з періодом  $T$  залежно від проекції відстані  $l$  між центром ваги двигуна та центром ваги судна на площу мідель-шпангоута (визначаються за формулою Шиманського)

$$P_3 = \frac{4 \cdot m}{T^2} \cdot (0,008 \cdot l + 1,75) \cdot g = \frac{4 \cdot 705000}{12^2} \cdot (0,008 \cdot 520 + 1,75) \cdot 9,80 = 1134227,5 \text{ Н};$$

де  $T$  – значення періоду бортової хитамиці,  $T = 12$  с;  $l$  – відстань між центром ваги двигуна та центром ваги судна на площу мідель-шпангоута,  $l = 520$  см.

Експлуатаційні навантаження при сприйнятті двигуном упорного тиску від гребного гвинта

$$P_4 = P_{\text{упору}} \cdot g, P_{\text{упору}} = T_B.$$

Упор гребного гвинта становить  $T_B = 664,63$  кН

$$P_4 = T_B = 664630 \text{ Н}.$$

Інші експлуатаційні навантаження незначні, тому їх допускається не враховувати. Сумарне експлуатаційне навантаження складає

$$P_{\text{сум}} = \sqrt{(P_1 + P_4)^2 + (P_2 + P_3)^2} = \sqrt{(13818000 + 664630)^2 + (4884663 + 1134228)^2} = 21331388 \text{ Н}$$

Значенню сумарного експлуатаційного навантаження повинна протидіяти сила тертя  $F_{\text{тр}}$ , яка виникає у стику двигун – клин – фундамент від значення тиску маси  $m$  та осьового зусилля затягування болтів  $V_{\text{зат}}$  яке становить

$$V_{\text{зат}} = 0,8 \cdot \sigma_{\text{тік}} \cdot (\pi \cdot d_{\text{вн}}^2) / 4 = 0,8 \cdot 280 \cdot (3,14 \cdot 125^2) / 4 = 2747500 \text{ Н},$$

де  $\sigma_{\text{тік}}$  – значення границі текучості матеріалу шпильки виготовленої зі сталі Ст 20, МПа;  $d_{\text{вн}}$  – внутрішній діаметр різьби шпильки,  $d_{\text{вн}} = 125$  мм.

Сила тертя  $F_{\text{тр}}$

$$F_{\text{тр}} = V_{\text{зат}} \cdot \mu \cdot z + m \cdot g \cdot \mu = 203271 \cdot 0,3 \cdot 64 + 705000 \cdot 9,80 \cdot 0,3 = 53555700 \text{ Н}$$

де  $\mu$  – коефіцієнт тертя у стику двигун – клин – фундамент,  $\mu = 0,3$ ;  $z$  – кількість болтів кріплення двигуна до фундаменту,  $z = 64$ .

Для компенсації припущень, які прийнято у розрахунках та забезпечення надійності нерухомості сила  $F_{\text{тр}}$  бути у два рази більше сумарного експлуатаційного навантаження, тобто умова нерухомості має вигляд

$$F_{\text{тр}} \geq 2P_{\text{сум}}.$$

|     |      |             |        |      |                       |      |
|-----|------|-------------|--------|------|-----------------------|------|
|     |      |             |        |      | ДП.142.6221м.07.05.ПЗ | Лист |
| Зм. | Лист | № документа | Підпис | Дата |                       |      |

Умова нерухомості головного двигуна виконується ( $53555700 > 42662776$ ).

Окрім перевірки виконання умови нерухомості головного двигуна також необхідно визначити значення питомого тиску  $[P]$  на клини та порівняти його з допустимим  $P_{\text{доп}}$ . Згідно з правилами Регістру допустиме питоме навантаження на клини від маси двигуна та затягування болтів повинно становити

$$[P] < 5P_{\text{доп}}; P_{\text{доп}} = \frac{\sigma_{\text{сж}}}{200} = \frac{90}{200} = 0,45 \text{ МПа},$$

де  $\sigma_{\text{сж}}$  – границя текучості пластмаси ЖМ-250 при стиску,  $\sigma_{\text{сж}} = 90 \text{ МПа}$ .

$$[P] = \frac{V_{\text{зат}}}{S} + \frac{m}{S \cdot n} = \frac{2747500}{1300000} + \frac{7050000}{1300000 \cdot 64} = 2,19 \text{ МПа},$$

де  $V_{\text{зат}}$  – значення осьового зусилля затягування болтів,  $V_{\text{зат}} = 2747500 \text{ Н}$ ;  $S$  – площа компенсуючої опорної поверхні ланки,  $S = 1300000 \text{ м}^2$ .

Умова допустимого питомого навантаження на клини від маси двигуна виконується ( $2,19 < 2,25$ ).

Визначення необхідної кількості компонентів пластмаси для виготовлення підкладок під опори. Загальна кількість пластмаси визначається за формулою

$$G = k \cdot S \cdot n \cdot h \cdot \gamma,$$

де  $k$  – коефіцієнт, який враховує вихід пластмаси через зазори та отвори,  $k = 1,03$ ;  $S$  – значення площі поверхні однієї підкладки,  $S = 0,1 \text{ м}^2$ ;  $n$  – кількість необхідних підкладок,  $n = 64$ ;  $h$  – значення висоти підкладок,  $h = 0,08 \text{ м}$ ;  $\gamma$  – густина пластмаси,  $\gamma = 2,34 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ .

$$G = 1,03 \cdot 0,1 \cdot 64 \cdot 0,08 \cdot 2,34 \cdot 1000 = 1234 \text{ кг}.$$

Приймаємо необхідну кількість компонентів пластмаси для виготовлення підкладок під опори –  $G = 1234 \text{ кг}$ . Результат розрахунку необхідної кількості компонентів пластмаси подано у таблиці 5.1.

**Таблиця 5.1 – Компоненти пластмаси для виготовлення підкладок під опори**

| Компоненти пластмаси | Епоксидна смола ЕД-5 | Затверджувач | Пластифікатор | Залізний порошок | Усього |
|----------------------|----------------------|--------------|---------------|------------------|--------|
| Вагова частка        | 10                   | 1,5          | 1,5           | 25               | 38     |
| Маса, кг             | 324,7                | 48,7         | 48,7          | 811,8            | 1234   |

|     |      |             |        |      |      |
|-----|------|-------------|--------|------|------|
|     |      |             |        |      | Лист |
|     |      |             |        |      |      |
| Зм. | Лист | № документа | Підпис | Дата |      |

ДП.142.6221м.07.05.ПЗ

### 5.5. Операційна карта монтажу суднового двигуна 6ДКРН 80/230

| № з.п.                                      | Зміст відповідної операції                                                                | Інструменти та пристрої                                     | Основні вимоги                                                                                                                           |
|---------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>000 Підготовка монтажних баз двигуна</b> |                                                                                           |                                                             |                                                                                                                                          |
| 1                                           | Встановити мішені, які матеріалізують відповідні положення плазових точок осі валопроводу | Шергень, мішені, шланговий рівень та сталева рулетка        | Мішені встановити з точністю не гірше $\pm 1$ мм від базових площин судна                                                                |
| 2                                           | Перевірити положення опорних поверхонь під фундаментну раму головного двигуна             | Струна з натяжним пристроєм та сталева рулетка              | —                                                                                                                                        |
| 3                                           | Зачистити фундамент від наявної іржі, окалин й інших сторонніх включень                   | Пневматична ручна шліфувальна машина зі шліфувальним кругом | Зачистка поверхонь до металевих блиску                                                                                                   |
| 4                                           | Візуально перевірити наявність рисок розмітки на фундаменті                               | —                                                           | Установочна риска повинна бути паралельна площині мідель-шпангоута                                                                       |
| 5                                           | Розконсервувати опорні поверхні головного двигуна                                         | Дрантя, гас                                                 | Опорна поверхня остову двигуна не повинна мати ушкоджень                                                                                 |
| 6                                           | Зняти упорний вал                                                                         | Набір гайкових ключів                                       | —                                                                                                                                        |
| 7                                           | Виконати з'єднання упорного валу та проміжного валопроводу                                | І.ч.т.                                                      | Фланці валів повинні бути розвернуті один до другого так, щоб місця з максимальним торцевим биттям розташовувалися через кут $180^\circ$ |
| 8                                           | Розгорнути фланці валів один відносно іншого на $180^\circ$                               | —                                                           | —                                                                                                                                        |
| 9                                           | Усунути торцеві биття                                                                     | Фіксуєча шайба                                              | —                                                                                                                                        |
| 10                                          | Стягти фланці валів тимчасовими болтами, виконати отвори обох фланців одночасно           | Набір гайкових ключів                                       | —                                                                                                                                        |
| 11                                          | Встановити упорний вал на двигун                                                          | Кран                                                        | —                                                                                                                                        |
| 12                                          | З'єднати упорний та колінчастий вали                                                      | Набір гайкових ключів                                       | —                                                                                                                                        |
| <b>005 Завантаження головного двигуна</b>   |                                                                                           |                                                             |                                                                                                                                          |
| 1                                           | Встановити дерев'яні підкладки під опори                                                  | —                                                           | —                                                                                                                                        |
| 2                                           | Встановити віджимні пристрої                                                              | Набір гайкових ключів                                       | —                                                                                                                                        |
| 3                                           | Зняти деталі та агрегати, які заважають завантаженню двигуна                              | Набір гайкових ключів                                       | —                                                                                                                                        |
| 4                                           | Розконсервувати опорні поверхні та вихідний фланець двигуна й перевірити їх стан.         | Дрантя, гас                                                 | Опорні поверхні повинні бути чистими та без механічних ушкоджень                                                                         |
| 5                                           | Завантажити головний двигун у МВ                                                          | Кран та набір гайкових ключів                               | Завантаження двигуна виконувати такелажникам під наглядом майстра монтажних робіт                                                        |
| 6                                           | Встановити деталі й агрегати, які було знято при завантаженні                             | Набір гайкових ключів                                       | —                                                                                                                                        |

| 010 Базування головного двигуна                  |                                                                                                     |                                                 |                                                                                                                    |
|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                                                | Підняти головний двигун та встановити відповідно до координат на кресленні                          | Гідродомкрат, віджимні пристосування            | —                                                                                                                  |
| 2                                                | Навантажити корпус судна зусиллям, яке імітують знаходження судна на воді                           | Спеціальні пристосування                        | —                                                                                                                  |
| 3                                                | Встановити кронштейн та прилад для центрування головного двигуна по теоретичній осі                 | Набір гайкових ключів                           | —                                                                                                                  |
| 4                                                | Установити допоміжні мішені таким чином, щоб їхні перехрещення збігалися з перехрещеннями приладу   | Набір гайкових ключів                           | Похибка не повинна перевищувати товщини лінії мішені                                                               |
| 5                                                | Відцентрувати прилад по осі обертання валу головного двигуна                                        | Прилад для центрування двигуна                  | —                                                                                                                  |
| 6                                                | Перевірити центрування головного двигуна по теоретичній осі                                         | Нівелір, штихмас                                | —                                                                                                                  |
| 7                                                | Перевірити відхилення від площини рами двигуна                                                      | Оптичний рівень                                 | Допускає відхилення встановлюються підприємством-постачальником                                                    |
| 8                                                | Перевірити раскеп кривошипів колінчастого валу та привести їх у відповідність з технічними вимогами | Розкепник                                       | Допуск [0,1...0,12 мм]                                                                                             |
| 015 Встановлення пластмасових компенсуючих ланок |                                                                                                     |                                                 |                                                                                                                    |
| 1                                                | Визначити необхідну товщину підкладок та виготовити розсувні форми                                  | Метр стальний                                   | Прес-форм на 2..3 мм менша товщини підкладок                                                                       |
| 2                                                | Визначити кількість необхідної пластмаси                                                            | —                                               | —                                                                                                                  |
| 3                                                | Виготовити пластмасу ЖМ-250                                                                         | Змішувач СЛ-10, ваги, мірна ємність, компоненти | Температура приміщення, для виготовлення пластмаса, не нижче + 10 °С                                               |
| 4                                                | Заповнити пластмасою пневматичний прес                                                              | Пневматичний прес                               | —                                                                                                                  |
| 5                                                | Запресувати пластмасу між опорними поверхнями головного двигуна та фундаменту                       | —                                               | —                                                                                                                  |
| 6                                                | Прогріти пластмасові підкладки                                                                      | Термоелектронагрівач, термометр та годинник     | Виконати подвійне нагрівання підкладок до температури $t = 50 \pm 5$ °С з подальшою витримкою протягом трьох годин |
| 020 Кріплення головного двигуна на фундамент     |                                                                                                     |                                                 |                                                                                                                    |
| 1                                                | Зняти віджимні пристрої                                                                             | Набір гайкових ключів                           | Відвернути болти через 24 год (за умови $t > 16$ °С) після встановлення на місце підкладок                         |

|                               |                                                                                                     |                                                        |                                                                        |
|-------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| 2                             | Через отвори у фундаментній рамі виконати свердлення отворів у судновому фундаменті та розточити їх | Свердильний верстат УСМ-50                             | —                                                                      |
| 3                             | Завести шпильки шайбами та гайками                                                                  | —                                                      | —                                                                      |
| 4                             | Встановити на місце подовжувальні втулки                                                            | —                                                      | —                                                                      |
| 5                             | Встановити круглі гайки                                                                             | —                                                      | —                                                                      |
| 6                             | Обжати шпильки                                                                                      | Гідродомкрат та щуп                                    | Щуп товщиною 0,05 мм не повинен проходити під гайку болта              |
| 7                             | Перевірити центрування деталей руху                                                                 | —                                                      | —                                                                      |
| 8                             | Перевірити зазор між поршнем двигуна та втулкою робочого циліндру                                   | Прилад для дистанційного визначення радіальних зазорів | —                                                                      |
| 9                             | Перевірити зазор між крейцкопфом та напрямними                                                      | Прилад для дистанційного визначення радіальних зазорів | —                                                                      |
| 10                            | Перевірити затягування анкерних зв'язків та при необхідності затягти на однакову величину           | Гідродомкрат                                           | —                                                                      |
| <b>025 Технічний контроль</b> |                                                                                                     |                                                        |                                                                        |
| 1                             | Перевірити правильність положення головного двигуна на судні                                        | —                                                      | —                                                                      |
| 2                             | Перевірити якість вузлів кріплення                                                                  | —                                                      | —                                                                      |
| 3                             | Перевірити відсутність деформацій головного двигуна                                                 | —                                                      | Значення реперних ординат та розкепів повинні бути у припустимих межах |
| 4                             | Здати монтаж ГД ОТК та представнику Регістра                                                        | —                                                      | —                                                                      |
| <b>030 Фарбування</b>         |                                                                                                     |                                                        |                                                                        |
| 1                             | Офарбити кріплення, компенсуючі ланки свинцевим суриком                                             | Мірні ємності для фарби та кисть                       | —                                                                      |

ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС  
монтажу двигуна 6ДКРН 80/230  
на судновий фундамент

Затверджую

Підпис

Митрофанов О.С.

Прізвище

Дата

Дипломник

Мелконян Л.Т.

Керівник

Митрофанов О.С.

|           |                 |     |    |       |                                                |                             |                       |             |                      |                    |   |    |    |      |    |    |       |       |       |
|-----------|-----------------|-----|----|-------|------------------------------------------------|-----------------------------|-----------------------|-------------|----------------------|--------------------|---|----|----|------|----|----|-------|-------|-------|
| Дубл.     |                 |     |    |       |                                                |                             |                       |             |                      |                    |   |    |    |      |    |    |       |       |       |
| Взам.     |                 |     |    |       |                                                |                             |                       |             |                      |                    |   |    |    |      |    |    |       |       |       |
| Подл.     |                 |     |    |       |                                                |                             |                       |             |                      |                    |   |    |    |      |    |    |       |       |       |
|           |                 |     |    |       |                                                |                             |                       |             |                      |                    |   |    |    |      |    |    |       |       |       |
| Розробив  | Мелконян Л.Т.   |     |    |       |                                                | НУК                         | ДП.142.6221м.07.05.ПЗ |             |                      |                    |   |    |    |      |    |    |       |       |       |
| Перевірів | Митрофанов О.С. |     |    |       |                                                |                             |                       |             |                      |                    |   |    |    |      |    |    |       |       |       |
|           |                 |     |    |       |                                                |                             |                       |             |                      |                    |   |    |    |      |    |    |       |       |       |
| Нормував  |                 |     |    |       |                                                | Монтаж двигуна 6ДКРН 80/230 |                       |             |                      |                    |   |    |    |      |    |    |       |       |       |
| Н. Контр. |                 |     |    |       |                                                |                             |                       |             |                      |                    |   |    |    |      |    |    |       |       |       |
| МО-1      |                 |     |    |       |                                                |                             |                       |             |                      |                    |   |    |    |      |    |    |       |       |       |
| МО-2      | Код             |     | ЕВ | МД    | ЕН                                             | Н. Расх.                    | КИМ                   | Код. загот. |                      | Профіль та розміри |   | КД | МЗ |      |    |    |       |       |       |
|           |                 |     |    |       |                                                |                             |                       |             |                      |                    |   |    |    |      |    |    |       |       |       |
| А         | Цех             | Уч. | РМ | Опер. | Код, назва операцій                            |                             |                       |             | Позначення документа |                    |   |    |    |      |    |    |       |       |       |
| Б         |                 |     |    |       |                                                |                             |                       |             | СМ                   | Проф.              | Р | УТ | КР | КОИД | ЕН | ОП | К шт. | Т пз. | Т шт. |
|           |                 |     |    |       | Вимоги безпеки по ОСТ 5.0241-78. ОСТ 5.4110-87 |                             |                       |             |                      |                    |   |    |    |      |    |    |       |       |       |
|           |                 |     |    | 000   | Підготовка монтажних баз                       |                             |                       |             |                      |                    |   |    |    |      |    |    |       |       |       |
|           |                 |     |    |       | Пневматична шліфувальна машина                 |                             |                       |             |                      |                    |   |    |    |      |    |    |       |       |       |
|           |                 |     |    |       | ШМ 25-50.                                      |                             |                       |             |                      |                    |   |    |    |      |    |    |       |       |       |
|           |                 |     |    |       | Шергені, мішені, струна,                       |                             |                       |             |                      |                    |   |    |    |      |    |    |       |       |       |
|           |                 |     |    |       | шланговий рівень, рулетка                      |                             |                       |             |                      |                    |   |    |    |      |    |    |       |       |       |
|           |                 |     |    |       | Вертикально-фрезерний верстат                  |                             |                       |             |                      |                    |   |    |    |      |    |    |       |       |       |
|           |                 |     |    |       | Зварювальний апарат, струбцини,                |                             |                       |             |                      |                    |   |    |    |      |    |    |       |       |       |
|           |                 |     |    |       | перевірочна лінійка, комплект щупів            |                             |                       |             |                      |                    |   |    |    |      |    |    |       |       |       |
|           |                 |     |    |       |                                                |                             |                       |             |                      |                    |   |    |    |      |    |    |       |       |       |
|           |                 |     |    |       |                                                |                             |                       |             |                      |                    |   |    |    |      |    |    |       |       |       |
|           |                 |     |    |       |                                                |                             |                       |             |                      |                    |   |    |    |      |    |    |       |       |       |
| МК        |                 |     |    |       |                                                |                             |                       |             |                      |                    |   |    |    |      |    |    |       |       |       |

|           |                 |     |    |       |                                    |          |                       |                      |       |                    |    |    |      |    |    |       |       |       |
|-----------|-----------------|-----|----|-------|------------------------------------|----------|-----------------------|----------------------|-------|--------------------|----|----|------|----|----|-------|-------|-------|
| Дубл.     |                 |     |    |       |                                    |          |                       |                      |       |                    |    |    |      |    |    |       |       |       |
| Взам.     |                 |     |    |       |                                    |          |                       |                      |       |                    |    |    |      |    |    |       |       |       |
| Подл.     |                 |     |    |       |                                    |          |                       |                      |       |                    |    |    |      |    |    |       |       |       |
|           |                 |     |    |       |                                    |          |                       |                      |       |                    |    |    |      |    |    |       |       |       |
| Розробив  | Мелконян Л.Т.   |     |    |       |                                    | НУК      | ДП.142.6221м.07.05.ПЗ |                      |       |                    |    |    |      |    |    |       |       |       |
| Перевірів | Митрофанов О.С. |     |    |       |                                    |          |                       |                      |       |                    |    |    |      |    |    |       |       |       |
|           |                 |     |    |       |                                    |          |                       |                      |       |                    |    |    |      |    |    |       |       |       |
| Нормував  |                 |     |    |       | Монтаж двигуна 6ДКРН 80/230        |          |                       |                      |       |                    |    |    |      |    |    |       |       |       |
| Н. Контр. |                 |     |    |       |                                    |          |                       |                      |       |                    |    |    |      |    |    |       |       |       |
| МО-1      |                 |     |    |       |                                    |          |                       |                      |       |                    |    |    |      |    |    |       |       |       |
| МО-2      | Код             |     | ЕВ | МД    | ЕН                                 | Н. Расх. | КИМ                   | Код. загот.          |       | Профіль та розміри |    | КД | МЗ   |    |    |       |       |       |
|           |                 |     |    |       |                                    |          |                       |                      |       |                    |    |    |      |    |    |       |       |       |
| А         | Цех             | Уч. | РМ | Опер. | Код, назва операцій                |          |                       | Позначення документа |       |                    |    |    |      |    |    |       |       |       |
| Б         |                 |     |    |       |                                    |          |                       | СМ                   | Проф. | Р                  | УТ | КР | КОИД | ЕН | ОП | К шт. | Т пз. | Т шт. |
|           |                 |     |    | 005   | Вантаження двигуна                 |          |                       |                      |       |                    |    |    |      |    |    |       |       |       |
|           |                 |     |    |       | Бруси дерев'яні, технологічні      |          |                       |                      |       |                    |    |    |      |    |    |       |       |       |
|           |                 |     |    |       | заглушки.                          |          |                       |                      |       |                    |    |    |      |    |    |       |       |       |
|           |                 |     |    |       | Вантажне пристосування, кран,      |          |                       |                      |       |                    |    |    |      |    |    |       |       |       |
|           |                 |     |    |       | стропи, мірна рейка                |          |                       |                      |       |                    |    |    |      |    |    |       |       |       |
|           |                 |     |    |       |                                    |          |                       |                      |       |                    |    |    |      |    |    |       |       |       |
|           |                 |     |    | 010   | Базування ГД                       |          |                       |                      |       |                    |    |    |      |    |    |       |       |       |
|           |                 |     |    |       | Гідропакет, віджимні пристосування |          |                       |                      |       |                    |    |    |      |    |    |       |       |       |
|           |                 |     |    |       | Гайкові ключі                      |          |                       |                      |       |                    |    |    |      |    |    |       |       |       |
|           |                 |     |    |       | Прилад для центрування             |          |                       |                      |       |                    |    |    |      |    |    |       |       |       |
|           |                 |     |    |       | Нівелір, штихмасс. Оптичний рівень |          |                       |                      |       |                    |    |    |      |    |    |       |       |       |
|           |                 |     |    |       | Розкепник                          |          |                       |                      |       |                    |    |    |      |    |    |       |       |       |
| МК        |                 |     |    |       |                                    |          |                       |                      |       |                    |    |    |      |    |    |       |       |       |

|           |                 |     |    |       |                                   |                             |                       |                      |       |                    |    |    |      |    |    |       |       |       |
|-----------|-----------------|-----|----|-------|-----------------------------------|-----------------------------|-----------------------|----------------------|-------|--------------------|----|----|------|----|----|-------|-------|-------|
| Дубл.     |                 |     |    |       |                                   |                             |                       |                      |       |                    |    |    |      |    |    |       |       |       |
| Взам.     |                 |     |    |       |                                   |                             |                       |                      |       |                    |    |    |      |    |    |       |       |       |
| Подл.     |                 |     |    |       |                                   |                             |                       |                      |       |                    |    |    |      |    |    |       |       |       |
|           |                 |     |    |       |                                   |                             |                       |                      |       |                    |    |    |      |    |    |       |       |       |
| Розробив  | Мелконян Л.Т.   |     |    |       |                                   | НУК                         | ДП.142.6221м.07.05.ПЗ |                      |       |                    |    |    |      |    |    |       |       |       |
| Перевірів | Митрофанов О.С. |     |    |       |                                   |                             |                       |                      |       |                    |    |    |      |    |    |       |       |       |
|           |                 |     |    |       |                                   |                             |                       |                      |       |                    |    |    |      |    |    |       |       |       |
| Нормував  |                 |     |    |       |                                   | Монтаж двигуна 6ДКРН 80/230 |                       |                      |       |                    |    |    |      |    |    |       |       |       |
| Н. Контр. |                 |     |    |       |                                   |                             |                       |                      |       |                    |    |    |      |    |    |       |       |       |
| МО-1      |                 |     |    |       |                                   |                             |                       |                      |       |                    |    |    |      |    |    |       |       |       |
| МО-2      | Код             |     | ЕВ | МД    | ЕН                                | Н. Расх.                    | КИМ                   | Код. загот.          |       | Профіль та розміри |    | КД | МЗ   |    |    |       |       |       |
|           |                 |     |    |       |                                   |                             |                       |                      |       |                    |    |    |      |    |    |       |       |       |
| А         | Цех             | Уч. | РМ | Опер. | Код, назва операцій               |                             |                       | Позначення документа |       |                    |    |    |      |    |    |       |       |       |
| Б         |                 |     |    |       |                                   |                             |                       | СМ                   | Проф. | Р                  | УТ | КР | КОИД | ЕН | ОП | К шт. | Т пз. | Т шт. |
|           |                 |     |    | 015   | Установка пластмасових            |                             |                       |                      |       |                    |    |    |      |    |    |       |       |       |
|           |                 |     |    |       | компенсуючих ланок                |                             |                       |                      |       |                    |    |    |      |    |    |       |       |       |
|           |                 |     |    |       | Метр стальний. Змішувач СЛ-10,    |                             |                       |                      |       |                    |    |    |      |    |    |       |       |       |
|           |                 |     |    |       | ваги, мірний стакан, компоненти   |                             |                       |                      |       |                    |    |    |      |    |    |       |       |       |
|           |                 |     |    |       | Пневматичний прес.                |                             |                       |                      |       |                    |    |    |      |    |    |       |       |       |
|           |                 |     |    |       | Термоелектронагрівач, термометр,  |                             |                       |                      |       |                    |    |    |      |    |    |       |       |       |
|           |                 |     |    |       | годинник                          |                             |                       |                      |       |                    |    |    |      |    |    |       |       |       |
|           |                 |     |    | 020   | Кріплення двигуна на фундаменті   |                             |                       |                      |       |                    |    |    |      |    |    |       |       |       |
|           |                 |     |    |       | Гайкові ключі. Свердлильна машина |                             |                       |                      |       |                    |    |    |      |    |    |       |       |       |
|           |                 |     |    |       | УСМ-50. Гідродомкрат, щуп.        |                             |                       |                      |       |                    |    |    |      |    |    |       |       |       |
|           |                 |     |    |       | Пристосування для дистанційного   |                             |                       |                      |       |                    |    |    |      |    |    |       |       |       |
|           |                 |     |    |       | визначення радіальних зазорів.    |                             |                       |                      |       |                    |    |    |      |    |    |       |       |       |
| МК        |                 |     |    |       |                                   |                             |                       |                      |       |                    |    |    |      |    |    |       |       |       |

|           |                 |     |    |       |                             |          |                       |                      |       |                    |    |    |      |    |    |       |       |       |  |
|-----------|-----------------|-----|----|-------|-----------------------------|----------|-----------------------|----------------------|-------|--------------------|----|----|------|----|----|-------|-------|-------|--|
| Дубл.     |                 |     |    |       |                             |          |                       |                      |       |                    |    |    |      |    |    |       |       |       |  |
| Взам.     |                 |     |    |       |                             |          |                       |                      |       |                    |    |    |      |    |    |       |       |       |  |
| Подл.     |                 |     |    |       |                             |          |                       |                      |       |                    |    |    |      |    |    |       |       |       |  |
|           |                 |     |    |       |                             |          |                       |                      |       |                    |    |    |      |    |    |       |       |       |  |
| Розробив  | Мелконян Л.Т.   |     |    |       |                             | НУК      | ДП.142.6221м.07.05.ПЗ |                      |       |                    |    |    |      |    |    |       |       |       |  |
| Перевірів | Митрофанов О.С. |     |    |       |                             |          |                       |                      |       |                    |    |    |      |    |    |       |       |       |  |
|           |                 |     |    |       |                             |          |                       |                      |       |                    |    |    |      |    |    |       |       |       |  |
| Нормував  |                 |     |    |       | Монтаж двигуна 6ДКРН 80/230 |          |                       |                      |       |                    |    |    |      |    |    |       |       |       |  |
| Н. Контр. |                 |     |    |       |                             |          |                       |                      |       |                    |    |    |      |    |    |       |       |       |  |
| МО-1      |                 |     |    |       |                             |          |                       |                      |       |                    |    |    |      |    |    |       |       |       |  |
| МО-2      | Код             |     | ЕВ | МД    | ЕН                          | Н. Расх. | КИМ                   | Код. загот.          |       | Профіль та розміри |    | КД | МЗ   |    |    |       |       |       |  |
|           |                 |     |    |       |                             |          |                       |                      |       |                    |    |    |      |    |    |       |       |       |  |
| А         | Цех             | Уч. | РМ | Опер. | Код, назва операцій         |          |                       | Позначення документа |       |                    |    |    |      |    |    |       |       |       |  |
| Б         |                 |     |    |       |                             |          |                       | СМ                   | Проф. | Р                  | УТ | КР | КОИД | ЕН | ОП | К шт. | Т пз. | Т шт. |  |
|           |                 |     |    | 025   | Технічний контроль          |          |                       |                      |       |                    |    |    |      |    |    |       |       |       |  |
|           |                 |     |    |       |                             |          |                       |                      |       |                    |    |    |      |    |    |       |       |       |  |
|           |                 |     |    | 030   | Фарбування                  |          |                       |                      |       |                    |    |    |      |    |    |       |       |       |  |
|           |                 |     |    |       | Мірні ємності, кисть        |          |                       |                      |       |                    |    |    |      |    |    |       |       |       |  |
|           |                 |     |    |       |                             |          |                       |                      |       |                    |    |    |      |    |    |       |       |       |  |
|           |                 |     |    |       |                             |          |                       |                      |       |                    |    |    |      |    |    |       |       |       |  |
|           |                 |     |    |       |                             |          |                       |                      |       |                    |    |    |      |    |    |       |       |       |  |
|           |                 |     |    |       |                             |          |                       |                      |       |                    |    |    |      |    |    |       |       |       |  |
|           |                 |     |    |       |                             |          |                       |                      |       |                    |    |    |      |    |    |       |       |       |  |
|           |                 |     |    |       |                             |          |                       |                      |       |                    |    |    |      |    |    |       |       |       |  |
|           |                 |     |    |       |                             |          |                       |                      |       |                    |    |    |      |    |    |       |       |       |  |
|           |                 |     |    |       |                             |          |                       |                      |       |                    |    |    |      |    |    |       |       |       |  |

|    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| МК |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|

|                              |                 |                                                   |  |                             |                       |           |    |       |     |                   |    |   |      |      |
|------------------------------|-----------------|---------------------------------------------------|--|-----------------------------|-----------------------|-----------|----|-------|-----|-------------------|----|---|------|------|
| Дудл.                        |                 |                                                   |  |                             |                       |           |    |       |     |                   |    |   |      |      |
| Взам.                        |                 |                                                   |  |                             |                       |           |    |       |     |                   |    |   |      |      |
| Подл.                        |                 |                                                   |  |                             |                       |           |    |       |     |                   |    |   |      |      |
|                              |                 |                                                   |  |                             |                       |           |    |       |     |                   |    |   |      |      |
| Розробив                     | Мелконян Л.Т.   |                                                   |  | НУК                         | ДП.142.6221м.07.05.ПЗ |           |    |       |     |                   |    |   |      |      |
| Перевірів                    | Митрофанов О.С. |                                                   |  |                             |                       |           |    |       |     |                   |    |   |      |      |
|                              |                 |                                                   |  |                             |                       |           |    |       |     |                   |    |   |      |      |
| Нормував                     |                 |                                                   |  | Монтаж двигуна 6ДКРН 80/230 |                       |           |    |       |     |                   |    |   |      |      |
| Н. Контр.                    |                 |                                                   |  |                             |                       |           |    |       |     |                   |    |   |      |      |
| Найменування операції        |                 |                                                   |  | Матеріал                    |                       | Твердість |    | ЕВ    | МД  | Профіль і розміри |    |   | МЗ   | КОИД |
| 000 Підготовка монтажних баз |                 |                                                   |  |                             |                       |           |    | К2    |     |                   |    |   |      | 1    |
| Обладнання                   |                 |                                                   |  | Позначення, програми        |                       | Тс        | Тв | Тп.з. | Тшт | СОЖ               |    |   |      |      |
|                              |                 |                                                   |  |                             |                       |           |    |       |     |                   |    |   |      |      |
| Р                            |                 |                                                   |  |                             | ПИ                    | D або B   |    | L     |     | t                 | Li | S | To/n | Tθ/v |
| 1                            | 0               | 1. Встановити мішені, що матеріалізують положення |  |                             |                       |           |    |       |     |                   |    |   |      |      |
| 2                            |                 | плазових точок осі валопроводу                    |  |                             |                       |           |    |       |     |                   |    |   |      |      |
| 3                            | T               | Шергень, мішені, шланговий рівень, рулетка        |  |                             |                       |           |    |       |     |                   |    |   |      |      |
| 4                            |                 |                                                   |  |                             |                       |           |    |       |     |                   |    |   |      |      |
| 5                            |                 |                                                   |  |                             |                       |           |    |       |     |                   |    |   |      |      |
| 6                            | 0               | 2. Перевірити положення опорних поверхонь під     |  |                             |                       |           |    |       |     |                   |    |   |      |      |
| 7                            |                 | фундаментну раму дизеля                           |  |                             |                       |           |    |       |     |                   |    |   |      |      |
| 8                            | T               | Струна з натяжним пристроєм, сталева рулетка      |  |                             |                       |           |    |       |     |                   |    |   |      |      |
| 9                            |                 |                                                   |  |                             |                       |           |    |       |     |                   |    |   |      |      |
| 10                           |                 |                                                   |  |                             |                       |           |    |       |     |                   |    |   |      |      |
| 11                           | 0               | 3. Зачистити фундамент від іржі, окалин та інших  |  |                             |                       |           |    |       |     |                   |    |   |      |      |
| 12                           |                 | включень                                          |  |                             |                       |           |    |       |     |                   |    |   |      |      |
| OK                           |                 |                                                   |  |                             |                       |           |    |       |     |                   |    |   |      |      |

|                              |                 |                                                      |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |  |
|------------------------------|-----------------|------------------------------------------------------|--|----------------------|-----------------------------|-----------------------|-----------|----|----|-------|----|-------------------|------|------|----|------|--|
| Дудл.                        |                 |                                                      |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |  |
| Взам.                        |                 |                                                      |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |  |
| Подл.                        |                 |                                                      |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |  |
|                              |                 |                                                      |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |  |
| Розробив                     | Мелконян Л.Т.   |                                                      |  |                      | НУК                         | ДП.142.6221м.07.05.ПЗ |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |  |
| Перевірів                    | Митрофанов О.С. |                                                      |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |  |
|                              |                 |                                                      |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |  |
| Нормував                     |                 |                                                      |  |                      | Монтаж двигуна 6ДКРН 80/230 |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |  |
| Н. Контр.                    |                 |                                                      |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |  |
| Найменування операції        |                 |                                                      |  | Матеріал             |                             |                       | Твердість |    | ЕВ | МД    |    | Профіль і розміри |      |      | МЗ | КОИД |  |
| 000 Підготовка монтажних баз |                 |                                                      |  |                      |                             |                       |           |    | К2 |       |    |                   |      |      |    | 1    |  |
| Обладнання                   |                 |                                                      |  | Позначення, програми |                             |                       | Тс        | Тв |    | Тп.з. |    | Тшт               | СОЖ  |      |    |      |  |
|                              |                 |                                                      |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |  |
| Р                            |                 |                                                      |  |                      | ПИ                          | D або B               |           | L  |    | t     | Li | S                 | То/п | Тв/в |    |      |  |
| 1                            | Т               | Пневматична машина зі шліфувальним кругом            |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |  |
| 2                            |                 |                                                      |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |  |
| 3                            |                 |                                                      |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |  |
| 4                            |                 |                                                      |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |  |
| 5                            |                 |                                                      |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |  |
| 6                            | О               | 4. Візуально перевірити наявність розмічальних рисок |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |  |
| 7                            |                 | на фундаменті                                        |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |  |
| 8                            | О               | 5. Розконсервувати опорну поверхню двигуна           |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |  |
| 9                            | Т               | Дрантя, гас                                          |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |  |
| 10                           |                 |                                                      |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |  |
| 11                           | О               | 6. Зняти упорний вал                                 |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |  |
| 12                           | Т               | Гайкові ключі                                        |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |  |
| OK                           |                 |                                                      |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |  |

|                              |                 |                                                   |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |
|------------------------------|-----------------|---------------------------------------------------|--|----------------------|-----------------------------|-----------------------|-----------|----|----|-------|----|-------------------|------|------|----|------|
| Дудл.                        |                 |                                                   |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |
| Взам.                        |                 |                                                   |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |
| Подл.                        |                 |                                                   |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |
|                              |                 |                                                   |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |
| Розробив                     | Мелконян Л.Т.   |                                                   |  |                      | НУК                         | ДП.142.6221м.07.05.ПЗ |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |
| Перевірів                    | Митрофанов О.С. |                                                   |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |
|                              |                 |                                                   |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |
| Нормував                     |                 |                                                   |  |                      | Монтаж двигуна 6ДКРН 80/230 |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |
| Н. Контр.                    |                 |                                                   |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |
| Найменування операції        |                 |                                                   |  | Матеріал             |                             |                       | Твердість |    | ЕВ | МД    |    | Профіль і розміри |      |      | МЗ | КОИД |
| 000 Підготовка монтажних баз |                 |                                                   |  |                      |                             |                       |           |    | К2 |       |    |                   |      |      |    | 1    |
| Обладнання                   |                 |                                                   |  | Позначення, програми |                             |                       | Тс        | Тв |    | Тп.з. |    | Тшт               | СОЖ  |      |    |      |
|                              |                 |                                                   |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |
| Р                            |                 |                                                   |  |                      | ПИ                          | D або B               |           | L  |    | t     | Li | S                 | То/п | Тв/в |    |      |
| 1                            | 0               | 7. Виконати стикування упорного вала і проміжного |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |
| 2                            |                 | валу валопровода                                  |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |
| 3                            |                 |                                                   |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |
| 4                            | 0               | 8. Розгорнути фланці відносно один одного на 180° |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |
| 5                            |                 |                                                   |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |
| 6                            | 0               | 9. Усунути торцовий дії                           |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |
| 7                            | Т               | Фіксуюча шайба                                    |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |
| 8                            |                 |                                                   |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |
| 9                            | 0               | 10. Стягти фланці тимчасовими болтами, обробити   |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |
| 10                           |                 | отвори обох фланців                               |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |
| 11                           | Т               | Гайкові ключі                                     |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |
| 12                           |                 |                                                   |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |

|                              |                 |                                     |  |                      |                             |                       |           |    |       |    |     |                   |      |      |    |      |
|------------------------------|-----------------|-------------------------------------|--|----------------------|-----------------------------|-----------------------|-----------|----|-------|----|-----|-------------------|------|------|----|------|
| Дубл.                        |                 |                                     |  |                      |                             |                       |           |    |       |    |     |                   |      |      |    |      |
| Взам.                        |                 |                                     |  |                      |                             |                       |           |    |       |    |     |                   |      |      |    |      |
| Подл.                        |                 |                                     |  |                      |                             |                       |           |    |       |    |     |                   |      |      |    |      |
|                              |                 |                                     |  |                      |                             |                       |           |    |       |    |     |                   |      |      |    |      |
| Розробив                     | Мелконян Л.Т.   |                                     |  |                      | НУК                         | ДП.142.6221м.07.05.ПЗ |           |    |       |    |     |                   |      |      |    |      |
| Перевірів                    | Митрофанов О.С. |                                     |  |                      |                             |                       |           |    |       |    |     |                   |      |      |    |      |
|                              |                 |                                     |  |                      |                             |                       |           |    |       |    |     |                   |      |      |    |      |
| Нормував                     |                 |                                     |  |                      | Монтаж двигуна 6ДКРН 80/230 |                       |           |    |       |    |     |                   |      |      |    |      |
| Н. Контр.                    |                 |                                     |  |                      |                             |                       |           |    |       |    |     |                   |      |      |    |      |
| Найменування операції        |                 |                                     |  | Матеріал             |                             |                       | Твердість |    | ЕВ    | МД |     | Профіль і розміри |      |      | МЗ | КОИД |
| 000 Підготовка монтажних баз |                 |                                     |  |                      |                             |                       |           |    | К2    |    |     |                   |      |      |    | 1    |
| Обладнання                   |                 |                                     |  | Позначення, програми |                             |                       | Тс        | Тв | Тп.з. |    | Тшт | СОЖ               |      |      |    |      |
|                              |                 |                                     |  |                      |                             |                       |           |    |       |    |     |                   |      |      |    |      |
| Р                            |                 |                                     |  |                      | ПИ                          | D або B               |           | L  |       | t  | Li  | S                 | To/n | Tθ/v |    |      |
| 1                            | 0               | 11. Погрузити упорний вал на двигун |  |                      |                             |                       |           |    |       |    |     |                   |      |      |    |      |
| 2                            | T               | Кран                                |  |                      |                             |                       |           |    |       |    |     |                   |      |      |    |      |
| 3                            |                 |                                     |  |                      |                             |                       |           |    |       |    |     |                   |      |      |    |      |
| 4                            | 0               | З'єднати упорний і коленчастий вал  |  |                      |                             |                       |           |    |       |    |     |                   |      |      |    |      |
| 5                            | T               | Ключі                               |  |                      |                             |                       |           |    |       |    |     |                   |      |      |    |      |
| 6                            |                 |                                     |  |                      |                             |                       |           |    |       |    |     |                   |      |      |    |      |
| 7                            |                 |                                     |  |                      |                             |                       |           |    |       |    |     |                   |      |      |    |      |
| 8                            |                 |                                     |  |                      |                             |                       |           |    |       |    |     |                   |      |      |    |      |
| 9                            |                 |                                     |  |                      |                             |                       |           |    |       |    |     |                   |      |      |    |      |
| 10                           |                 |                                     |  |                      |                             |                       |           |    |       |    |     |                   |      |      |    |      |
| 11                           |                 |                                     |  |                      |                             |                       |           |    |       |    |     |                   |      |      |    |      |
| 12                           |                 |                                     |  |                      |                             |                       |           |    |       |    |     |                   |      |      |    |      |

|                        |                 |                                                       |  |                             |                       |    |  |           |  |    |  |       |  |                   |  |     |  |      |  |      |  |
|------------------------|-----------------|-------------------------------------------------------|--|-----------------------------|-----------------------|----|--|-----------|--|----|--|-------|--|-------------------|--|-----|--|------|--|------|--|
| Дудл.                  |                 |                                                       |  |                             |                       |    |  |           |  |    |  |       |  |                   |  |     |  |      |  |      |  |
| Взам.                  |                 |                                                       |  |                             |                       |    |  |           |  |    |  |       |  |                   |  |     |  |      |  |      |  |
| Подл.                  |                 |                                                       |  |                             |                       |    |  |           |  |    |  |       |  |                   |  |     |  |      |  |      |  |
|                        |                 |                                                       |  |                             |                       |    |  |           |  |    |  |       |  |                   |  |     |  |      |  |      |  |
| Розробив               | Мелконян Л.Т.   |                                                       |  | НУК                         | ДП.142.6221м.07.05.ПЗ |    |  |           |  |    |  |       |  |                   |  |     |  |      |  |      |  |
| Перевірів              | Митрофанов О.С. |                                                       |  |                             |                       |    |  |           |  |    |  |       |  |                   |  |     |  |      |  |      |  |
|                        |                 |                                                       |  |                             |                       |    |  |           |  |    |  |       |  |                   |  |     |  |      |  |      |  |
| Нормував               |                 |                                                       |  | Монтаж двигуна 6ДКРН 80/230 |                       |    |  |           |  |    |  |       |  |                   |  |     |  |      |  |      |  |
| Н. Контр.              |                 |                                                       |  |                             |                       |    |  |           |  |    |  |       |  |                   |  |     |  |      |  |      |  |
| Найменування операції  |                 |                                                       |  | Матеріал                    |                       |    |  | Твердість |  | ЕВ |  | МД    |  | Профіль і розміри |  |     |  | МЗ   |  | КОИД |  |
| 005 Вантаження двигуна |                 |                                                       |  |                             |                       |    |  |           |  | К2 |  |       |  |                   |  |     |  |      |  | 1    |  |
| Обладнання             |                 |                                                       |  | Позначення, програми        |                       |    |  | Тс        |  | Тв |  | Тп.з. |  | Тшт               |  | СОЖ |  |      |  |      |  |
|                        |                 |                                                       |  |                             |                       |    |  |           |  |    |  |       |  |                   |  |     |  |      |  |      |  |
| Р                      |                 |                                                       |  |                             |                       | ПИ |  | D або B   |  | L  |  | t     |  | Li                |  | S   |  | То/п |  | Тв/v |  |
| 1 О                    |                 | 1. Встановити дерев'яні підкладки                     |  |                             |                       |    |  |           |  |    |  |       |  |                   |  |     |  |      |  |      |  |
| 2                      |                 |                                                       |  |                             |                       |    |  |           |  |    |  |       |  |                   |  |     |  |      |  |      |  |
| 3 О                    |                 | 2.Встановити віджимні пристосування                   |  |                             |                       |    |  |           |  |    |  |       |  |                   |  |     |  |      |  |      |  |
| 4 Т                    |                 | Ключі                                                 |  |                             |                       |    |  |           |  |    |  |       |  |                   |  |     |  |      |  |      |  |
| 5                      |                 |                                                       |  |                             |                       |    |  |           |  |    |  |       |  |                   |  |     |  |      |  |      |  |
| 6 О                    |                 | 3. Зняти деталі й арматуру, що заважають              |  |                             |                       |    |  |           |  |    |  |       |  |                   |  |     |  |      |  |      |  |
| 7                      |                 | навантаженню                                          |  |                             |                       |    |  |           |  |    |  |       |  |                   |  |     |  |      |  |      |  |
| 8 Т                    |                 | Гайкові ключі                                         |  |                             |                       |    |  |           |  |    |  |       |  |                   |  |     |  |      |  |      |  |
| 9                      |                 |                                                       |  |                             |                       |    |  |           |  |    |  |       |  |                   |  |     |  |      |  |      |  |
| 10 О                   |                 | 4. Розконсервувати опорні поверхні і вихідний фланець |  |                             |                       |    |  |           |  |    |  |       |  |                   |  |     |  |      |  |      |  |
| 11                     |                 | двигуна. Перевірити їхній стан.                       |  |                             |                       |    |  |           |  |    |  |       |  |                   |  |     |  |      |  |      |  |
| 12 Т                   |                 | Дрантя, гас                                           |  |                             |                       |    |  |           |  |    |  |       |  |                   |  |     |  |      |  |      |  |
| OK                     |                 |                                                       |  |                             |                       |    |  |           |  |    |  |       |  |                   |  |     |  |      |  |      |  |

|                        |                 |                                           |  |                             |                       |         |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |  |
|------------------------|-----------------|-------------------------------------------|--|-----------------------------|-----------------------|---------|-----------|----|----|-------|----|-------------------|------|------|----|------|--|
| Дубл.                  |                 |                                           |  |                             |                       |         |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |  |
| Взам.                  |                 |                                           |  |                             |                       |         |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |  |
| Подл.                  |                 |                                           |  |                             |                       |         |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |  |
|                        |                 |                                           |  |                             |                       |         |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |  |
| Розробив               | Мелконян Л.Т.   |                                           |  | НУК                         | ДП.142.6221м.07.05.ПЗ |         |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |  |
| Перевірів              | Митрофанов О.С. |                                           |  |                             |                       |         |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |  |
|                        |                 |                                           |  |                             |                       |         |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |  |
| Нормував               |                 |                                           |  | Монтаж двигуна 6ДКРН 80/230 |                       |         |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |  |
| Н. Контр.              |                 |                                           |  |                             |                       |         |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |  |
| Найменування операції  |                 |                                           |  | Матеріал                    |                       |         | Твердість |    | ЕВ | МД    |    | Профіль і розміри |      |      | МЗ | КОИД |  |
| 005 Вантаження двигуна |                 |                                           |  |                             |                       |         |           |    | К2 |       |    |                   |      |      |    | 1    |  |
| Обладнання             |                 |                                           |  | Позначення, програми        |                       |         | Тс        | Тв |    | Тп.з. |    | Тшт               | СОЖ  |      |    |      |  |
|                        |                 |                                           |  |                             |                       |         |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |  |
| Р                      |                 |                                           |  |                             | ПИ                    | D або B |           | L  |    | t     | Li | S                 | То/п | Тв/в |    |      |  |
| 1                      | О               | 5. Погрузити двигун                       |  |                             |                       |         |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |  |
| 2                      | Т               | Кран, гайкові ключі                       |  |                             |                       |         |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |  |
| 3                      |                 |                                           |  |                             |                       |         |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |  |
| 4                      | О               | 6.Встановити деталі й арматуру, зняті при |  |                             |                       |         |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |  |
| 5                      | навантаженні    |                                           |  |                             |                       |         |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |  |
| 6                      | Т               | Гайкові ключі                             |  |                             |                       |         |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |  |
|                        |                 |                                           |  |                             |                       |         |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |  |
|                        |                 |                                           |  |                             |                       |         |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |  |
|                        |                 |                                           |  |                             |                       |         |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |  |
|                        |                 |                                           |  |                             |                       |         |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |  |
|                        |                 |                                           |  |                             |                       |         |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |  |
|                        |                 |                                           |  |                             |                       |         |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |  |

|                       |                 |                                                  |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |  |      |      |
|-----------------------|-----------------|--------------------------------------------------|--|----------------------|-----------------------------|-----------------------|-----------|----|----|-------|----|-------------------|------|--|------|------|
| Дудл.                 |                 |                                                  |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |  |      |      |
| Взам.                 |                 |                                                  |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |  |      |      |
| Подл.                 |                 |                                                  |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |  |      |      |
|                       |                 |                                                  |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |  |      |      |
| Розробив              | Мелконян Л.Т.   |                                                  |  |                      | НУК                         | ДП.142.6221м.07.05.ПЗ |           |    |    |       |    |                   |      |  |      |      |
| Перевірів             | Митрофанов О.С. |                                                  |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |  |      |      |
|                       |                 |                                                  |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |  |      |      |
| Нормував              |                 |                                                  |  |                      | Монтаж двигуна 6ДКРН 80/230 |                       |           |    |    |       |    |                   |      |  |      |      |
| Н. Контр.             |                 |                                                  |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |  |      |      |
| Найменування операції |                 |                                                  |  | Матеріал             |                             |                       | Твердість |    | ЕВ | МД    |    | Профіль і розміри |      |  | МЗ   | КОИД |
| 010 Базування ГД      |                 |                                                  |  |                      |                             |                       |           |    | К2 |       |    |                   |      |  |      | 1    |
| Обладнання            |                 |                                                  |  | Позначення, програми |                             |                       | Тс        | Тв |    | Тп.з. |    | Тшт               | СОЖ  |  |      |      |
|                       |                 |                                                  |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |  |      |      |
| Р                     |                 |                                                  |  |                      | ПИ                          | D або B               |           | L  |    | t     | Li | S                 | То/п |  | Тв/в |      |
| 1                     | O               | 1. Підняти двигун, встановити його відповідно до |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |  |      |      |
| 2                     |                 | координат креслення                              |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |  |      |      |
| 3                     | T               | Гідропакет, віджимні пристосування               |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |  |      |      |
| 4                     |                 |                                                  |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |  |      |      |
| 5                     | O               | 2. Навантажити корпус судна навантаженнями, що   |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |  |      |      |
| 6                     |                 | імітують підтримку судна на воді                 |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |  |      |      |
| 7                     | T               | Спеціальні пристосування                         |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |  |      |      |
| 8                     |                 |                                                  |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |  |      |      |
| 9                     | O               | 3. Установити кронштейн і прилад для центрування |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |  |      |      |
| 10                    |                 | двигуна по теоретичній осі                       |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |  |      |      |
| 11                    | T               | Гайкові ключі                                    |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |  |      |      |
| 12                    |                 |                                                  |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |  |      |      |
| OK                    |                 |                                                  |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |  |      |      |

|                       |                 |                                                       |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |  |      |      |  |
|-----------------------|-----------------|-------------------------------------------------------|--|----------------------|-----------------------------|-----------------------|-----------|----|----|-------|----|-------------------|------|--|------|------|--|
| Дудл.                 |                 |                                                       |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |  |      |      |  |
| Взам.                 |                 |                                                       |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |  |      |      |  |
| Подл.                 |                 |                                                       |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |  |      |      |  |
|                       |                 |                                                       |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |  |      |      |  |
| Розробив              | Мелконян Л.Т.   |                                                       |  |                      | НУК                         | ДП.142.6221м.07.05.ПЗ |           |    |    |       |    |                   |      |  |      |      |  |
| Перевірів             | Митрофанов О.С. |                                                       |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |  |      |      |  |
|                       |                 |                                                       |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |  |      |      |  |
| Нормував              |                 |                                                       |  |                      | Монтаж двигуна 6ДКРН 80/230 |                       |           |    |    |       |    |                   |      |  |      |      |  |
| Н. Контр.             |                 |                                                       |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |  |      |      |  |
| Найменування операції |                 |                                                       |  | Матеріал             |                             |                       | Твердість |    | ЕВ | МД    |    | Профіль і розміри |      |  | МЗ   | КОИД |  |
| 010 Базування ГД      |                 |                                                       |  |                      |                             |                       |           |    | К2 |       |    |                   |      |  |      | 1    |  |
| Обладнання            |                 |                                                       |  | Позначення, програми |                             |                       | Тс        | Тв |    | Тп.з. |    | Тшт               | СОЖ  |  |      |      |  |
|                       |                 |                                                       |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |  |      |      |  |
| Р                     |                 |                                                       |  |                      | ПИ                          | D або B               |           | L  |    | t     | Li | S                 | То/п |  | Тв/в |      |  |
| 1                     | О               | 4. Установити допоміжні мішені так, щоб їхні          |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |  |      |      |  |
| 2                     |                 | перекриття збігалися з перекриттями приладу           |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |  |      |      |  |
| 3                     | Т               | Гайкові ключі                                         |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |  |      |      |  |
| 4                     |                 |                                                       |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |  |      |      |  |
| 5                     | О               | 5. Відцентрувати прилад по осі обертання вала двигуна |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |  |      |      |  |
| 6                     | Т               | Прилад для центрування                                |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |  |      |      |  |
| 7                     |                 |                                                       |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |  |      |      |  |
| 8                     | О               | 6. Перевірити центрування ГД по теоретичній осі       |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |  |      |      |  |
| 9                     | Т               | Нівелір, штихмас                                      |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |  |      |      |  |
| 10                    |                 |                                                       |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |  |      |      |  |
| 11                    | О               | 7. Перевірити неплоскостність рами двигуна            |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |  |      |      |  |
| 12                    | Т               | Оптичний рівень                                       |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |  |      |      |  |
| OK                    |                 |                                                       |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |  |      |      |  |

|                       |                                         |                                                       |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |
|-----------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------|--|----------------------|-----------------------------|-----------------------|-----------|----|----|-------|----|-------------------|------|------|----|------|
| Дубл.                 |                                         |                                                       |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |
| Взам.                 |                                         |                                                       |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |
| Подл.                 |                                         |                                                       |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |
|                       |                                         |                                                       |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |
| Розробив              | Мелконян Л.Т.                           |                                                       |  |                      | НУК                         | ДП.142.6221м.07.05.ПЗ |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |
| Перевірів             | Митрофанов О.С.                         |                                                       |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |
|                       |                                         |                                                       |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |
| Нормував              |                                         |                                                       |  |                      | Монтаж двигуна 6ДКРН 80/230 |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |
| Н. Контр.             |                                         |                                                       |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |
| Найменування операції |                                         |                                                       |  | Матеріал             |                             |                       | Твердість |    | ЕВ | МД    |    | Профіль і розміри |      |      | МЗ | КОИД |
| 010 Базування ГД      |                                         |                                                       |  |                      |                             |                       |           |    | К2 |       |    |                   |      |      |    | 1    |
| Обладнання            |                                         |                                                       |  | Позначення, програми |                             |                       | Тс        | Тв |    | Тп.з. |    | Тшт               | СОЖ  |      |    |      |
|                       |                                         |                                                       |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |
| Р                     |                                         |                                                       |  |                      | ПИ                          | D або B               |           | L  |    | t     | Li | S                 | То/п | Тв/в |    |      |
| 1                     | 0                                       | 8. Перевірити раскeпи кривошипів коленвала і привести |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |
| 2                     | їх у відповідність з технічними нормами |                                                       |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |
| 3                     | Т                                       | Розкепник                                             |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |
| 4                     |                                         |                                                       |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |
| 5                     |                                         |                                                       |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |
| 6                     |                                         |                                                       |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |
| 7                     |                                         |                                                       |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |
| 8                     |                                         |                                                       |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |
| 9                     |                                         |                                                       |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |
| 10                    |                                         |                                                       |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |
| 11                    |                                         |                                                       |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |
| 12                    |                                         |                                                       |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |
| OK                    |                                         |                                                       |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |

|                                               |                 |                                                  |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |  |      |      |
|-----------------------------------------------|-----------------|--------------------------------------------------|--|----------------------|-----------------------------|-----------------------|-----------|----|----|-------|----|-------------------|------|--|------|------|
| Дудл.                                         |                 |                                                  |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |  |      |      |
| Взам.                                         |                 |                                                  |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |  |      |      |
| Подл.                                         |                 |                                                  |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |  |      |      |
|                                               |                 |                                                  |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |  |      |      |
| Розробив                                      | Мелконян Л.Т.   |                                                  |  |                      | НУК                         | ДП.142.6221м.07.05.ПЗ |           |    |    |       |    |                   |      |  |      |      |
| Перевірів                                     | Митрофанов О.С. |                                                  |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |  |      |      |
|                                               |                 |                                                  |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |  |      |      |
| Нормував                                      |                 |                                                  |  |                      | Монтаж двигуна 6ДКРН 80/230 |                       |           |    |    |       |    |                   |      |  |      |      |
| Н. Контр.                                     |                 |                                                  |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |  |      |      |
| Найменування операції                         |                 |                                                  |  | Матеріал             |                             |                       | Твердість |    | ЕВ | МД    |    | Профіль і розміри |      |  | МЗ   | КОИД |
| 015 Установка пластмасових компенсуючих ланок |                 |                                                  |  |                      |                             |                       |           |    | К2 |       |    |                   |      |  |      | 1    |
| Обладнання                                    |                 |                                                  |  | Позначення, програми |                             |                       | Тс        | Тв |    | Тп.з. |    | Тшт               | СОЖ  |  |      |      |
|                                               |                 |                                                  |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |  |      |      |
| Р                                             |                 |                                                  |  |                      | ПИ                          | D або B               |           | L  |    | t     | Li | S                 | То/п |  | Тв/в |      |
| 1                                             | 0               | 1. Визначити товщину підкладок і виготовити      |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |  |      |      |
| 2                                             | роздвіжні форми |                                                  |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |  |      |      |
| 3                                             | Т               | Метр стальний                                    |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |  |      |      |
| 4                                             |                 |                                                  |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |  |      |      |
| 5                                             | 0               | 2. Визначити кількість пластмаси                 |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |  |      |      |
| 6                                             |                 |                                                  |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |  |      |      |
| 7                                             | 0               | 3. Виготовити пластмасу ЖМ – 250                 |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |  |      |      |
| 8                                             | Т               | Змішувач С/І-10, ваги, мірний стакан, компоненти |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |  |      |      |
| 9                                             |                 |                                                  |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |  |      |      |
| 10                                            | 0               | 4. Заповнити пластмасою пневматичний прес        |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |  |      |      |
| 11                                            | Т               | Пневматичний прес                                |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |  |      |      |
| 12                                            |                 |                                                  |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |  |      |      |
| OK                                            |                 |                                                  |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |  |      |      |

|                                               |                 |                                                  |  |                             |                       |           |    |       |     |                   |    |   |      |      |
|-----------------------------------------------|-----------------|--------------------------------------------------|--|-----------------------------|-----------------------|-----------|----|-------|-----|-------------------|----|---|------|------|
| Дудл.                                         |                 |                                                  |  |                             |                       |           |    |       |     |                   |    |   |      |      |
| Взам.                                         |                 |                                                  |  |                             |                       |           |    |       |     |                   |    |   |      |      |
| Подл.                                         |                 |                                                  |  |                             |                       |           |    |       |     |                   |    |   |      |      |
|                                               |                 |                                                  |  |                             |                       |           |    |       |     |                   |    |   |      |      |
| Розробив                                      | Мелконян Л.Т.   |                                                  |  | НУК                         | ДП.142.6221м.07.05.ПЗ |           |    |       |     |                   |    |   |      |      |
| Перевірів                                     | Митрофанов О.С. |                                                  |  |                             |                       |           |    |       |     |                   |    |   |      |      |
|                                               |                 |                                                  |  |                             |                       |           |    |       |     |                   |    |   |      |      |
| Нормував                                      |                 |                                                  |  | Монтаж двигуна 6ДКРН 80/230 |                       |           |    |       |     |                   |    |   |      |      |
| Н. Контр.                                     |                 |                                                  |  |                             |                       |           |    |       |     |                   |    |   |      |      |
| Найменування операції                         |                 |                                                  |  | Матеріал                    |                       | Твердість |    | ЕВ    | МД  | Профіль і розміри |    |   | МЗ   | КОИД |
| 015 Установка пластмасових компенсуючих ланок |                 |                                                  |  |                             |                       |           |    | К2    |     |                   |    |   |      | 1    |
| Обладнання                                    |                 |                                                  |  | Позначення, програми        |                       | Тс        | Тв | Тп.з. | Тшт | СОЖ               |    |   |      |      |
|                                               |                 |                                                  |  |                             |                       |           |    |       |     |                   |    |   |      |      |
| Р                                             |                 |                                                  |  |                             | ПИ                    | D або B   |    | L     |     | t                 | Li | S | To/n | Tθ/v |
| 1                                             | 0               | 5. Запресувати пластмасу між опорними поверхнями |  |                             |                       |           |    |       |     |                   |    |   |      |      |
| 2                                             |                 | двигуна і фундамента                             |  |                             |                       |           |    |       |     |                   |    |   |      |      |
| 3                                             |                 |                                                  |  |                             |                       |           |    |       |     |                   |    |   |      |      |
| 4                                             | 0               | 6. Прогріти пластмасові підкладки                |  |                             |                       |           |    |       |     |                   |    |   |      |      |
| 5                                             | T               | Термоелектронагрівач, термометр, годинник        |  |                             |                       |           |    |       |     |                   |    |   |      |      |
| 6                                             |                 |                                                  |  |                             |                       |           |    |       |     |                   |    |   |      |      |
| 7                                             |                 |                                                  |  |                             |                       |           |    |       |     |                   |    |   |      |      |
| 8                                             |                 |                                                  |  |                             |                       |           |    |       |     |                   |    |   |      |      |
| 9                                             |                 |                                                  |  |                             |                       |           |    |       |     |                   |    |   |      |      |
| 10                                            |                 |                                                  |  |                             |                       |           |    |       |     |                   |    |   |      |      |
| 11                                            |                 |                                                  |  |                             |                       |           |    |       |     |                   |    |   |      |      |
| 12                                            |                 |                                                  |  |                             |                       |           |    |       |     |                   |    |   |      |      |

|                                     |                 |                                                   |  |                             |                       |           |    |    |       |   |                   |    |     |      |      |
|-------------------------------------|-----------------|---------------------------------------------------|--|-----------------------------|-----------------------|-----------|----|----|-------|---|-------------------|----|-----|------|------|
| Дудл.                               |                 |                                                   |  |                             |                       |           |    |    |       |   |                   |    |     |      |      |
| Взам.                               |                 |                                                   |  |                             |                       |           |    |    |       |   |                   |    |     |      |      |
| Подл.                               |                 |                                                   |  |                             |                       |           |    |    |       |   |                   |    |     |      |      |
|                                     |                 |                                                   |  |                             |                       |           |    |    |       |   |                   |    |     |      |      |
| Розробив                            | Мелконян Л.Т.   |                                                   |  | НУК                         | ДП.142.6221м.07.05.ПЗ |           |    |    |       |   |                   |    |     |      |      |
| Перевірів                           | Митрофанов О.С. |                                                   |  |                             |                       |           |    |    |       |   |                   |    |     |      |      |
|                                     |                 |                                                   |  |                             |                       |           |    |    |       |   |                   |    |     |      |      |
| Нормував                            |                 |                                                   |  | Монтаж двигуна 6ДКРН 80/230 |                       |           |    |    |       |   |                   |    |     |      |      |
| Н. Контр.                           |                 |                                                   |  |                             |                       |           |    |    |       |   |                   |    |     |      |      |
| Найменування операції               |                 |                                                   |  | Матеріал                    |                       | Твердість |    | ЕВ | МД    |   | Профіль і розміри |    |     | МЗ   | КОИД |
| 020 Кріплення двигуна на фундаменті |                 |                                                   |  |                             |                       |           |    | К2 |       |   |                   |    |     |      | 1    |
| Обладнання                          |                 |                                                   |  | Позначення, програми        |                       | Тс        | Тв |    | Тп.з. |   | Тшт               |    | СОЖ |      |      |
|                                     |                 |                                                   |  |                             |                       |           |    |    |       |   |                   |    |     |      |      |
| Р                                   |                 |                                                   |  |                             | ПИ                    | D або B   |    | L  |       | t |                   | Li | S   | To/n | Tθ/v |
| 1                                   | 0               | 1. Зняти віджимні пристосування                   |  |                             |                       |           |    |    |       |   |                   |    |     |      |      |
| 2                                   | T               | Гайкові ключі                                     |  |                             |                       |           |    |    |       |   |                   |    |     |      |      |
| 3                                   |                 |                                                   |  |                             |                       |           |    |    |       |   |                   |    |     |      |      |
| 4                                   | 0               | 2. Через отвори у фундаментній рамі зробити       |  |                             |                       |           |    |    |       |   |                   |    |     |      |      |
| 5                                   |                 | свердлення отворів у судновому фундаменті і       |  |                             |                       |           |    |    |       |   |                   |    |     |      |      |
| 6                                   |                 | розточити їх                                      |  |                             |                       |           |    |    |       |   |                   |    |     |      |      |
| 7                                   | T               | Свердильна машина УСМ-50                          |  |                             |                       |           |    |    |       |   |                   |    |     |      |      |
| 8                                   |                 |                                                   |  |                             |                       |           |    |    |       |   |                   |    |     |      |      |
| 9                                   | 0               | 3. Завести шпильки з самовстановлюючими шайбами і |  |                             |                       |           |    |    |       |   |                   |    |     |      |      |
| 10                                  |                 | гайками                                           |  |                             |                       |           |    |    |       |   |                   |    |     |      |      |
| 11                                  |                 |                                                   |  |                             |                       |           |    |    |       |   |                   |    |     |      |      |
| 12                                  | 0               | 4. Встановити подовжувальні втулки                |  |                             |                       |           |    |    |       |   |                   |    |     |      |      |
| OK                                  |                 |                                                   |  |                             |                       |           |    |    |       |   |                   |    |     |      |      |

|                                     |                 |                                                    |  |                      |                             |                       |    |       |    |     |                   |   |      |      |      |  |
|-------------------------------------|-----------------|----------------------------------------------------|--|----------------------|-----------------------------|-----------------------|----|-------|----|-----|-------------------|---|------|------|------|--|
| Дудл.                               |                 |                                                    |  |                      |                             |                       |    |       |    |     |                   |   |      |      |      |  |
| Взам.                               |                 |                                                    |  |                      |                             |                       |    |       |    |     |                   |   |      |      |      |  |
| Подл.                               |                 |                                                    |  |                      |                             |                       |    |       |    |     |                   |   |      |      |      |  |
|                                     |                 |                                                    |  |                      |                             |                       |    |       |    |     |                   |   |      |      |      |  |
| Розробив                            | Мелконян Л.Т.   |                                                    |  |                      | НУК                         | ДП.142.6221м.07.05.ПЗ |    |       |    |     |                   |   |      |      |      |  |
| Перевірів                           | Митрофанов О.С. |                                                    |  |                      |                             |                       |    |       |    |     |                   |   |      |      |      |  |
|                                     |                 |                                                    |  |                      |                             |                       |    |       |    |     |                   |   |      |      |      |  |
| Нормував                            |                 |                                                    |  |                      | Монтаж двигуна 6ДКРН 80/230 |                       |    |       |    |     |                   |   |      |      |      |  |
| Н. Контр.                           |                 |                                                    |  |                      |                             |                       |    |       |    |     |                   |   |      |      |      |  |
| Найменування операції               |                 |                                                    |  | Матеріал             |                             | Твердість             |    | ЕВ    | МД |     | Профіль і розміри |   |      | МЗ   | КОИД |  |
| 020 Кріплення двигуна на фундаменті |                 |                                                    |  |                      |                             |                       |    | К2    |    |     |                   |   |      |      | 1    |  |
| Обладнання                          |                 |                                                    |  | Позначення, програми |                             | Тс                    | Тв | Тп.з. |    | Тшт | СОЖ               |   |      |      |      |  |
|                                     |                 |                                                    |  |                      |                             |                       |    |       |    |     |                   |   |      |      |      |  |
| Р                                   |                 |                                                    |  |                      | ПИ                          | D або B               |    | L     |    | t   | Li                | S | To/n | Tв/v |      |  |
| 1                                   | 0               | 5. Встановити круглі гайки                         |  |                      |                             |                       |    |       |    |     |                   |   |      |      |      |  |
| 2                                   |                 |                                                    |  |                      |                             |                       |    |       |    |     |                   |   |      |      |      |  |
| 3                                   | 0               | 6. Обжати шпильки                                  |  |                      |                             |                       |    |       |    |     |                   |   |      |      |      |  |
| 4                                   | T               | Гідродомкрат, щуп                                  |  |                      |                             |                       |    |       |    |     |                   |   |      |      |      |  |
| 5                                   |                 |                                                    |  |                      |                             |                       |    |       |    |     |                   |   |      |      |      |  |
| 6                                   | 0               | 7. Перевірити центрування деталей руху (привалка)  |  |                      |                             |                       |    |       |    |     |                   |   |      |      |      |  |
| 7                                   |                 |                                                    |  |                      |                             |                       |    |       |    |     |                   |   |      |      |      |  |
| 8                                   | 0               | 8. Перевірити зазор між поршнем і втулкою циліндра |  |                      |                             |                       |    |       |    |     |                   |   |      |      |      |  |
| 9                                   | T               | Пристосування для дистанційного визначення         |  |                      |                             |                       |    |       |    |     |                   |   |      |      |      |  |
| 10                                  |                 | радіальних зазорів                                 |  |                      |                             |                       |    |       |    |     |                   |   |      |      |      |  |
| 11                                  |                 |                                                    |  |                      |                             |                       |    |       |    |     |                   |   |      |      |      |  |
| 12                                  | 0               | 9. Перевірити зазор між крейцкопфом і напрямними   |  |                      |                             |                       |    |       |    |     |                   |   |      |      |      |  |
| OK                                  |                 |                                                    |  |                      |                             |                       |    |       |    |     |                   |   |      |      |      |  |

|                                     |                      |                                                        |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |
|-------------------------------------|----------------------|--------------------------------------------------------|--|----------------------|-----------------------------|-----------------------|-----------|----|----|-------|----|-------------------|------|------|----|------|
| Дудл.                               |                      |                                                        |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |
| Взам.                               |                      |                                                        |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |
| Подл.                               |                      |                                                        |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |
|                                     |                      |                                                        |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |
| Розробив                            | Мелконян Л.Т.        |                                                        |  |                      | НУК                         | ДП.142.6221м.07.05.ПЗ |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |
| Перевірів                           | Митрофанов О.С.      |                                                        |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |
|                                     |                      |                                                        |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |
| Нормував                            |                      |                                                        |  |                      | Монтаж двигуна 6ДКРН 80/230 |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |
| Н. Контр.                           |                      |                                                        |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |
| Найменування операції               |                      |                                                        |  | Матеріал             |                             |                       | Твердість |    | ЕВ | МД    |    | Профіль і розміри |      |      | МЗ | КОИД |
| 020 Кріплення двигуна на фундаменті |                      |                                                        |  |                      |                             |                       |           |    | К2 |       |    |                   |      |      |    | 1    |
| Обладнання                          |                      |                                                        |  | Позначення, програми |                             |                       | Тс        | Тв |    | Тп.з. |    | Тшт               | СОЖ  |      |    |      |
|                                     |                      |                                                        |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |
| Р                                   |                      |                                                        |  |                      | ПИ                          | D або B               |           | L  |    | t     | Li | S                 | То/п | Тв/в |    |      |
| 1                                   | Т                    | Пристосування для дистанційного визначення             |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |
| 2                                   | радіальних зазорів   |                                                        |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |
| 3                                   |                      |                                                        |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |
| 4                                   | О                    | 10. Перевірити затягування анкерних зв'язків і затягти |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |
| 5                                   | на однакову величину |                                                        |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |
| 6                                   | Т                    | Гідродомкрат                                           |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |
| 7                                   |                      |                                                        |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |
| 8                                   |                      |                                                        |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |
| 9                                   |                      |                                                        |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |
| 10                                  |                      |                                                        |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |
| 11                                  |                      |                                                        |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |
| 12                                  |                      |                                                        |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |
| OK                                  |                      |                                                        |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |

|                        |                 |                                            |  |                      |                             |         |                       |    |    |       |    |                   |      |  |      |      |
|------------------------|-----------------|--------------------------------------------|--|----------------------|-----------------------------|---------|-----------------------|----|----|-------|----|-------------------|------|--|------|------|
| Дудл.                  |                 |                                            |  |                      |                             |         |                       |    |    |       |    |                   |      |  |      |      |
| Взам.                  |                 |                                            |  |                      |                             |         |                       |    |    |       |    |                   |      |  |      |      |
| Подл.                  |                 |                                            |  |                      |                             |         |                       |    |    |       |    |                   |      |  |      |      |
|                        |                 |                                            |  |                      |                             |         |                       |    |    |       |    |                   |      |  |      |      |
| Розробив               | Мелконян Л.Т.   |                                            |  |                      |                             | НУК     | ДП.142.6221м.07.05.ПЗ |    |    |       |    |                   |      |  |      |      |
| Перевірів              | Митрофанов О.С. |                                            |  |                      |                             |         |                       |    |    |       |    |                   |      |  |      |      |
|                        |                 |                                            |  |                      |                             |         |                       |    |    |       |    |                   |      |  |      |      |
| Нормував               |                 |                                            |  |                      | Монтаж двигуна 6ДКРН 80/230 |         |                       |    |    |       |    |                   |      |  |      |      |
| Н. Контр.              |                 |                                            |  |                      |                             |         |                       |    |    |       |    |                   |      |  |      |      |
| Найменування операції  |                 |                                            |  | Матеріал             |                             |         | Твердість             |    | ЕВ | МД    |    | Профіль і розміри |      |  | МЗ   | КОИД |
| 025 Технічний контроль |                 |                                            |  |                      |                             |         |                       |    | К2 |       |    |                   |      |  |      | 1    |
| Обладнання             |                 |                                            |  | Позначення, програми |                             |         | Тс                    | Тв |    | Тп.з. |    | Тшт               | СОЖ  |  |      |      |
|                        |                 |                                            |  |                      |                             |         |                       |    |    |       |    |                   |      |  |      |      |
| Р                      |                 |                                            |  |                      | ПИ                          | D або B |                       | L  |    | t     | Li | S                 | То/п |  | Тв/v |      |
| 1                      | 0               | 1. Правильність положення двигуна на судні |  |                      |                             |         |                       |    |    |       |    |                   |      |  |      |      |
| 2                      |                 |                                            |  |                      |                             |         |                       |    |    |       |    |                   |      |  |      |      |
| 3                      | 0               | 2. Якість вузлів кріплення                 |  |                      |                             |         |                       |    |    |       |    |                   |      |  |      |      |
| 4                      |                 |                                            |  |                      |                             |         |                       |    |    |       |    |                   |      |  |      |      |
| 5                      | 0               | 3. Відсутність деформацій двигуна          |  |                      |                             |         |                       |    |    |       |    |                   |      |  |      |      |
| 6                      |                 |                                            |  |                      |                             |         |                       |    |    |       |    |                   |      |  |      |      |
| 7                      | 0               | 4. Здати монтаж головного двигуна ОТК і    |  |                      |                             |         |                       |    |    |       |    |                   |      |  |      |      |
| 8                      |                 | представнику Регістра                      |  |                      |                             |         |                       |    |    |       |    |                   |      |  |      |      |
| 9                      |                 |                                            |  |                      |                             |         |                       |    |    |       |    |                   |      |  |      |      |
| 10                     |                 |                                            |  |                      |                             |         |                       |    |    |       |    |                   |      |  |      |      |
| 11                     |                 |                                            |  |                      |                             |         |                       |    |    |       |    |                   |      |  |      |      |
| 12                     |                 |                                            |  |                      |                             |         |                       |    |    |       |    |                   |      |  |      |      |
| OK                     |                 |                                            |  |                      |                             |         |                       |    |    |       |    |                   |      |  |      |      |

|                       |                                     |                        |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |
|-----------------------|-------------------------------------|------------------------|--|----------------------|-----------------------------|-----------------------|-----------|----|----|-------|----|-------------------|------|------|----|------|
| Дудл.                 |                                     |                        |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |
| Взам.                 |                                     |                        |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |
| Подл.                 |                                     |                        |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |
|                       |                                     |                        |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |
| Розробив              | Мелконян Л.Т.                       |                        |  |                      | НУК                         | ДП.142.6221м.07.05.ПЗ |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |
| Перевірів             | Митрофанов О.С.                     |                        |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |
|                       |                                     |                        |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |
| Нормував              |                                     |                        |  |                      | Монтаж двигуна 6ДКРН 80/230 |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |
| Н. Контр.             |                                     |                        |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |
| Найменування операції |                                     |                        |  | Матеріал             |                             |                       | Твердість |    | ЕВ | МД    |    | Профіль і розміри |      |      | МЗ | КОИД |
| 030 Фарбування        |                                     |                        |  |                      |                             |                       |           |    | К2 |       |    |                   |      |      |    | 1    |
| Обладнання            |                                     |                        |  | Позначення, програми |                             |                       | Тс        | Тв |    | Тп.з. |    | Тшт               | СОЖ  |      |    |      |
|                       |                                     |                        |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |
| Р                     |                                     |                        |  |                      | ПИ                          | D або B               |           | L  |    | t     | Li | S                 | То/п | Тв/в |    |      |
| 1                     | О                                   | 1. Офарбити кріплення, |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |
| 2                     | компенсуючі ланки свинцевим суриком |                        |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |
| 3                     | Т                                   | Мірні ємності, кисть   |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |
| 4                     |                                     |                        |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |
| 5                     |                                     |                        |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |
| 6                     |                                     |                        |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |
| 7                     |                                     |                        |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |
| 8                     |                                     |                        |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |
| 9                     |                                     |                        |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |
| 10                    |                                     |                        |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |
| 11                    |                                     |                        |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |
| 12                    |                                     |                        |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |
| OK                    |                                     |                        |  |                      |                             |                       |           |    |    |       |    |                   |      |      |    |      |

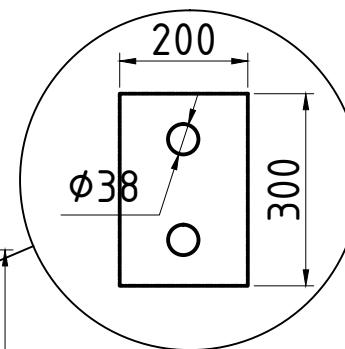
[illegible][illegible]

A diagram showing a horizontal line with an arrow pointing left towards a vertical line.

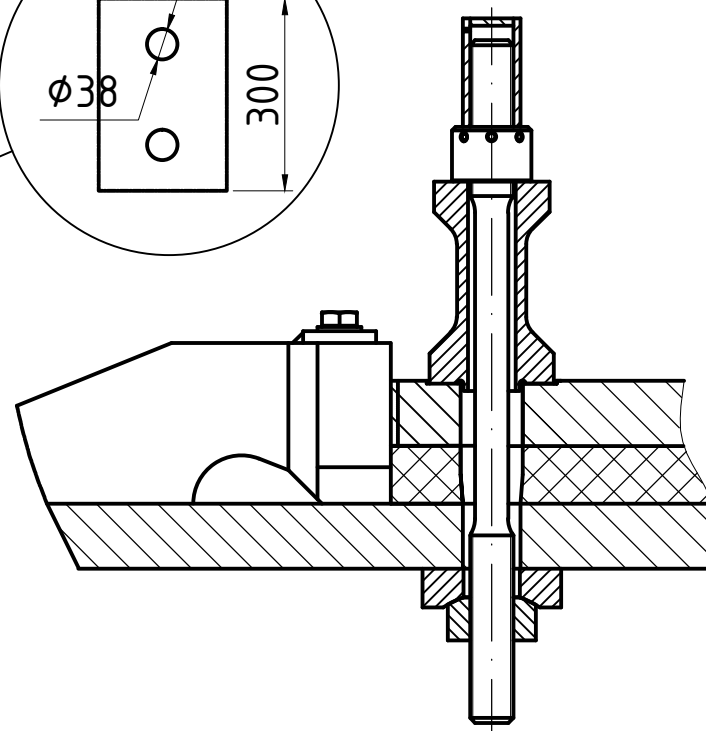
350

A

2650



A-A

 $KE$





|             |      |                 |        |      |                                                                                   |                          |      |         |
|-------------|------|-----------------|--------|------|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|------|---------|
|             |      |                 |        |      | ДП.142.6221м.07.06.ПЗ                                                             |                          |      |         |
|             |      |                 |        |      |                                                                                   |                          |      |         |
| Змн.        | Арк. | № докум.        | Підпис | Дата |                                                                                   |                          |      |         |
| Студент.    |      | Мелконян Л.Т.   |        |      | Економічне обґрунтування<br>модернізації паливної системи<br>двигуна 6ДКРН 80/230 | Літ.                     | Арк. | Акрушів |
| Консультант |      |                 |        |      |                                                                                   |                          |      |         |
| Керівник    |      | Митрофанов О.С. |        |      |                                                                                   | НУК<br>ім. адм. Макарова |      |         |
|             |      |                 |        |      |                                                                                   |                          |      |         |

## 6.1. Економічне обґрунтування модернізації паливної системи суднового малообертового двигуна 6ДКРН 80/230

Основною метою розділу є теоретична оцінка економічної доцільності у модернізації паливної системи головного суднового малообертового двигуна 6ДКРН 80/230, який встановлено на контейнеровозі. При проведенні оцінки модернізованого двигуна для порівняння нових параметрів було взято технічні данні серійного двигуна даного типу виробництва фірми MAN B&W.

У таблиці 6.1 наведені техніко-економічні показники серійного малообертового двигуна 6ДКРН 80/230 виробництва фірми MAN B&W, встановленого на контейнеровозі та модернізованого з новою паливною системою з використанням паливних насосів з гідравлічним приводом плунжера.

**Таблиця 6.1 – Техніко-економічні показники серійного та модернізованого малообертового двигуна 6ДКРН 80/230**

| Показник                                                   | Позначення       | Серійний двигун | Модернізований двигун |
|------------------------------------------------------------|------------------|-----------------|-----------------------|
| Потужність головного двигуна, кВт                          | Ne               | 18720           | 21600                 |
| Частота обертання, хв <sup>-1</sup>                        | n                | 104             | 104                   |
| Діаметр циліндра, м                                        | D                | 0,8             | 0,8                   |
| Хід поршня, м                                              | S                | 2,3             | 2,3                   |
| Питома ефективна витрата дизельного палива, кг/кВт·год     | g <sub>e</sub>   | 0,173           | 0,170                 |
| Питома витрата масла, кг/кВт·год                           | g <sub>м</sub>   | 0,0006          | 0,0006                |
| Вага головного двигуна, кг                                 | G                | 705000          | 705000                |
| Габарити головного двигуна, мм                             | L                | 11154           | 11154                 |
|                                                            | B                | 10374           | 10374                 |
|                                                            | H                | 13470           | 13,470                |
| Ціна головного двигуна, грн.                               | Ц                | 850000          | 950000                |
| Ціна дизельного палива, грн/(кВт·ч)                        | Ц <sub>п</sub>   | 1,85            | 1,85                  |
| Ціна масла, грн/кг                                         | Ц <sub>м</sub>   | 9,5             | 9,5                   |
| Час роботи за рік, ч                                       | t                | 6380            | 6380                  |
| Число контрольних ремонтів                                 | η                | 1               | 1                     |
| Сумарний коефіцієнт по капітальних ремонтах                | ε <sub>min</sub> | 1,1             | 1,1                   |
| Коефіцієнт частини вартості роботи                         | b                | 0,05            | 0,05                  |
| Коефіцієнт використання потужності                         | K <sub>п</sub>   | 0,95            | 0,95                  |
| Коефіцієнт частини вартості кап. ремонту                   | K <sub>к.р</sub> | 0,3             | 0,3                   |
| Час безперервної роботи, ч                                 | t <sub>н.р</sub> | 300             | 300                   |
| Ресурс двигуна до першого перебирання, ч                   | t <sub>пер</sub> | 22000           | 22000                 |
| Ресурс двигуна до капітального ремонту, ч                  | t <sub>к.р</sub> | 92000           | 92000                 |
| Нормативний коефіцієнт порівняння економічної ефективності | E                | 0,15            | 0,15                  |

Економічна ефективність для споживача від впровадження модернізованого малооборотного двигуна 6ДКРН 80/230 на судні визначається за методичними вказівками – «Методика використання в народному господарстві нової техніки, винаходів і раціоналізаторських пропозицій».

**Метод оцінки призначено:**

1. Техніко-економічне обґрунтування вибору найкращих варіантів модернізації суднового двигуна та впровадження його на судні.
2. Відображення показників економічності та ефективності від впровадження модернізованого суднового двигуна в нормах й нормативах.
3. Розрахунок фактичної ефективності від впровадження модернізованого суднового двигуна.

Розрахунки економічної ефективності від впровадження модернізованого малооборотного двигуна 6ДКРН 80/230 на судні виконано у табличній формі (табл. 6.2).

**Таблиця 6.2 – Розрахунки економічної ефективності від модернізації головного суднового малооборотного двигуна 6ДКРН 80/230**

| Найменування параметру              | Позн./Розм.            | Формула                                                                      | Серійний двигун | Модернізований двигун |
|-------------------------------------|------------------------|------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------------------|
| Річна продуктивність                | N, кВт·год в рік       | $N = K_{II} \cdot N_e \cdot t$                                               | 113461920       | 130917600             |
| Термін служби                       | T, рік                 | $T = \frac{t_{кр}}{t}$                                                       | 14,42           | 14,42                 |
| Річні поточні витрати на паливо     | З <sub>п</sub> , грн   | $З_n = N \cdot Ц_n \cdot g_e$                                                | 36313487,5      | 41173585,2            |
| Річні поточні витрати на масло      | З <sub>м</sub> , грн   | $З_m = g_m \cdot N \cdot Ц_m$                                                | 646732,944      | 746230,32             |
| Річні витрати на поточний ремонт    | З <sub>п.р</sub> , грн | $З_{n.p} = \frac{b \cdot t \cdot Ц}{t_{нер}}$                                | 12325           | 13775                 |
| Річні витрати на капітальний ремонт | З <sub>к.р</sub> , грн | $З_{к.p} = \frac{K_{к.p} \cdot t \cdot Ц}{t_{к.p} \cdot \varepsilon_{\min}}$ | 16076,09        | 17967,39              |

|                                                                               |                                |                                                                                                                                                                                                             |             |             |
|-------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------|
| Річний економічний ефект у споживача                                          | $U_1$ , грн                    | $U_1 = Z_n + Z_m + Z_{k.p} + Z_{n.p}$                                                                                                                                                                       | 36988621,53 | 41951557,91 |
|                                                                               | $U_1^{1\delta}$ , грн          | $U_1^{1\delta} = \frac{N_c}{N_{\delta}} \cdot U_1^{\delta}$                                                                                                                                                 | 42679178,68 | -           |
| Річний економічний ефект у споживача від використання модернізованого двигуна | $E_k$ , грн                    | $E_k = \left[ C_{\delta} \cdot \frac{N_c}{N_{\delta}} \cdot \left( \frac{\frac{1}{T_{\delta}} + E_{\delta}}{\frac{1}{T_c} + E_c} \right) + \frac{U_1^{1\delta} - U_1^c}{\frac{1}{T_c} + E_c} \right] - C_c$ | 3347969,983 |             |
| Додаткові одноразові витрати на модернізацію двигуна                          | $\Delta K$ , грн               | -                                                                                                                                                                                                           | 100000      |             |
| Річна економія при експлуатації модернізованого двигуна                       | $\Delta S$ , грн               | $\Delta S = U_1^{1\delta} - U_1^c$                                                                                                                                                                          | 727620,77   |             |
| Час окупності модернізованого двигуна                                         | $T_{\text{окуп}}$ , рік/місяць | $T_{\text{окуп}} = \frac{\Delta K}{\Delta S}$                                                                                                                                                               | 0,14/ 1,6   |             |

## 6.2. Висновки до розділу

Виконано теоретичну оцінку економічної доцільності у модернізації паливної системи головного суднового малообертового двигуна 6ДКРН 80/230 виробництва фірми MAN B&W, який встановлено на контейнеровозі. Наведені результати розрахунку підтвердили економічну обґрунтованість проведення модернізації паливної системи двигуна за рахунок використання паливних насосів з гідравлічним приводом плунжера.

Річний економічний ефект для споживача від використання на судні модернізованого малообертового двигуна 6ДКРН 80/23, у порівнянні з серійним складає 3347969,983 грн при чому модернізація серійного двигуна окупиться усього за 0,14 року.

|             |      |                 |        |      |                                                                                          |                          |         |
|-------------|------|-----------------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|---------|
|             |      |                 |        |      | ДП.142.6221м.07.07.ПЗ                                                                    |                          |         |
|             |      |                 |        |      |                                                                                          |                          |         |
| Змн.        | Арк. | № докум.        | Підпис | Дата |                                                                                          |                          |         |
| Студент.    |      | Мелконян Л.Т.   |        |      | Охорона праці при<br>експлуатації та обслуговуванні<br>суднового двигуна 6ДКРН<br>80/230 | Літ.                     | Арк.    |
| Консультант |      |                 |        |      |                                                                                          |                          | Акрушів |
| Керівник    |      | Митрофанов О.С. |        |      |                                                                                          | НУК<br>ім. адм. Макарова |         |
|             |      |                 |        |      |                                                                                          |                          |         |
|             |      |                 |        |      |                                                                                          |                          |         |

## **7. Охорона праці при експлуатації та обслуговуванні суднового двигуна 6ДКРН 80/230**

### **7.1. Заходи щодо охорони праці при виконанні монтажних робіт суднового двигуна 6ДКРН 80/230**

Роботи з монтажу головного суднового двигуна, необхідно проводити згідно з основними вимогами безпеки праці при будівництві судів (ОСТ 5.0241–78 та ОСТ 5.4110–87).

Роботи з монтажу головного суднового двигуна здійснюються у насичених устаткуванням приміщені машинного відділення, де одночасно можуть проводитися електрозварювальні роботи та газове різання металу, що спричиняють забруднення повітряного простору відсіків шкідливими газами й дрібнодисперсним пилом, який містить токсичні для людини елементи. Пневматичний інструмент, який використовується при виконанні робіт створює інтенсивний високочастотний шум, що сприяє швидкому втомленню та втраті працездатності людини.

При здійсненні фарбуванні суднових конструкцій та різних елементів у навколишнє повітря виділяються токсичні пари різних розчинників, що містяться у фарбах, наприклад, таких, як ацетон, бензол, або ксилол. Тому, виконуючи роботи у умовах судна, необхідно уважно відноситися до збереження здоров'я обслуговуючого персоналу, а також сумлінно дотримуватися правил техніки безпеки та промислової санітарії.

До виконання робіт на судах допускаються люди, які пройшли спеціальний медичний огляд та мають відповідний дозвіл лікаря, пройшли інструктаж з охорони праці й пожежної безпеки на робочому місці. Обслуговуючий персонал повинен бути забезпечений захисними касками, спецодягом та спецвзуттям.

При монтажі головного двигуна необхідно використовувати лише справний інструмент та обладнання, спеціально пристосоване для суднових умов. При виконанні робіт забороняється переносити або піднімати предмети масою для чоловіків більше 50 кг, а для жінок – 20 кг. Ручний електричний інструмент повинен працювати від напруги не вище 36 В, а під'єднання електроінструменту до джерела живлення повинний виконувати електричний майстер. Перед початком вико-

нання будь яких роботи електричний інструмент повинний бути перевірений на наявність захисту від пробойів ізоляції та заземлення. Для локального освітлення дозволяється використовувати переносні світильники у вибухозахисному виконанні з напругою живлення не вище 12 В. При виконанні обробки ручним механізованим інструментом деталі повинні бути надійно закріплені. Забороняється виконання обробки деталей у підвішеному положенні.

До виконання робіт з епоксидними смолами та пластмасами на її базі допускаються робітники старше ніж 18 років та які не мають якихось шкірних захворювань. Епоксидна смола, яка потрапила на поверхню шкіри, повинна бути миттєво знята паперовими серветками або тканиною, змоченою у дибутилфталаті, а шкіра оброблена теплою водою з милом.

Робітники, які виконують охолодження й посадкою болтів обов'язково повинні бути забезпечені жаростійкими рукавицями.

При випробуваннях трубопроводів необхідно спочатку перевірити, що пневмо- або гідравлічний прес та арматура знаходяться у справному стані, а термін перевірки манометрів не спливає. У разі якщо трубопровід знаходиться під надлишковим тиском, категорично не дозволяється здійснювати підтягування гайок та фланцеві з'єднання труб.

Для забезпечення захисту робітників, які не виконують зварювальні роботами, від дії зварювальної дуги їх робочі місця повинні бути відгороджені ширмами або перегородками.

При проведенні робіт з розконсервації механізмів на судні у приміщенні повинно бути передбачено наявність засобів пожежогасіння. Під час виконання цих робіт категорично забороняються виконувати зварювання, різання газом або інші роботи з відкритим вогнем.

Вентиляція приміщення при виконанні монтажу головного двигуна повинна відповідати вимогам ОСТ 5.9971–85, а величина шкідливих факторів не повинна перевищувати гранично-допустимих значень. Значення температури, відносної вологості та швидкості руху повітря у робочій зоні повинна відповідати вимогам ОСТ 12.1.005–86.

|    |      |          |        |      |                       |      |
|----|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|    |      |          |        |      | ДП.142.6221м.07.07.ПЗ | Лист |
| Зм | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |

## 7.2. Розрахунки рівня шуму й вібрації суднового двигуна 6ДКРН 80/230 у приміщенні машинного відділення контейнеровозу

Головні двигуни на судні відносять до найбільш гучних механізмів машинного відділення, які є фактично основним джерелом шуму та вібрації. Надлишковий рівень шуму та вібрації негативно впливають на здоров'я обслуговуючого персоналу машинного відділення контейнеровозу, зменшуючи продуктивність їх роботи та притупляючи увагу.

Високий рівень шуму протягом тривалого часу спричиняє утому слухового апарату людини, а подекуди може приводити до часткової або навіть до повної втрати слуху. Відповідно контроль та забезпечення санітарного рівня шуму у приміщенні машинного відділення є вкрай важливою задачею. Санітарні норми шуму у приміщенні машинного відділення контейнеровозу подано у таблиці 7.1.

**Таблиця 7.1 – Санітарні норми шуму у приміщенні машинного відділення контейнеровозу**

|                            |     |     |     |     |      |      |      |      |
|----------------------------|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|
| b, Гц                      | 63  | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
| $\alpha_{\text{про}}$ , Дб | 103 | 96  | 91  | 88  | 85   | 83   | 81   | 80   |

Вібрація у машинному відділенні контейнеровозу виникає від динамічної нерівноваженості мас кривошипно-шатунного механізму руху головного двигуна. Локальна вібрація викликають у людини, що обслуговує головний двигун, спазми судин й погіршує кровообіг. Загальна вібрація на судні з частотою 0,7 Гц викликає у людини морську хворобу, а вібрація з частотою 4...30 Гц може викликати пошкодження плечового поясу, а також більшості внутрішніх органів людини через резонансне явище. Стандартні норми вібрації для приміщення машинного відділення судна подано у таблиці 7.2.

**Таблиця 7.2 – Санітарні норми вібрації у приміщенні машинного відділення контейнеровозу**

| Напрямок нормування вібрації | Середньоквадратична швидкість вібрації (чисельник, $\text{м/с} \cdot 10^{-2}$ ), логарифмічний рівень швидкості вібрації (знаменник, дБ) |         |         |          |          |          |          |
|------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|---------|----------|----------|----------|----------|
|                              | 1                                                                                                                                        | 2       | 4       | 8        | 15       | 31,5     | 63       |
| Вертикаль                    | 20/132                                                                                                                                   | 7,1/123 | 2,5/114 | 1,3/108  | 1,1/107  | 1,1/107  | 1,1/107  |
| Горизонталь                  | –                                                                                                                                        | 3,5/117 | 1,3/108 | 0,63/102 | 0,56/101 | 0,56/101 | 0,56/101 |

Рівень шуму у приміщенні машинного відділення контейнеровозу від головного малообертового двигуна 6ДКРН 80/230 визначається за формулою

$$L = \left[ 54 + 10 \cdot \lg(n_n + Ne^{0.55}) + 30 \lg\left(\frac{n}{n_n}\right) \right], \text{ Дб}$$

де  $n_n$  – номінальна частота обертання колінчастого валу малообертового суднового двигуна 6ДКРН 80/230,  $n_n = 104$  об/хв;  $n$  – робоча частота обертання колінчастого валу малообертового суднового двигуна 6ДКРН 80/230,  $n = 104$  об/хв;  $N_e$  – номінальна потужність малообертового суднового двигуна 6ДКРН 80/230,  $N_e = 21600$  кВт.

$$L = \left[ 54 + 10 \lg(104 + 21600^{0.55}) + 30 \lg\left(\frac{104}{104}\right) \right] = 79,39 \text{ Дб}$$

Рівень шуму у приміщенні машинного відділення контейнеровозу від головного малообертового двигуна 6ДКРН 80/230 має припустимі значення.

Для зниження аеродинамічного шуму у приміщенні машинного відділення на двигунах використовуються глушники різного конструктивного виконання. Використання на головному двигуні глушника дозволяє знизити загальний рівень шуму у приміщенні машинного відділення контейнеровозу на 10...12 Дб. Для забезпечення зниження повітряного шуму у приміщенні машинного відділення від зовнішніх поверхонь головного двигуна використовуються звукоізолюючі кожухи, які забезпечують зниження загального рівень шуму на 10...15 Дб. Для зниження механічного шуму від головного двигуна необхідно зменшити зазори між його деталями та вузлами, поліпшити технологію виготовлення й обробки деталей двигуна, а також намагатися використовувати матеріали з більшим шумопоглинанням.

Достатньо ефективним та важливим способом зменшення шкідливого впливу шуму у приміщенні машинного відділення контейнеровозу на організм людини є використання нею індивідуальних засобів захисту таких, як пробки й навушники, які дозволяють зменшити сприйнятий звук на 15...20 Дб.

Рівень вібрації у приміщенні машинного відділення контейнеровозу від головного малообертового двигуна 6ДКРН 80/230 визначається за формулою:

$$L = 44 + 10 \lg \left( \frac{n_n \cdot Ne^{0.55} \cdot \left( \frac{1 + Ne}{m} \right)}{1 + \left( \frac{1}{1500} \right)^3 \cdot \frac{m}{Ne}} + 30 \lg \left( \frac{n}{n_n} \right) \right), \text{ Дб}$$

де  $m$  – маса головного суднового малообертового двигуна 6ДКРН 80/230,  $m = 705000$  кг

$$L = 44 + 10 \lg \left( \frac{104 \cdot 21600^{0.55} \cdot \left( \frac{1 + 21600}{705000} \right)}{1 + \left( \frac{1}{1500} \right)^3 \cdot \frac{705000}{21600}} + 30 \lg \left( \frac{104}{104} \right) \right) = 72,87 \text{ Дб}$$

Рівень вібрації у приміщенні машинного відділення контейнеровозу від головного малообертового двигуна 6ДКРН 80/230 не перевищує норм.

Ефективним способом зменшення вібрації у приміщенні машинного відділення контейнеровозу від головного малообертового двигуна 6ДКРН 80/230 є встановлення у місцях підвищеної вібрації віброгасників, а також зміцнення кріплення дверей та люків з метою зменшення їх тремтіння.

### 7.3. Висновки до розділу

Проаналізовано небезпечні та шкідливі фактори, що впливають на людину під час експлуатації, обслуговування та ремонту головного малообертового двигуна 6ДКРН 80/230 у приміщенні машинного відділення контейнеровозу. Виконано розрахунок рівня шуму та вібрації головного малообертового двигуна 6ДКРН 80/230 згідно з якими рівень шуму та вібрації має припустимі значення та складає 79,39 та 72,87 Дб відповідно. Виконано аналіз та запропоновано заходи щодо зниження рівня шуму та вібрації у приміщенні машинного відділення контейнеровозу.

|             |      |                 |        |      |                                                                   |                          |      |         |
|-------------|------|-----------------|--------|------|-------------------------------------------------------------------|--------------------------|------|---------|
|             |      |                 |        |      | ДП.142.6221м.07.08.ПЗ                                             |                          |      |         |
|             |      |                 |        |      |                                                                   |                          |      |         |
| Змн.        | Арк. | № докум.        | Підпис | Дата |                                                                   |                          |      |         |
| Студент.    |      | Мелконян Л.Т.   |        |      | Аналіз пожежної безпеки<br>машинного відділення<br>контейнеровозу | Літ.                     | Арк. | Акрушів |
| Консультант |      |                 |        |      |                                                                   |                          |      |         |
| Керівник    |      | Митрофанов О.С. |        |      |                                                                   | НУК<br>ім. адм. Макарова |      |         |
|             |      |                 |        |      |                                                                   |                          |      |         |
|             |      |                 |        |      |                                                                   |                          |      |         |

### 8.1. Оцінка пожежної безпеки приміщення машинного відділення контейнеровозу

На сьогодні судна контейнеровози оснащені складним енергетичними устаткуванням, які є можливим джерелом виникнення пожежі. Значна кількість пожеж у машинних відділеннях суден виникає внаслідок несправності електрообладнання та порушення його нормальної роботи. Пожежонебезпечними також є роботи з використанням легкозаймистих рідин, які деколи використовуються для промивки, очищення та розконсервації елементів двигуна. Пожежі у машинному відділенні судна також виникають у результаті самозаймання палива, яке потрапляє та пропитує ізоляцію газовипускних труб двигуна або потрапило на електрообладнання МВ.

Вірогідність виникнення пожежі у приміщенні машинного відділення також відбувається при знаходженні судна на ремонті, у цей час є достатньо складним забезпечити міри безпеки та майже завжди відбуваються розливи масла або палива на підлогу.

У приміщеннях машинних відділень суден, у яких немає постійної вахти, наявність стаціонарної системи пожежегасіння є обов'язковою. Для таких суден спеціально передбачена можливість використання протипожежної конструкції із використанням негорючих матеріалів. При стандартному випробуванні протягом тридцяти хвилин протипожежні конструкції не повинні пропускати полум'я та диму. На судах у яких використовуються негорючі матеріали машинне відділення необхідно виділяти від житлових та службових приміщень, а також постів керування при наявності системи пожежогашіння конструкціями типу А-30 тоді коли система відсутня – типу А-60.

До головних факторів пожежної небезпеки у приміщенні машинного відділення контейнеровозу відносяться паливо та масло, які використовуються при експлуатації головного суднового двигуна, а також інших механізмів.

Аналіз пожеж у машинному відділенні судна дозволяє визначити основні причини їх виникнення:

- займання та самозаймання дизельного палива від різних гарячих поверхонь у МВ й відкритого полум'я – 26 %;
- несправність електрообладнання та перевантаження головних розподільчих щитів у МВ – 27%;
- несправність котлів та газовипускного тракту головного чи допоміжного двигунів – 17 %;
- порушення правил технічної експлуатації та обслуговування суднової енергетичної установки – 18 %;
- проведення вогневих робіт – 12%.

Витоки дизельного палива або масла виникають здебільшого внаслідок пошкодження вимірювальних приладів паливних або масляних цистерн, трубопроводів або їх окремих з'єднань, порушення герметичності цистерн із-за несправності у системі поповнення й переливу.

### ***Розрахунок приміщення машинного відділення контейнеровозу***

Приміщення машинного відділення контейнеровозу має I ступінь вогнестійкості. Межа вогнестійкості конструкції машинного відділення – несучі стіни та стіни сходових кліток є неспалимі протягом двох годин. Не несучі перегородки машинного відділення неспалимі протягом чотирьох годин. Заповнювач між стінами машинного відділення неспалимий протягом 0,25 годин.

### ***Величина пального навантаження машинного відділення контейнеровозу:***

- маса твердих матеріалів, що горять у приміщенні МВ:  $M_{\text{тсм}} = 2500$  кг;
- маса рідини, що горить у приміщенні МВ:  $M_{\text{п}} = 80000$  кг;
- маса горючих мастильних матеріалів у приміщенні МВ:  $M_{\text{гзм}} = 50000$  кг;
- площа приміщення машинного відділення:  $F = 180$  м<sup>2</sup>.

$$m_{\text{тсм}} = \frac{M_{\text{тсм}}}{F} = \frac{2500}{180} = 13,9 \text{ кг/м}^2; \quad m_{\text{гзм}} = \frac{M_{\text{гзм}}}{F} = \frac{50000}{180} = 277,8 \text{ кг/м}^2;$$

$$m_{\text{п}} = \frac{M_{\text{п}}}{F} = \frac{80000}{180} = 444,5 \text{ кг/м}^2.$$

1. Умовне навантаження на приміщення машинного відділення:

$$M_{\text{ум}_{\text{п+гзм}}} = \frac{(m_{\text{п}} + m_{\text{гзм}}) \cdot 3}{F} = \frac{(444,5 + 277,8) \cdot 3}{180} = 12,04 \text{ кг/м}^2; \quad M_{\text{ум}_{\text{тсм}}} = \frac{m_{\text{тсм}} \cdot 3}{F} = \frac{13,9 \cdot 3}{180} = 0,24 \text{ кг/м}^2.$$

2. Сумарне умовне навантаження на приміщення машинного відділення:

$$\sum M_{ym} = M_{ym+zm} + M_{ymcm} = 12,04 + 0,24 = 12,28 \text{ кг/м}^2.$$

3. Тривалість пожежі у приміщенні машинного відділення контейнеровозу:

$$\tau_n = \frac{\sum M_{ym}}{V} = \frac{12,28}{0,85} = 14,5 \text{ хв};$$

де  $V = 0,85 \text{ кг/м}^2\text{хв}$  – масова швидкість вигорання горючих компонентів.

4. Тривалість I фази горіння МВ:

$$\tau_{I\phi} = \frac{l}{V_p} = \frac{10}{0,5} = 20 \text{ с} = 0,3 \text{ хв};$$

де  $l$  – довжина приміщення машинного відділення, м;  $V_p$  – швидкість розповсюдження полум'я у приміщенні машинного відділення, м/с.

5. Тривалість II фази горіння МВ:

$$\tau_{II\phi} = 0,5\tau_n - \tau_{I\phi} = 0,5 \cdot 14,5 - 0,3 = 6,95 \text{ хв}.$$

6. Тривалість III фази горіння МВ:

$$\tau_{III\phi} = \tau_n - (\tau_{I\phi} + \tau_{II\phi}) = 14,5 - (0,3 + 6,95) = 7,25 \text{ хв}.$$

7. Межа стійкості конструкцій елементів машинного відділення з урахуванням температури  $T_{\text{доп}} = 400 \text{ }^\circ\text{C}$

$$T_{\text{доп}} = 133,14 + 440,31 \cdot \lg(\tau_{\text{ск}}); 400 = 133,14 + 440,31 \cdot \lg(\tau_{\text{ск}})$$

$$\lg(\tau_{\text{ск}}) = \frac{400 - 133,14}{440,31} = 0,61; \tau_{\text{ск}} = 4,1 \text{ хв}.$$

8. Температура поверхні стін із внутрішньої сторони приміщення машинного відділення контейнеровозу:

$$T_{\text{сб}} = 133,14 + 440,31 \cdot \lg(\tau_n) = 133,14 + 440,31 \cdot \lg(0,58) = 30 \text{ }^\circ\text{C}; T_{\text{сб}} > T_{\text{доп}}.$$

Температуру нагріву перегородок приміщення машинного відділення контейнеровозу до  $400 \text{ }^\circ\text{C}$  буде досягнуто протягом 4,1 хвилин, що і буде межею стійкості конструкцій МВ.

**Можливі заходи що до підвищення стійкості приміщення машинного відділення контейнеровозу до пожежі:**

1. Люки освітлення у приміщеннях машинного відділення необхідно забезпечити пристроями для їх закриття з обох боків.

2. Дозволяється встановлювати у приміщеннях машинного відділення ілюмінатори зі скляними вікнами, які армовано металевою сіткою та обладнані зовнішніми кришками.

3. Вентиляційні канали у приміщенні машинного відділення не повинні проходити крізь житлові та службові приміщення, а також пости керування. Якщо не можливо цього уникнути, то канали необхідно виконати із сталі або іншого рівноцінного матеріалу, при цьому місце проходу каналів крізь протипожежні перекриття повинні бути також вогнестійкими та величиною неменше, ніж самі перекриття.

4. У машинному відділенні передбачується наявність неменше ніж два виходи, розташованих один від одного на максимальній дистанції.

5. Не допускається створення на судні коридорів, що мають тупики довжиною більш ніж 2,5 м.

6. Встановлення газових балонів рекомендується виконувати на відкритій палубі або у спеціальних кімнатах.

7. У приміщенні машинного відділення необхідно встановити запобіжні пристрої для запобігання та попередження вибуху.

8. Необхідно виконати протипожежне закриття вентиляційних отворів у приміщення машинного відділення.

9. Для унеможливлення обвалення конструкцій машинного відділення необхідно знизити пожежне навантаження горючих паливо-мастильних матеріалів до значення:

$$m_{\text{ум}} = 0,85\tau_n = 0,85 \cdot 4,1 = 3,485 \text{ кг/м}^2.$$

## 8.2. Висновки до розділу

Проведено аналіз факторі пожежної небезпеки приміщення машинного відділення контейнеровозу, а також запропоновано заходи, щодо підвищення його стійкості до пожежі. Проведення визначених заходів потребує деяких фінансових затрат, однак при цьому буде забезпечена пожежна безпека машинного відділення та зменшена ймовірність виникнення надзвичайної ситуації.

|     |      |          |        |      |                       |      |
|-----|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ДП.142.6221м.07.08.ПЗ | Лист |
| Зм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |

|             |      |                 |        |      |                       |                          |  |      |         |
|-------------|------|-----------------|--------|------|-----------------------|--------------------------|--|------|---------|
|             |      |                 |        |      | ДП.142.6221м.07.09.ПЗ |                          |  |      |         |
|             |      |                 |        |      |                       |                          |  |      |         |
| Змн.        | Арк. | № докум.        | Підпис | Дата |                       |                          |  |      |         |
| Студент.    |      | Мелконян Л.Т.   |        |      | Висновки              | Літ.                     |  | Арк. | Акрушів |
| Консультант |      |                 |        |      |                       |                          |  |      |         |
| Керівник    |      | Митрофанов О.С. |        |      |                       | НУК<br>ім. адм. Макарова |  |      |         |
|             |      |                 |        |      |                       |                          |  |      |         |
|             |      |                 |        |      |                       |                          |  |      |         |

## Загальні висновки по роботі

Магістерська робота містить усі рекомендовані розділи та креслення. У першому розділі наведено короткий опис, основні характеристики контейнеровозу (креслення ДП.142.6221м.07.01, ДП.142.6221м.07.02) та головного суднового малообертового двигуна 6ДКРН 80/230 (креслення ДП.142.6221м.07.03). Визначено, що головний двигун 6ДКРН 80/230 може забезпечити необхідні експлуатаційні параметри судна та достатньо добре розміщується в приміщенні машинному відділенні контейнеровозу.

У другому розділі встановлено основні параметри робочого циклу модернізованого малообертового двигуна 6ДКРН 80/230, значення яких наведені у таблиці.

**Таблиця 1. Основні параметри модернізованого головного суднового двотактного двигуна 6ДКРН 80/230**

| № з. п. | Параметр, позначення та розмірність                           | Значення |
|---------|---------------------------------------------------------------|----------|
| 1       | Ефективна потужність, $N_e$ , кВт                             | 21600    |
| 2       | Питома ефективна витрата палива, $g_e$ г/(кВт·год)            | 170      |
| 3       | Середній ефективний тиск, $p_e$ , МПа                         | 1,8      |
| 4       | Ефективний КПД, $\eta_e$                                      | 0,49     |
| 5       | Максимальний тиск згоряння, $P_z$ , МПа                       | 15,66    |
| 6       | Максимальна температура згоряння, $T_z$ , К                   | 1551,8   |
| 7       | Тиск наддуву $P_k$ , МПа                                      | 3,67     |
| 8       | Витрата газів через турбіну, $G_t$ , кг/с                     | 47,053   |
| 9       | Витрата повітря, $G$ кг/с                                     | 46,009   |
| 10      | Максимальна швидкість наростання тиску, $dP/d\phi$ , МПа/град | 4,94     |
| 11      | Емісія диму за шкалою Хартриджа                               | 2,0522   |
| 12      | Емісія диму за шкалою Бош                                     | 0,224    |
| 13      | Коефіцієнт абсолютного світло поглинання ВГ по ЄЕК, 1/м       | 0,048    |
| 14      | Емісія твердих часток, РМ, г/(кВт·год)                        | 0,042    |
| 15      | Емісія двоокису вуглецю, $CO_2$ , г/(кВт·год)                 | 550,62   |
| 16      | Емісія $NO_x$ приведена до $NO_2$ , г/(кВт·год)               | 2,76     |
| 17      | Комплекс сумарної емісії $NO_x$ та РМ, SE                     | 0,53     |

З наведених у таблиці результатів розрахунку видно, що модернізований малообертовий двигун 6ДКРН 80/230 з паливною системою з гідравлічним приводом за енергетичними, економічними та екологічними показниками переважає двигун-прототип. Зокрема, питома ефективна витрата палива знизилась на 3

г/(кВт· год), що є досить суттєво, а ефективна потужність збільшилася на 2880 кВт (15,4 %). Максимальне значення температури ( $T_z = 1551,8$  K) не перевищує рекомендованої межі по екологічному допуску за нормами викидів  $\text{NO}_x$ , а максимальний тиск згоряння ( $P_z = 15,66$  МПа) відповідає межам, що мають місце для ДВЗ з аналогічним тиском наддуву.

У третьому розділі було виконано динамічний розрахунок сил, що діють на кривошипно-шатунний механізм головного суднового малообертового двигуна 6ДКРН 80/230 та розрахунок на міцність основних деталей КШМ.

У четвертому розділі досліджено можливі шляхи модернізації паливної системи малообертового двигуна 6ДКРН 80/230, розроблено принципову схему паливної системи з паливним насосом високого тиску з гідравлічним приводом плунжеру та електронним керуванням паливоподачі. Розраховано параметри та спроектовано основні елементи ПНВТ з гідравлічним приводом плунжера та форсунки. Згідно з виконаним розрахунком діючи механічні навантаження на елементи ПНВТ та паливної форсунки знаходяться у допустимих межах. Креслення системи керуючого масла для гідравлічного приводу, паливний насос високого тиску, аксиально-плунжерний масляний насос високого тиску та золотниковий розподільник паливного насосу представлені на аркушах формату А1 (креслення ДП.142.6221м.07.04, ДП.142.6221м.07.05, ДП.142.6221м.07.06 та ДП.142.6221м.07.07).

Технологічна частина роботи присвячена процес монтажу головного суднового двигуна 6ДКРН 80/230 (креслення ДП.142.6221м.07.08). У техніко-економічному обґрунтуванні проекту виконано теоретичну оцінку економічної доцільності у модернізації паливної системи головного суднового двигуна 6ДКРН 80/230. За даними розрахунку річний економічний ефект для споживача від використання на судні модернізованого малообертового двигуна 6ДКРН 80/23, у порівнянні з серійним складає 3347969,983 грн при чому модернізація серійного двигуна окупиться усього за 0,14 року. У розділах цивільної оборони та охорони праці виконано розрахунки та запропоновано рекомендації щодо забезпечення надійної та безпечної роботи персоналу, головного двигуна й судна в цілому.

|             |      |                 |        |      |                       |  |  |  |                          |  |      |         |
|-------------|------|-----------------|--------|------|-----------------------|--|--|--|--------------------------|--|------|---------|
|             |      |                 |        |      | ДП.142.6221м.07.10.ПЗ |  |  |  |                          |  |      |         |
|             |      |                 |        |      |                       |  |  |  |                          |  |      |         |
| Змн.        | Арк. | № докум.        | Підпис | Дата |                       |  |  |  |                          |  |      |         |
| Студент.    |      | Мелконян Л.Т.   |        |      | Література            |  |  |  | Літ.                     |  | Арк. | Акрушів |
| Консультант |      |                 |        |      |                       |  |  |  |                          |  |      |         |
| Керівник    |      | Митрофанов О.С. |        |      |                       |  |  |  | НУК<br>ім. адм. Макарова |  |      |         |
|             |      |                 |        |      |                       |  |  |  |                          |  |      |         |
|             |      |                 |        |      |                       |  |  |  |                          |  |      |         |

## Список використаної літератури

1. Дизели: Справочник / Под ред. *В.А. Ваншейдта, Н.Н. Иванченко, Л.К. Коллерова*. – 3-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение, 1977. – 480 с.
2. *Дьяченко Н.Х.* Теория двигателей внутреннего сгорания. Л., Машиностроение, (Ленингр. отд-ние), 1974. – 552с.
3. Судовые двигатели внутреннего сгорания: Учебник / *Ю.Я. Фомин, А.И. Горбань, В.В. Добровольский, А.И. Лукин* и др. – Л.: Судостроение, 1989. – 344 с.
4. *Хандов З.А.* Судовые двигатели внутреннего сгорания. – М.: Транспорт, 1969. – 364 с.
5. *Истомин П.А.* Динамика судовых двигателей внутреннего сгорания. – Л.: Судостроение. 1964. – 288 с.
6. Двигатели внутреннего сгорания. Теория поршневых и комбинированных двигателей. Под ред. *Орлина А.С., Круглова М.Г.* – М.: Машиностроение. 1983. – 372 с.
7. *Ваншейдт В. А.* Конструирование и расчёты прочности судовых дизелей. – Л.: Судостроение. 1969. – 640 с.
8. Балакин В.И., Еремеев А.Ф., Семёнов Б.Н., Топливная аппаратура быстроходных дизелей. Издательство Машиностроение Ленинградское отделение Ленинград, 1967. – 300 с.
9. Топливо и топливные системы судовых дизелей. Пахомов Ю.А., Коробков Ю.П., Дмитриевский Е.В., Васильев Г.Л. – М.: РКонсульт, 2004 – 496 с.
10. Расчет экономической эффективности новой техники на машиностроительных предприятиях/ *В.А. Корчагин* и др. – К.: Техника, 1980. – 104 с.
11. Охрана труда, техника безопасности и пожарная профилактика/ *В.А. Шнацкий* и др. – Л.: Судостроение, 1976.
12. *Атаманюк В.Г., Ширшев Л.Г., Акимов Н.И.* Гражданская оборона: Учебник для вузов / Под ред. *Д.И. Михайлика*. – М.: Высш. шк., 1986. – 207 с., ил.
13. Защита объектов народного хозяйства от оружия массового поражения: Справочник / Под ред. *Г.П. Демиденко*. – К.: Вища шк. Головне вид-во, 1987. – 256 с.
14. *Кульчицкий А.Р.* Токсичность автомобильных и тракторных двигателей: Учебное пособие. – Владимир: Владим. гос. ун-т, 2000. – 256 с.

|    |      |          |        |      |                       |      |
|----|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|    |      |          |        |      | ДП.142.6221м.07.10.ПЗ | Лист |
| Зм | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |