

Міністерство освіти і науки України  
Національний університет кораблебудування  
імені адмірала Макарова  
Машинобудівний навчально-науковий інститут

Кафедра двигунів  
внутрішнього згоряння,  
установок та технічної  
експлуатації

«Допущений до захисту»  
В.о. завідувача кафедри  
Гогоренко О. А.

  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024р.

# **КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

## **ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ СУДНОВОГО ДВИГУНА ТИПУ 6ЧН 18/22**

Спеціальність 142 – Енергетичне машинобудування  
Освітня програма – Двигуни внутрішнього згоряння

Для здобуття другого (магістерського) рівня вищої освіти

Керівник роботи



Ю. Л. Мошенцев

Здобувач освіти



А. С. Войнов

Миколаїв 2024

Національний університет кораблебудування  
імені адмірала Макарова

Інститут, факультет Машинобудівний навчально-науковий  
Кафедра Двигунів внутрішнього згорання, установок та технічної експлуатації  
Ступінь Магістр  
Спеціальність 142 Енергетичне машинобудування  
(шифр і назва)  
Освітня програма Двигуни внутрішнього згорання

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
Завідувач кафедри ДВЗ, У та ТЕ  
О. А. Гогоренко  
«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ року

**З А В Д А Н Н Я**  
**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧЕВІ ОСВІТИ**

Войнову Артему Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження системи охолодження суднового двигуна типу  
6ЧН 18/22

2. Керівник роботи канд. техн. н., проф. Мошенцев Ю. Л.  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від “\_\_\_” \_\_\_\_\_ 20\_\_ року №\_\_\_\_\_

3. Строк подання здобувачем роботи \_\_\_\_\_

4. Вихідні дані до роботи Двигун прототип – 6ЧН 18/22, потужність двигуна – 300  
кВт; частота обертання колінчатого валу – 1000 хв<sup>-1</sup>; ПК – 2,0; паливо – дизельне

5. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Опис двигуна 6ЧН 18/22 та штовхача – буксира; Розрахунок робочого  
циклу двигуна 6ЧН 18/22 і його теплового балансу; Розрахунки систем охолодження  
що порівнюються, і вибір найкращої; Розрахунок теплообмінних апаратів для  
найкращої системи; Розміщення теплообмінників на судні та двигуні; Детальний  
опис масляного охолоджувача; Забезпечення вимог охорони праці

6. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)  
Двигун 6ЧН 18/22; Штовхач – буксир; Схеми систем охолодження; Графіки змін  
мас серцевин при змінах температур; Трасування системи охолодження на судні;  
Детальне креслення масляного охолоджувача

7. Консультанти розділів роботи

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата   |                  |
|--------|-------------------------------------------|----------------|------------------|
|        |                                           | завдання видав | завдання прийняв |
| 1      | канд. техн. н., проф. Мошенцев Ю. Л.      | 01.10.2024     | 01.10.2024       |
| 2      | канд. техн. н., проф. Мошенцев Ю. Л.      | 10.10.2024     | 10.10.2024       |
| 3      | канд. техн. н., проф. Мошенцев Ю. Л.      | 20.10.2024     | 20.10.2024       |
| 4      | канд. техн. н., проф. Мошенцев Ю. Л.      | 05.11.2024     | 05.11.2024       |
| 5      | канд. техн. н., проф. Мошенцев Ю. Л.      | 15.11.2024     | 15.11.2024       |
| 6      | канд. техн. н., проф. Мошенцев Ю. Л.      | 25.11.2024     | 25.11.2024       |
| 7      | канд. техн. н., проф. Мошенцев Ю. Л.      | 10.12.2024     | 10.12.2024       |
|        |                                           |                |                  |

8. Дата видачі завдання\_\_\_\_\_

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів роботи  | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|----------------------|-------------------------------|----------|
| 1     | Оформлення 1 розділу | 07.10.2024                    |          |
| 2     | Оформлення 2 розділу | 18.10.2024                    |          |
| 3     | Оформлення 3 розділу | 26.10.2024                    |          |
| 4     | Оформлення 4 розділу | 13.11.2024                    |          |
| 5     | Оформлення 5 розділу | 23.11.2024                    |          |
| 6     | Оформлення 6 розділу | 01.12.2024                    |          |
| 7     | Оформлення 7 розділу | 13.12.2024                    |          |
|       |                      |                               |          |
|       |                      |                               |          |
|       |                      |                               |          |
|       |                      |                               |          |
|       |                      |                               |          |
|       |                      |                               |          |
|       |                      |                               |          |
|       |                      |                               |          |

Здобувач освіти

Керівник роботи

\_\_\_\_\_

(підпис)

\_\_\_\_\_

(прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_

(підпис)

\_\_\_\_\_

(прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

В кваліфікаційній роботі виконане дослідження системи охолодження для суднового двигуна типу 6ЧН 18/22, потужністю 300 кВт та 1000 хв<sup>-1</sup>.

В роботі виконані розрахунки робочого циклу двигуна, розрахунки теплового балансу двигуна. Досліджені три можливих системи охолодження для двигуна та обрана найкраща з трьох наданих. Був проведений розрахунок теплообмінних апаратів обраної системи та виконана розробка розміщення їх на судні та двигуні. Спроектований масляний охолоджувач для обраної системи. Наведені заходи щодо забезпечення охорони праці у машинному відділенні штовхача – буксира.

Кваліфікаційна робота виконана українською мовою на 101 сторінці розрахунково-пояснювальної записки. Графічна частина представлена на 7 кресленнях формату А1. Використано 10 джерел.

*Ключові слова:* двигун внутрішнього згоряння, теплоносій внутрішнього контуру, масляний теплообмінник, система охолодження, дизельне паливо.

In the qualification work, a study of the cooling system for a marine engine of the 6ЧН 18/22 type with a capacity of 300 kW and 1000 rpm was carried out.

The work includes calculations of the engine operating cycle and calculations of the engine heat balance. Three possible cooling systems for the engine were investigated and the best of the three presented was chosen. The heat exchangers of the selected system were calculated and their placement on the vessel and the engine was developed. An oil cooler for the selected system was designed. Measures to ensure labour protection in the engine room of the ship are presented.

The qualification work is performed in Ukrainian on 101 pages of the calculation and explanatory note. The graphic part is presented in 7 drawings of A1 format. 10 sources were used.

Keywords: internal combustion engine, internal circuit coolant, oil heat exchanger, cooling system, diesel fuel.

|     |      |         |         |      |                     |      |
|-----|------|---------|---------|------|---------------------|------|
|     |      |         |         |      | КРМ.142.6221м.02.ПЗ | Лист |
|     |      |         |         |      |                     | 2    |
| Изм | Лист | № докум | Подпись | Дата |                     |      |

## ЗМІСТ

|                                                                                               |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Вступ.....</b>                                                                             | <b>5</b>  |
| <b>Розділ 1. Двигун для якого розробляється система охолодження та його застосування.....</b> | <b>6</b>  |
| <b>Розділ 2. Розрахунок робочого циклу двигуна і його теплового балансу.....</b>              | <b>13</b> |
| <b>Розділ 3. Розрахунки систем охолодження, що порівнюються, і вибір найкращої.....</b>       | <b>19</b> |
| 3.1. Відомості щодо розрахунку і оптимізації системи.....                                     | 19        |
| 3.2. Системи, надані кафедрою для оптимізації та вибору найкращої.....                        | 20        |
| 3.2.1. Система 2В2НПР.....                                                                    | 20        |
| 3.2.2. Система 2В2НД.....                                                                     | 21        |
| 3.2.3. Система 2ВНП.....                                                                      | 22        |
| 3.3. Методика розрахунку наданих систем та їх оптимізація.....                                | 23        |
| 3.3.1. Розрахунок системи 2В2НПР.....                                                         | 23        |
| 3.3.2. Результат оптимізації системи 2В2НПР.....                                              | 25        |
| 3.3.3. Розрахунок системи 2В2НД.....                                                          | 38        |
| 3.3.4. Результат оптимізації системи 2В2НД.....                                               | 39        |
| 3.3.5. Розрахунок системи 2ВНП.....                                                           | 50        |
| 3.3.6. Результат оптимізації системи 2ВНП.....                                                | 52        |
| 3.4. Аналіз графіків систем.....                                                              | 64        |
| <b>Розділ 4. Розрахунок теплообмінних апаратів для системи типу 2В2НПР.....</b>               | <b>66</b> |
| 4.1. Розрахунок теплообмінників д системі типу 2В2НПР.....                                    | 67        |
| 4.1.1. Розрахунок теплообмінника ОНП.....                                                     | 67        |
| 4.1.2. Розрахунок теплообмінника МО.....                                                      | 70        |
| 4.1.3. Розрахунок теплообмінника Г.....                                                       | 72        |
| 4.1.4. Розрахунок теплообмінника ВВО1,2.....                                                  | 75        |
| <b>Розділ 5. Розміщення теплообмінників на судні та двигуні.....</b>                          | <b>81</b> |
| <b>Розділ 6. Детальний опис масляного охолоджувача.....</b>                                   | <b>85</b> |
| 6.1. Опис конструкції.....                                                                    | 86        |

|     |      |         |         |      |                     |      |
|-----|------|---------|---------|------|---------------------|------|
|     |      |         |         |      | КРМ.142.6221м.02.ПЗ | Лист |
|     |      |         |         |      |                     | 3    |
| Изм | Лист | № докум | Подпись | Дата |                     |      |

|                                                                  |            |
|------------------------------------------------------------------|------------|
| 6.2. Схема, загальний вид і основні особливості конструкції..... | 86         |
| 6.3. Деталі конструкції.....                                     | 89         |
| <b>Розділ 7. Охорона праці.....</b>                              | <b>94</b>  |
| <b>Загальний висновок по проекту.....</b>                        | <b>99</b>  |
| <b>Список використаної літератури.....</b>                       | <b>101</b> |

|     |      |         |         |      |                     |      |
|-----|------|---------|---------|------|---------------------|------|
|     |      |         |         |      | КРМ.142.6221м.02.ПЗ | Лист |
|     |      |         |         |      |                     |      |
| Изм | Лист | № докум | Подпись | Дата |                     | 4    |

## ВСТУП

Згідно з завданням кафедри треба зробити найкращу систему охолодження двигуна типу 6ЧН 18/22. Двигун має тиск наддуву  $p_1 = 200\ 000$  Па при 1000 об/хв колінчастого валу.

Ціллю є дослідження найкращої системи охолодження з трьох, наданих кафедрою. Цільовою функцією буде вартість та габарити системи при однаковому рівні вартості обслуговування.

Собівартість кольорового металу для виготовлення серцевин теплообмінників постійно зростає. Це можна пояснити тим, що зменшуються джерела видобутку сировини, а також збільшенням ціни на ресурси для виготовлення виробів, зокрема на паливо. Таким чином, зменшення вартості систем охолодження та їх теплообмінників є дуже актуальною задачею для замовника та виробника.

Для вирішення поставленої задачі треба довести кожен з наданих систем до оптимуму, а потім порівняти параметри оптимізованих систем для вибору найкращої. Відповідні розрахунки будуть зроблені за наданими програмами розрахунків. Потім на цій основі будуються криві для пошуку оптимального результату. По результатах оптимізації будуть встановлені параметри системи та усіх її теплообмінників.

Дослідження можливості зменшення габаритів, вартості та ваги системи охолодження для певного двигуна та певного машинного відділення може бути використано для аналізу можливостей вдосконалення систем охолодження певного спрямування та призначення.

|     |      |         |         |      |                     |      |
|-----|------|---------|---------|------|---------------------|------|
|     |      |         |         |      | КРМ.142.6221м.02.ПЗ | Лист |
|     |      |         |         |      |                     |      |
| Изм | Лист | № докум | Подпись | Дата |                     | 5    |

# РОЗДІЛ №1

## ДВИГУН ТА СУДНО ДЛЯ ЯКИХ РОЗРОБЛЯЄТЬСЯ СИСТЕМА ОХОЛОДЖЕННЯ

Двигун 6ЧН 18/22 (рис.1.1 – 1.2) являє собою чотиритактний, наддувний, однорядний вертикальний, нереверсивний дизельний двигун. Випускаються в шестициліндровому і восьмициліндровому виконанні. Старт дизеля здійснюється за допомогою стисненого повітря, балони зі стисненим повітрям для старту розташовані окремо від двигуна. Тиск пускового повітря 1,6 – 3,0 МПа, наповнення балонів у судових дизелів виконується повітряним компресором реверс-редуктора, Охолодження двигуна виконано у вигляді двоконтурної системи, передача потужності на гребний гвинт здійснюється через реверс-редуктор.

Головні судові двигуни мають додатковий відбір потужності на привід судових механізмів через муфту на передній частині колінчастого вала. Для можливості застосування дистанційного вмикання застосовано конструкцію муфти з гідравлічним керуванням. На задній частині двигуна знаходиться з'єднання дизеля з реверс-редуктором або електричним генератором.

Система охолодження - замкнута двоконтурна, має терморегулятор для автоматичного регулювання температури води. Є насоси зовнішнього і внутрішнього контурів охолодження, водоводяний і водомасляний охолоджувач, розміщені в загальному корпусі. Турбокомпресор, втулки і кришки циліндрів охолоджуються прісною водою, а вода внутрішнього контуру, мастило і наддувне повітря охолоджуються забортною водою. Температура води внутрішнього контуру і масла підтримується в певних межах за допомогою терморегуляторів.

Паливна система дизеля охоплює паливопідкачувальний насос, здвоєний фільтр тонкого очищення палива. Крім цього в системі є золотниковий насос високого тиску, блокової конструкції. Він встановлений на бічній стінці блоку циліндрів і приводиться в дію від валика приводу через пластинчасту муфту. Паливо подається в циліндри форсунками закритого типу, обладнаними системою гідрозапору.

|     |      |         |         |      |                        |      |
|-----|------|---------|---------|------|------------------------|------|
|     |      |         |         |      | КРМ.142.6221м.02.01.ПЗ | Лист |
|     |      |         |         |      |                        |      |
| Изм | Лист | № докум | Подпись | Дата |                        | 6    |

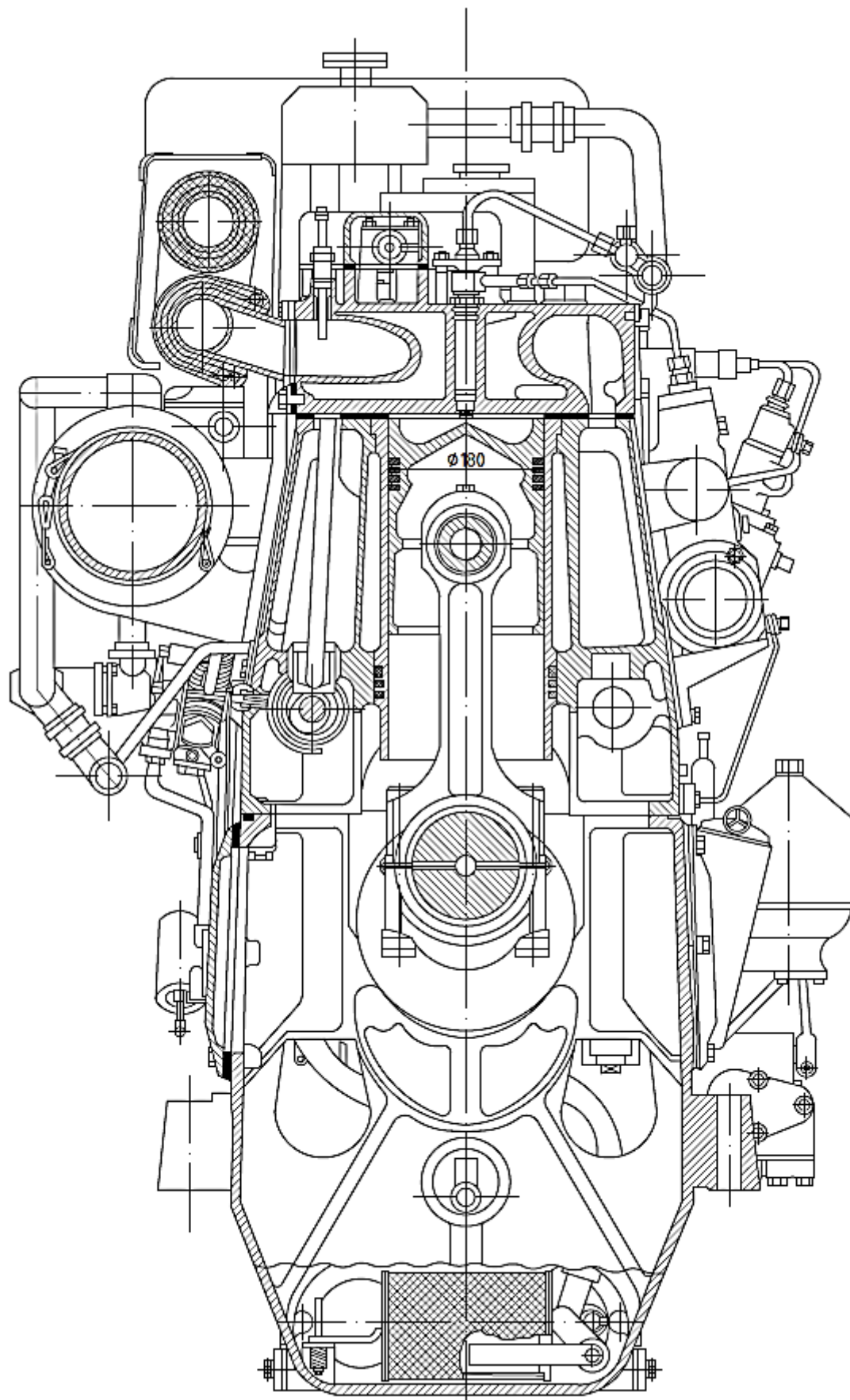


Рис.1.1. Поперечний розріз двигуна 6ЧН 18/22

|     |      |         |         |      |
|-----|------|---------|---------|------|
|     |      |         |         |      |
| Изм | Лист | № докум | Подпись | Дата |

КРМ.142.6221м.02.01.ПЗ

Лист

7

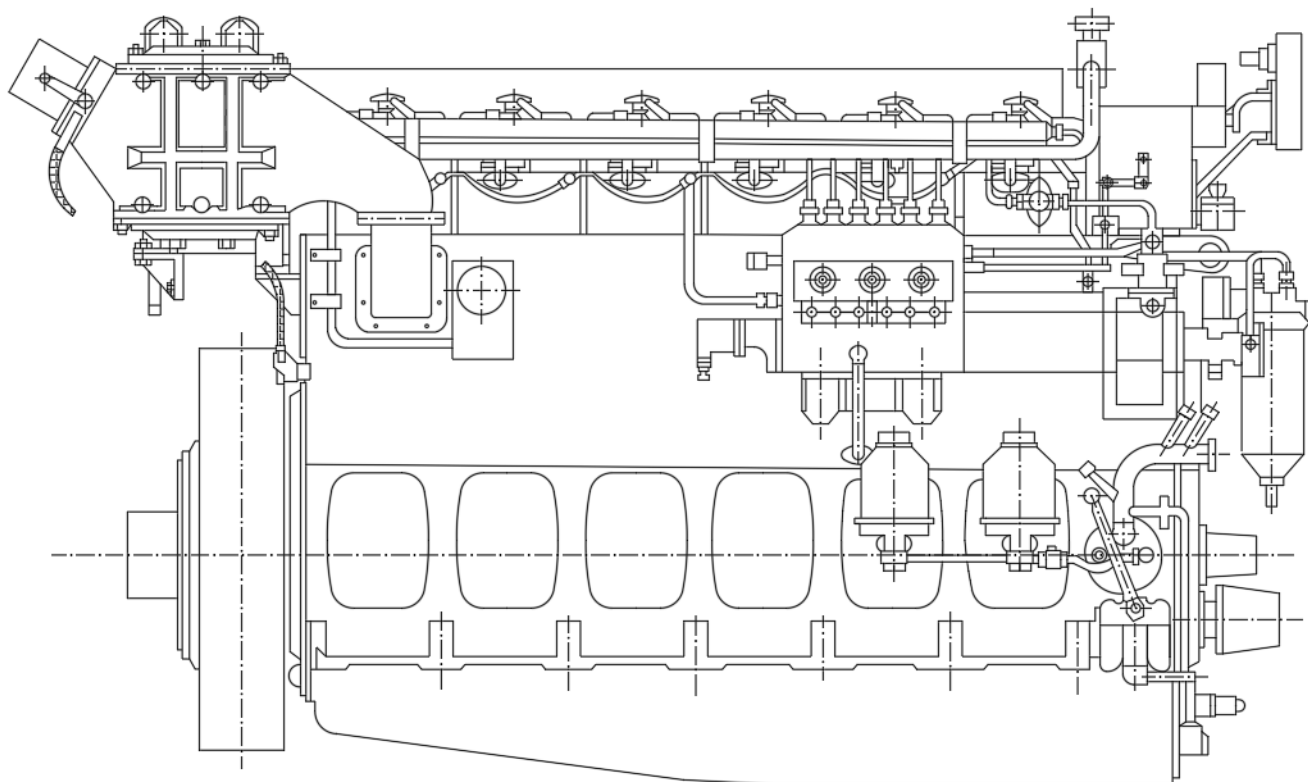


Рис.1.2. Продольне креслення двигуна 6ЧН 18/22

Встановлюється цей двигун на штовхач – буксир типу РТ – 600 проекту 1741 в якості головного двигуна.

Штовхач – буксир має характеристики наближені до типу РТ – (Речной Толкач). Це судно належить до проекту 1741 (рис.1.3 – 1.4), яка має підвищену потужність силової установки.

Усі буксири-штовхачі які належать до типу РТ, а також РП, БТТ є теплоходами. Вони побудовані за двогвинтовою схемою, кожен гвинт приводиться в дію своїм головним двигуном. Машинне відділення розташоване приблизно в середині судна, трохи ближче до корми. Надбудова розташована також приблизно в середині судна, трохи ближче до носа. Корпус у передній частині може мати носові упори для штовхання барж і вантажних складів. Для швидкого зчленування з баржею, що штовхається, судна можуть мати в носовій частині автоматичне зчеплення і дві швартових лебідки. У кормовій частині встановлено буксирну лебідку з електроприводом і дві швартові лебідки. Як рушії використовуються гребні гвинти в насадках.

### Основні габаритні параметри штовхача – буксира

Довжина, м: 32,95

|     |      |         |         |      |                        |      |
|-----|------|---------|---------|------|------------------------|------|
|     |      |         |         |      | КРМ.142.6221м.02.01.ПЗ | Лист |
|     |      |         |         |      |                        | 8    |
| Изм | Лист | № докум | Подпись | Дата |                        |      |

Ширина, м: 8,52

Висота від ОЛ до верху незнімних частин, м: 12,6

### **Основні розрахункові параметри штовхача – буксира**

Довжина, м: 31

Ширина, м: 8

Висота борту, м: 2,7

Висота надводного борту, м: 1,18

Повна водотоннажність, т: 252

Осадка при водотоннажності 252 т, м:

Середня, м: 1,5

Носом, м: 1,49

Автономність, доба: 20

Максимальна швидкість, км: 19

Екіпаж, осіб: 11

### **Технічні та експлуатаційні характеристики**

Тип двигуна: дизельний двигун 6ЧН 18/22

Потужність: 2х300 кВт при 1000 об/хв

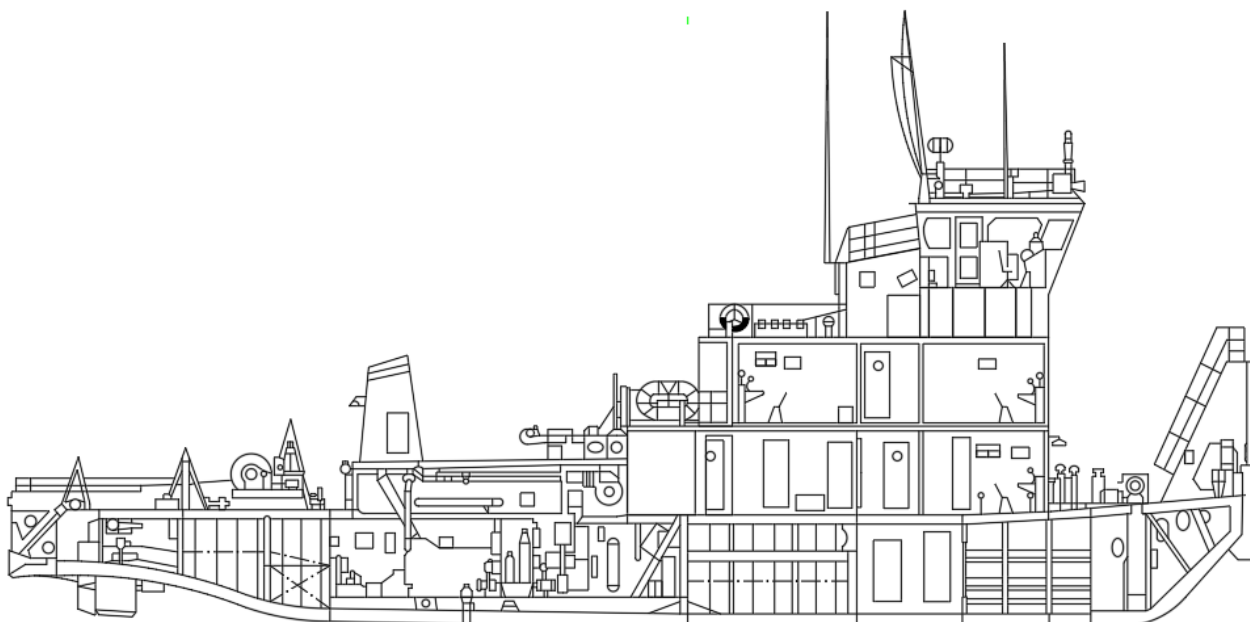


Рис.1.3. Продольний розріз штовхача – буксира

|     |      |         |         |      |                        |      |
|-----|------|---------|---------|------|------------------------|------|
|     |      |         |         |      | КРМ.142.6221м.02.01.ПЗ | Лист |
|     |      |         |         |      |                        | 9    |
| Изм | Лист | № докум | Подпись | Дата |                        |      |

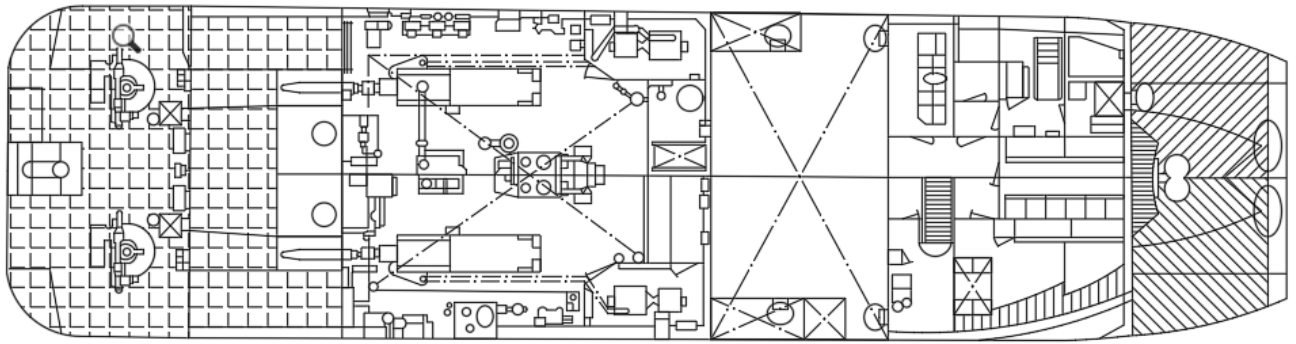


Рис.1.4. Продольний розріз зверху штовхача – буксира

### Екологічні характеристики:

Двигун 6ЧН 18/22 що застосовується на цьому судні характеризується звичайним підвищеним рівнем викидів шкідливих речовин у порівнянні з сучасними двигунами. Завдяки замкнутій системі охолодження, забруднення навколишнього середовища є помірним.

### Висновок:

Буксир – штовхач, оснащений двигунами 6ЧН 18/22, є непоганим буксиром який пристосований для водіння несамохідних плавзасобів та плавучих споруд попереду себе. Буксирування штовханням економічно вигідніше буксирування на тросі за рахунок різкого зниження опору води, буксирувані судна також не гальмуються кільватерним струменем від гребного гвинта буксирного судна.

Штовхання забезпечує в порівнянні з буксируванням збільшення тяги до 20 % і покращує керованість составом.

Основні особливості його застосування на буксирі – штовхачи:

- **Маневреність:** Двигун 6ЧН 18/22 може забезпечити необхідну маневреність, щоб ефективно працювати в портах та вузьких акваторіях.
- **Економічність:** Цей двигун є відносно економічним при високих робочих навантаженнях, що робить його непоганим варіантом для постійної експлуатації.
- **Потужність:** Двигун 6ЧН 18/22 забезпечує високу потужність і крутний момент, необхідний для буксирування і штовхання важких вантажів на воді

Для двигунів 6ЧН 18/22 існують параметри його роботи в трьох основних режимах: максимальний, номінальний, холостий хід.

- **Максимальний режим:** до 330 кВт і 1050 – 1100 об/хв
- **Номінальний режим:** 300 кВт і 1000 об/хв
- **Режим холостого ходу:** від 15 до 30 кВт і 300 – 400 об/хв

Найбільший у часі відповідає номінальний режим роботи, відповідно всі розрахунки системи охолодження будуть виконані для номінального режиму.

Доцільність застосування виконаних розробок полягає в тому, що всі елементи машинного відділення буксира - штовхача повинні бути компактними для того щоб він міг виконувати своє призначення найкращим чином. Крім того виробнику цього судна потрібно щоб усі елементи виробу мали найменшу вартість, бо це відповідає максимальному прибутку виробника. Таким чином система охолодження, яка буде мати мінімальні габарити і вартість буде відповідати умовам виробництва і застосування.

Особливості розміщення двигуна у машинному приміщенні об'єкту показано на рис.1.4.

### **Приміщення**

Машинне відділення буксира – штовхача проекту 1741 — це спеціальне приміщення, де розміщуються основні силові установки судна. Воно розташоване в центральній частині судна, трохи ближче до корми і призначене для розміщення двигунів, систем управління, охолодження та інших важливих механізмів.

### **Основне обладнання:**

- **Двигун 2х6ЧН 18/22:** основний дизельний двигун, що забезпечує рух судна.
- **Реверсивний редуктор:** дозволяє змінювати напрямок обертання гребних валів.
- **Система охолодження:** рідинна система, що використовує морську воду для підтримання оптимальної температури двигуна.
- **Масляна система:** для змащення рухомих частин двигуна, що забезпечує їхню довговічність.

|     |      |         |         |      |                        |      |
|-----|------|---------|---------|------|------------------------|------|
|     |      |         |         |      | КРМ.142.6221м.02.01.ПЗ | Лист |
|     |      |         |         |      |                        | 11   |
| Изм | Лист | № докум | Подпись | Дата |                        |      |

- **Система осушення:** призначена для відкачування великих кількостей води з осушувальних відсіків.
- **Балластна система:** На судні є 2 баластні цистерни. Носова ємність 40 м<sup>3</sup> і кормова цистерна ємністю 46 м<sup>3</sup>. Заповнення проводиться пожежним насосом через загальну пожежну магістраль по спец. передбаченим для цієї мети відросткам.
- **Система водопостачання:** Призначена для постачання гарячої та холодної питної води для особового складу судна і подачі на санітарно-побутові потреби.
- **Стічно-фанова система:** Стічна система призначена для спуску стічних вод від раковин, мийки, умивальників і шпигатів у фекальну цистерну, встановлену в корпусі судна по лівому борту.
- **Система опалення:** Система обслуговується котлом, призначенням якого є також і підігрів в'язких нафтопродуктів.
- **Рульовий пристрій:** Рульова гідравлічна машина з приводним насосом від вала відбору потужності головного нереверсивного двигуна, призначена для забезпечення підвищених маневрених якостей судна і полегшення роботи рульового.
- **Пожежна система:** Пожежна система призначена для гасіння пожежі на судна. Забортна вода забирається пожежним насосом із забортного ящика і подається трубопроводами до пожежних різків насосом.

#### **Вимоги до розміщення обладнання:**

- **Безпека:** обладнання встановлюється так, щоб забезпечити безпечну експлуатацію судна, у тому числі стійкість до впливу річної води і вібрацій.
- **Легкість обслуговування:** доступ до основних вузлів і механізмів повинен бути зручним для проведення ремонтів і технічного обслуговування.

|     |      |         |         |      |                        |      |
|-----|------|---------|---------|------|------------------------|------|
|     |      |         |         |      | КРМ.142.6221м.02.01.ПЗ | Лист |
|     |      |         |         |      |                        | 12   |
| Изм | Лист | № докум | Подпись | Дата |                        |      |

## РОЗДІЛ №2

### РОЗРАХУНОК РОБОЧОГО ЦИКЛУ ДВИГУНА І ЙОГО ТЕПЛОВОГО БАЛАНСУ.

Розрахунковий цикл поршневого двигуна внутрішнього згоряння значно відрізняється від ідеальних циклів. У розрахунковому циклі:

- змінюється кількість робочого тіла під час згоряння палива, склад робочого тіла (співвідношення між чистими продуктами згоряння і повітрям), термодинамічні властивості робочого тіла;
- хімічна енергія палива виділяється не миттєво через кінцеву швидкість згоряння і дисоціацію продуктів згоряння;
- у процесі розширення відбувається догоряння палива та асоціація продуктів згоряння;
- робоче тіло має змінні теплоємності, які залежать від складу газів і температури газів;
- є теплові втрати та аеродинамічні втрати під час наповнення циліндра повітрям.

Моделювання робочого циклу було виконано в математичному комплексі Blitz-Pro, доступ до якого був наданий кафедрою.

Blitz-Pro - це програмне забезпечення для онлайн-симуляції робочого циклу двигуна внутрішнього згоряння. Програма доступна через інтернет-браузер і не має жодних інсталяційних дистрибутивів чи локальних файлів. Розрахунок циклу проводиться для подальшого розрахунку теплового балансу двигуна.

Результат розрахунку циклу показаний у таблиці 2.1. Індикаторна діаграма показана на рис.2.1

**Таблиця 2.1 Результат розрахунку циклу в математичному комплексі Blitz-Pro**

| Parameter                | Data      | Units | Caption            |
|--------------------------|-----------|-------|--------------------|
| Brake engine performance |           |       |                    |
| $P_b$                    | 300.00758 | kW    | Brake output power |
| $n_{crank}$              | 1000      | rpm   | Crank speed        |

## Продовження таблиці 2.1

|          |            |          |                                            |
|----------|------------|----------|--------------------------------------------|
| $\alpha$ | 2.49475    | -        | Air excess ratio                           |
| $q_f$    | 0.336      | g/cycle  | Fuel mass per 1 cycle (main fuel)          |
| $T_o$    | 2864.86134 | N·m      | Brake output torque                        |
| $p_o$    | 1071.77753 | kPa      | Brake mean effective pressure              |
| $P_{fr}$ | 38.5705    | kW       | Power of friction losses                   |
| $p_{fr}$ | 137.79318  | kPa      | Mean effective pressure of friction losses |
| $\eta_o$ | 41.82141   | %        | Brake efficiency                           |
| $\eta_m$ | 87.4388    | %        | Mechanical efficiency                      |
| $b_o$    | 201.59322  | g/(kW·h) | Brake specific fuel consumption            |

### Indicated engine performance

|            |            |          |                                                                         |
|------------|------------|----------|-------------------------------------------------------------------------|
| $P_{i,g}$  | 343.10578  | kW       | Gross indicated power (compression&expansion strokes)                   |
| $P_{i,n}$  | 338.57808  | kW       | Net indicated power (over entire cycle)                                 |
| $P_{pump}$ | -4.5277    | kW       | Pumping strokes power                                                   |
| $p_{i,g}$  | 1225.74592 | kPa      | Gross indicated mean effective pressure (compression&expansion strokes) |
| $p_{i,n}$  | 1209.57071 | kPa      | Net indicated mean effective pressure (over entire cycle)               |
| $\eta_i$   | 47.82935   | %        | Indicated efficiency (uses gross indicated data)                        |
| $b_i$      | 176.2707   | g/(kW·h) | Indicated specific fuel consumption (uses gross indicated data)         |

### Gas exchange

|                     |          |      |                                     |
|---------------------|----------|------|-------------------------------------|
| $G_{int}$           | 0.60106  | kg/s | Intake valves(ports) mass flow      |
| $G_{exh}$           | 0.61785  | kg/s | Exhaust valves(ports) mass flow     |
| $G_{turb}$          | 0.6184   | kg/s | Exhaust gases turbine gas mass flow |
| $G_{WG}$            | 0        | kg/s | Waste-gate gas mass flow            |
| $\eta_v$            | 98.70284 | %    | Volumetric efficiency               |
| $V_r$               | 0.53806  | %    | Residual gases fraction             |
| $\Phi_a$            | 1.04322  | -    | Scavange factor                     |
| $\varepsilon_{act}$ | 14.27755 | -    | Actual compression ratio            |
| $R_{crank}$         | 110      | mm   | Crank radius (calculated)           |

### Pressures&Temperatures

|                   |             |     |                                                                             |
|-------------------|-------------|-----|-----------------------------------------------------------------------------|
| $p_{max}$         | 10698.29392 | kPa | Maximum incylinder absolute pressure                                        |
| $t_{max}$         | 1404.56813  | °C  | Maximum incylinder temperature                                              |
| $t_{max, fresh}$  | 719.4831    | °C  | Maximum incylinder temperature for fresh charge zone                        |
| $t_{max, burned}$ | 2726.86146  | °C  | Maximum incylinder temperature for burned gases zone                        |
| $p_{comp}$        | 8243.82635  | kPa | Maximum compression pressure (predicted if fuel ignition starts before TDC) |
| $p_{ign}$         | 8242.85275  | kPa | Firing pressure                                                             |
| $t_c$             | 932.90329   | °C  | Firing temperature                                                          |

|               |           |     |                                              |
|---------------|-----------|-----|----------------------------------------------|
| $t_c$         | 932.90329 | °C  | Firing temperature                           |
| $p_{exh, op}$ | 657.19741 | kPa | Exhaust opening pressure                     |
| $t_{exh, op}$ | 925.82773 | °C  | Exhaust opening temperature                  |
| $p_{int}$     | 100.95    | kPa | Intake air pressure (after intake filter)    |
| $t_o$         | 40        | °C  | intake air temperature                       |
| $p_k$         | 208.99174 | kPa | Compressed air pressure (after supercharger) |

## Продовження таблиці 2.1

|                     |           |     |                                                                                                |
|---------------------|-----------|-----|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $t_k$               | 128.32765 | °C  | Compressed air temperature (after supercharger)                                                |
| $p_s$               | 204.97503 | kPa | Receiver pressure (after air cooler)                                                           |
| $t_s$               | 50.67903  | °C  | Receiver temperature (after air cooler)                                                        |
| $p_t$               | 186.557   | kPa | Exhaust manifold pressure (at the turbine enter)                                               |
| $t_t$               | 445.1786  | °C  | Exhaust manifold temperature (at the turbine enter)                                            |
| $p_{zt}$            | 104.3     | kPa | Exhaust pipe pressure (at the turbine exit)                                                    |
| $t_{zt}$            | 361.27461 | °C  | Exhaust pipe temperature (at the turbine exit)                                                 |
| $\Delta p_{res.fr}$ | 0.00667   | kPa | Friction pressure losses at the intake receiver (added to the CAC or intake filter resistance) |
| $\Delta p_{exh.fr}$ | 0.09602   | kPa | Friction pressure losses at the exhaust manifold (added to the exhaust system backpressure)    |

### Supercharger performance (first stage supercharger)

|                  |          |                 |                                                            |
|------------------|----------|-----------------|------------------------------------------------------------|
| $\Pi_{cmpr}$     | 2.0712   | -               | Pressure increase ratio for compressor                     |
| $\Pi_{turb}$     | 1.78701  | -               | Pressure drop ratio for turbine                            |
| $P_{cmpr}$       | 54.99631 | kW              | Power for driving the compressor                           |
| $P_{turb}$       | 55.03647 | kW              | Power of the turbine                                       |
| $\eta_{cmpr.ad}$ | 80       | %               | Adiabatic efficiency of the supercharger                   |
| $\eta_{e.t}$     | 80       | %               | Efficiency of the turbine (includes mechanical efficiency) |
| $\mu F_t$        | 2250     | mm <sup>2</sup> | Turbine equivalent flow area                               |
| $\mu F_{WG}$     | 0.0      | mm <sup>2</sup> | Equivalent flow area for waste-gate                        |

### Accuracy of calculations

|                     |         |   |                                                   |
|---------------------|---------|---|---------------------------------------------------|
| $\delta \rho_{cyl}$ | 0.00406 | % | Accuracy of incylinder density calculations       |
| $\delta \rho_{res}$ | 0.04974 | % | Accuracy of receiver density calculations         |
| $\delta \rho_{exh}$ | 0.02235 | % | Accuracy of exhaust manifold density calculations |
| $\delta \Pi_k$      | 0.04567 | % | Accuracy of pressure increase ratio calculations  |
| $\delta P_{TC}$     | 0.073   | % | Accuracy of turbocharger power balance            |
| $N_{it}$            | 34      | - | Number of executed iterations                     |
| $N_{nodes}$         | 1487    | - | Mesh size                                         |
| $t_{compute}$       | 28.419  | s | Computation time                                  |
| $t_{total}$         | 49.931  | s | Total execution time                              |

**Висновок:** у ході розрахунку циклу двигуна, ми отримали такі параметри двигуна:  $T_k$ ,  $T_s$ ,  $T_t$ ,  $P_s$ ,  $P_k$ ,  $G$ ,  $G_t$  та інші, які надають змогу рахувати тепловий баланс.

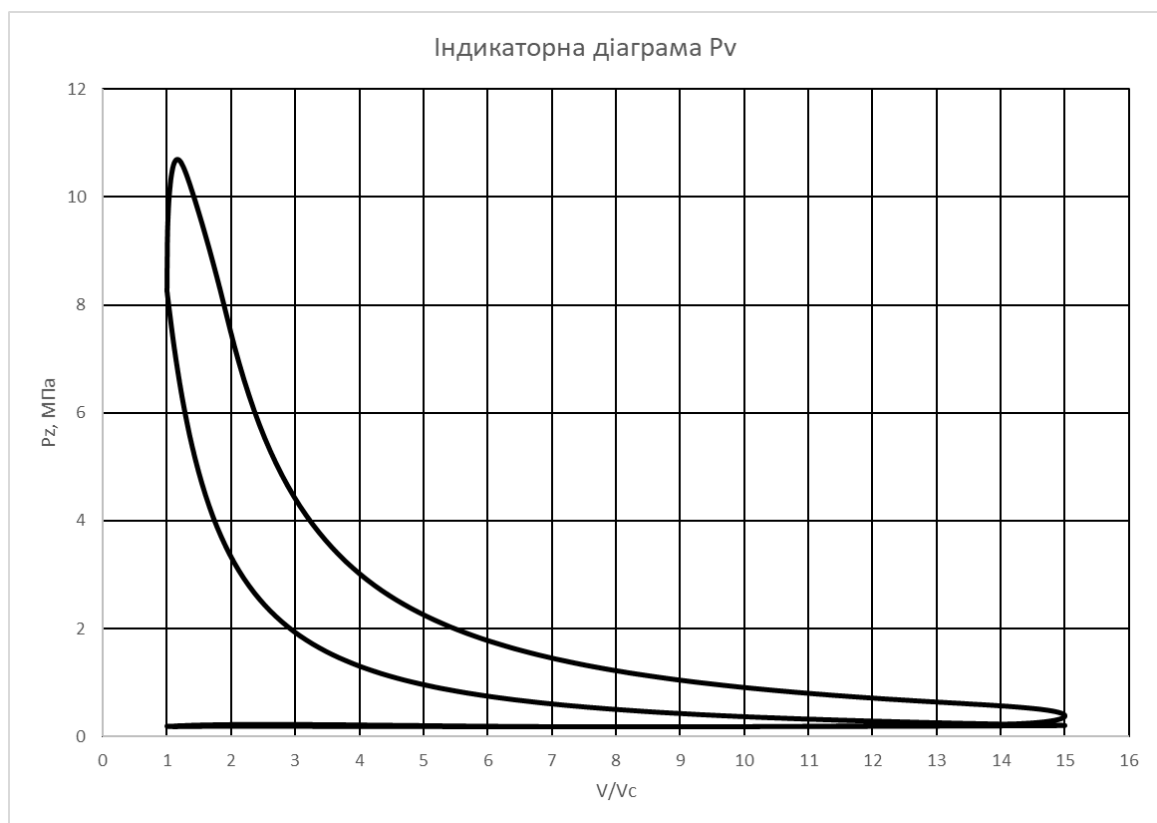


Рис.2.1. Індикаторна діаграма двигуна 6ЧН18/22

Для подальшого розрахунку системи охолодження був виконаний приблизний розрахунок теплового балансу. Розрахунок балансу двигуна був наданий кафедрою в середовищі Excel. Результат розрахунку показаний в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 Результат розрахунку теплового балансу

| № п/п | Позначення                          | Спосіб визначення або формула   | Значення | Найменування                              |
|-------|-------------------------------------|---------------------------------|----------|-------------------------------------------|
| 1.1.  | $D$ , м                             | Згідно завдання на проектування | 0,18     | Діаметр циліндра                          |
| 1.2.  | $S$ , м                             |                                 | 0,22     | Хід поршня                                |
|       | $i$                                 |                                 | 6        | Число циліндрів                           |
|       | $Z$                                 |                                 | 0,5      | Коефіцієнт тактності                      |
|       | $Ne$ , кВт                          |                                 | 300      | Ефективна потужність                      |
| 1.3.  | $n$ , об/мин                        |                                 | 1000     | Обороти колінчастого вала                 |
|       | $P_k$                               |                                 | 2,0      | Ступінь підвищення тиску в компресорі     |
| 1.5.  | $g_e$ , кг/кВт·ч                    |                                 | 0,2      | Питома витрата палива                     |
|       | $\eta_e$                            |                                 | 0,42     | Ефективний ККД двигуна                    |
|       | $g_{w, \text{кг/кВт}\cdot\text{ч}}$ |                                 | 70       | Питома витрата води в системі охолодження |
|       | $T_o$ , К                           |                                 | 313      | Температура навколишнього повітря         |
|       | $P_o$ , МПа                         |                                 | 0,1013   | Тиск навколишнього повітря                |
|       | $T_{w1}$ , К                        |                                 | 323      | Температура води на вході в ОНВ           |

Продовження табл. 2.2.

|       |                     |                                                                                                                                |         |                                                                                             |
|-------|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
|       | $\psi$              |                                                                                                                                | 0,9     | Відношення тисків $p_t/p_k$                                                                 |
| 1.17. | $\eta_{ад}$         |                                                                                                                                | 0,8     | Адіабатний ККД компресора                                                                   |
|       | $\eta_{адт}$        |                                                                                                                                | 0,8     |                                                                                             |
| 1.18. | $\eta_{ох}$         |                                                                                                                                | 0,95    | ККД охолоджувача наддувочного повітря                                                       |
|       | $P_k$ , МПа         |                                                                                                                                | 0,208   | Тиск повітря за компресором                                                                 |
| 1.19. | $P_s$ , МПа         |                                                                                                                                | 0,204   | Тиск повітря за ОНВ                                                                         |
| 1.21. | $T_k$ , К           |                                                                                                                                | 401     | Температура повітря за компресором                                                          |
| 1.22. | $T_s$ , К           |                                                                                                                                | 324     | Температура повітря за ОНВ                                                                  |
|       | $T_t$ , К           |                                                                                                                                | 718     | Температура газів перед турбіною                                                            |
|       | $k_t$               |                                                                                                                                | 1,382   | Показник адіабати для газів                                                                 |
|       | $R_t$               |                                                                                                                                | 287,52  | Питома газова стала для газів                                                               |
| 1.25. | $G$ , кг/с          |                                                                                                                                | 0,618   | Масова витрата повітря                                                                      |
|       | $G_t$ , кг/с        |                                                                                                                                | 0,618   | Масова витрата газів                                                                        |
|       | $\Delta T_{мд}$ , К |                                                                                                                                | 7,00    | Перепад температур масла на дизелі                                                          |
|       | $a$                 |                                                                                                                                | 0,12    | Частка тепла в оливу, що охолоджує поршні (від тепла, що відводиться в охолоджувальну воду) |
|       | $Q_\Sigma$          | $Q_\Sigma = \frac{N_e}{\eta_e}$                                                                                                | 717,7   | Повний тепловий потік, підведений у двигуні                                                 |
|       | $C_{pr}$ , Дж/кгК   | $C_{pr} = \frac{k_t}{k_t - 1} R_t$                                                                                             | 1048,18 |                                                                                             |
|       | $T_{tt}$            | $T_{tt} = T_{t1} \cdot \left[ \frac{1}{\frac{k_t - 1}{k_t} \left( \frac{\psi \cdot P_k}{P_0} \right)^{\frac{1}{k_t}}} \right]$ | 605,91  | Температура газів за турбіною адіабатна                                                     |
|       | $T_{zt}$ , К        | $T_{zt} = T_t - \eta_{адт} (T_t - T_{tt})$                                                                                     | 628,33  | Температура за турбіною дійсна                                                              |
|       | $Q_\Gamma$ , кВт    | $Q_\Gamma = I_\Gamma - I_B = G C_{pr} T_{zt} - G C_p T_0$                                                                      | 209,81  | Тепловий потік у відхідні гази                                                              |
|       | $Q_w$ , кВт         | $Q_w = Q_\Sigma - Q_\Gamma - N_e - Q_{но} - Q_{пм} =$<br>$Q_\Sigma - Q_\Gamma - N_e - Q_{но} - a Q_w$                          |         | До виведення виразу для $Q_w$ ; $Q_{пм}$ - тепловий потік у масло, що охолоджує поршні      |
|       | $Q_{нб}$ , кВт      | $Q_{нб} \approx 0,01 Q_\Sigma$                                                                                                 | 7,18    | Небаланс тепла                                                                              |
|       | $Q_w$ , кВт         | $Q_w = (Q_\Sigma - Q_\Gamma - N_e - Q_{но}) / (1 + a)$                                                                         | 179,21  | Тепловий потік від робочого тіла в зарубашечну воду                                         |
|       | $Q_{пм}$ , кВт      | $Q_{пм} = a Q_w$                                                                                                               | 21,5    | Тепловий потік у масло, що охолоджує поршні                                                 |
|       | $Q_m$ , кВт         | $Q_m \approx 0,5 Q_w$                                                                                                          | 89,6    | Витрата тепла в масло                                                                       |
|       | $G_w$ , т/час       | $G_{wt} = N_e g_w / 1000$                                                                                                      | 21      | Витрата води насосом, т/год                                                                 |

Продовження табл. 2.2.

|  |                            |                                               |       |                                       |
|--|----------------------------|-----------------------------------------------|-------|---------------------------------------|
|  | $G_w, \text{кг/с}$         | $G_w = G_{w_T} / 3,6$                         | 5,83  | Витрата води насосом, кг/с            |
|  | $\Delta T_{w_d}, \text{К}$ | $\Delta T_{w_d} = \frac{Q_w}{c_{p_w} G_w}$    | 7,33  | Перепад температур води на дизелі     |
|  | $G_M, \text{кг/с}$         | $G_M = \frac{Q_M}{c_{p_M} \Delta T}$          | 5,82  | Витрата масла насосом                 |
|  | $Q_\Sigma, \text{кВт}$     | $Q_\Sigma = Q_r + Q_w + Q_{pm} + Q_{no} + Ne$ | 717,7 | Перевірка теплового потоку від палива |

**Висновок:** у ході розрахунку теплового балансу ми отримали такі данні:  $Q_w$ ,  $Q_H$ ,  $Q_M$ ,  $Q_z$ ,  $G_{wg}$ ,  $G_{zh}$ ,  $G_{zm}$ ,  $G_{zz}$ ,  $G_{ww}$ , які дозволять нам почати рахувати систему охолодження.

## РОЗДІЛ №3

### РОЗРАХУНКИ СИСТЕМ ОХОЛОДЖЕННЯ, ЩО ПОРІВНЯЮТЬСЯ, І ВИБІР НАЙКРАЩОЇ.

#### 3.1. Відомості щодо розрахунку і оптимізації систем

Системи охолодження, як і теплообмінники, мають розраховуватись. Аналогічно розрахункам теплообмінників можна сформулювати зміст розрахунку. Він повинен складатися з прямої, зворотної та оптимізаційної задач, які будуть спільними для систем будь-яких схем.

Основою для прямого розрахунку схеми системи охолодження є система рівнянь, вона складається з:

- рівнянь теплових балансів всіх теплообмінників і всієї системи охолодження в цілому;
- рівнянь для визначення теплових потоків у системі,
- рівняння теплового балансу у точці змішування потоків води на вході в насос;
- рівнянь матеріальних балансів у точках роз'єднання та злиття потоків ТНК та ТВК;
- рівнянь для ККД усіх теплообмінників,
- виразів зв'язку між ККД усіх теплообмінників та їх NTU,
- виразів зв'язку між NTU та масами серцевини  $M_i$  всіх теплообмінників.

Зворотний розрахунок робиться тоді, коли відомі точно усі конструктивні дані теплообмінників, які зроблені на виробництві з певними відхиленнями від розрахунків. Розрахунок частіше за все робиться для номінального режиму, але не виключається його застосування на інших режимах роботи, якщо відомі усі початкові параметри.

Оптимізація систем пов'язана з поліпшенням їх основних параметрів. Найбільш доцільно для цього забезпечити найменшу вагу і габарити системи. Це, в основному, відповідає найменшій сумарній вазі серцевин теплообмінників  $M_{\Sigma}$ .

## 3.2 Системи, надані кафедрою для оптимізації та вибору найкращої

### 3.2.1 Система 2В2НПР

На рис. 3.1 показана схема системи. Особливістю системи є відокремлення циркуляційного контуру ОНП на номінальному режимі. В системі можна виділити наступні циркуляційні контури.

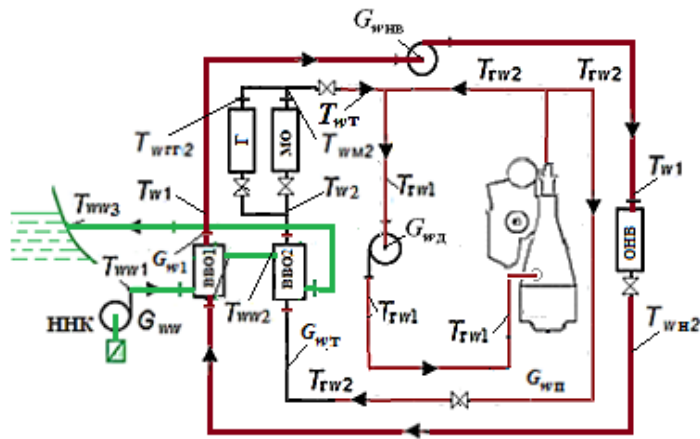


Рис.3.1. Схема системи типу 2В2НПР: 2 ВВО, 2 Насоси ТВК, скидання гарячого ТВК на охолодження Після двигуна, з виділенням контуру ОНП із системи (Роздільна схема). ОНП – охолоджувач наддувного повітря; МО – охолоджувач циркуляційного масла; Г – охолоджувач гідравлічної рідини; ВВО1,2 – охолоджувач ТВК; НВК1,2 – насос ТВК; ННК – насос ТНК (заборотної води);  $T_{wm,n,t2}$  – температури ТВК у маловитратному контурі: за ОНП, МО, Г та всіма теплообмінниками;  $T_{gw2}$ ,  $T_{w1}$  - те саме, але перед ВВО і за ВВО;  $T_{gw1,2}$  – температури ТВК у повнопоточному контурі до та після двигуна;  $T_{wwi}$  – температури ТНК;  $G_{wd,p,v,m,n}$  - витрати ТВК через двигун, перепуск, ВВО, МО, ОНВ;  $G_{ww}$  – витрата ТВК через ВВО.

Контур з ОНП відокремлений на номінальному режимі. В цей контур входить ОНП, один ВВО та насос який прокачує ТНК, ТВК прокачується насосом заборотної води. Цей циркуляційний контур можна віднести до малорозхідних бо в точці оптимуму розхід ТВК порівняно невеликий. Відповідно ОНП та ВВО1 мають велику кількість ходів по ТВК і невелику швидкість цього теплоносія.

Контур з двигуном та іншими теплообмінниками є об'єднаними. Об'єднується повнопотоковий циркуляційний контур у який входить двигун і малорозхідний циркуляційний контур у який входять ВВО2, МО, Г. Гарячий теплоносій з повнопотокового контуру у невеликій кількості скидається на ВВО2 після двигуна. Охолоджений у ВВО2 ТВК надходить до МО та Г де охолоджує відповідні рідини, а далі цей ТВК іде до повнопотокового контуру, на вхід до циркуляційного насосу. Тут він змішується з ТВК, що йде після двигуна, в результаті чого маємо температуру ТВК, необхідну для входу в двигун. Ця вода надходить у двигун і описаний вище процес повторюється.

### 3.2.2 Система 2В2НД

На рис. 3.2 показана схема системи 2В2НД. Особливістю системи є скидання гарячого ТВК на охолодження до двигуна. В системі можна виділити наступні циркуляційні контури.

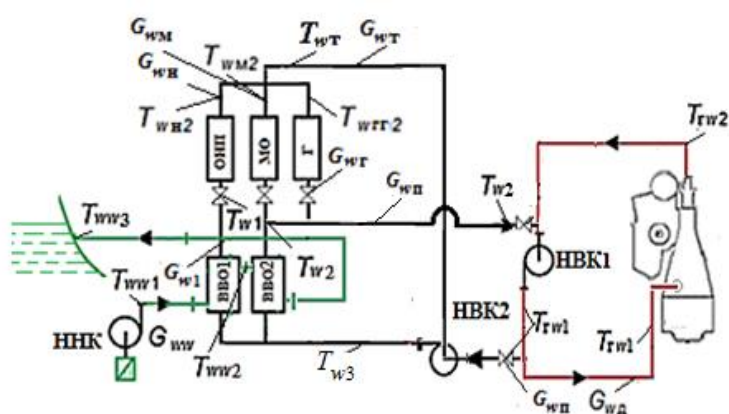


Рис.3.2. Схема системи типу 2В2НД: 2 ВВО, 2 Насоса ТВК, а скидання гарячого ТВК на охолодження виконується До двигуна.  $T_{w3}$  - температура ТВК перед ВВО, всі інші позначення збігаються з рис. 3.1.

Контур де знаходиться головний двигун, називають повнопотоковим, а контур де знаходяться усі теплообмінники, називається малорозхідним. При роботі двигуна, частина потоку ТВК після охолодження двигуна з повнопотокового контуру надходить на насос НБК1 до малорозхідного контуру на насос НБК2, де надходить у ВВО1 і ВВО2. Регулювання подачі потоку ТВК на НБК2 регулюється за допомогою клапана. Охолоджений ТВК після ВВО1 та ВВО2 йде на

оохолодження ОНП, МО, Г. Розхід ТВК через кожен теплообмінник встановлюється, з допомогою клапанів. Після проходження теплообмінників друга частина потоку ТВК, йде на насос НВК2, де заново йде до ВВО1 та ВВО2. Після проходження ВВО1 та ВВО2 потік ТВК з ВВО2 надходять до у насосу НВК1, де він змішується з другою, неохолодженою частиною потоку до двигуна. Потік який йде з ВВО2 до ТВК1 регулюється клапаном. Потік з пониженою температурою йде з двигуна, до насосу НВК1 де повторюється вже описаний процес.

### 3.2.3. Система 2ВНП

На рис. 3.3 показана схема системи.2ВНП. Принцип її роботи можна описати наступним чином.

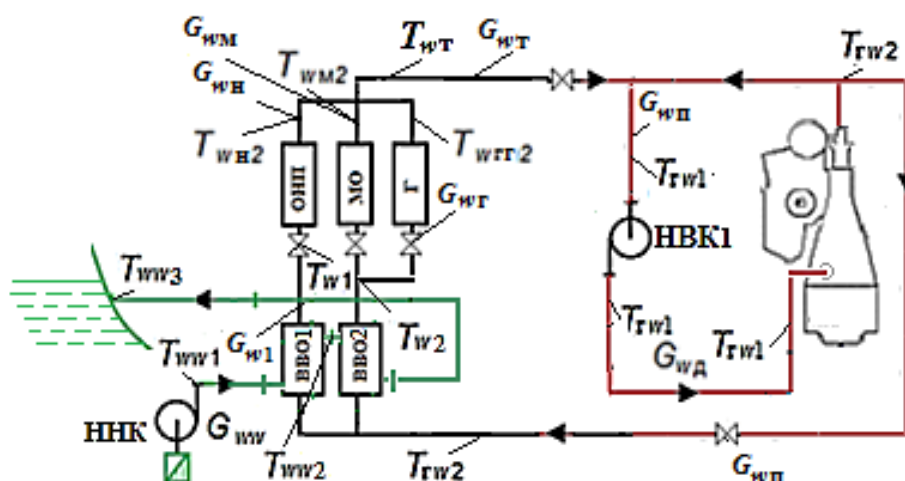


Рис.3.3. Схема системи типу 2ВНП: 2 ВВО, Насос ТВК, скидання гарячого ТВК на охолодження Після двигуна; позначення збігаються з рис. 3.1.

Червоною лінією показаний контур де знаходиться головний двигун, цей контур називають повнопотоквим, а чорною лінією показаний контур де знаходяться усі теплообмінники, він називається малорозхідним. При роботі двигуна, перша частина потоку ТВК після охолодження двигуна з повнопотоквого контуру надходить до малорозхідного контуру, де охолоджується у ВВО1 і ВВО2. Охолоджений ТВК охолоджує масло, наддувне повітря і гідравлічну рідину. Розхід ТВК через кожен теплообмінник встановлюється, згідно розрахунку, з допомогою клапанів. Друга частина потоку ТВК, яка більше першої, теж після охолодження

двигуна, без охолодження зовсім, йде на вхід насосу НВК, де змішується з потоком після всіх теплообмінників. Після проходження теплообмінників потоки ТВК змішуються, і єдиний потік надходить до входу у насос НВК, де він змішується з другою, неохолодженою частиною потоку після двигуна, в результаті чого температура потоку на виході насосу знижується. Потік з пониженою температурою надходить до двигуна, а на виході з нього повторюється вже описаний процес.

### 3.3. Методика розрахунку наданих систем та їх оптимізація

Розрахунок усіх трьох систем охолодження був виконаний в середовищі Excel. Виконувалися послідовно серії прямих розрахунків для кожної системи. При розрахунках були незмінні параметри, які були пов'язані з температурами теплоносіїв які потрібно підтримувати при роботі двигуна. Крім того, до незмінних параметрів були віднесені ті, які пов'язані з циклом двигуна (розхід повітря, газів, теплові потоки у воду, масло, наддувне повітря, т.п) копії таблиць с незмінними параметрами для кожної системи надаються нижче. Змінні параметри пов'язувались з змінними розходами ТВК через всі теплообмінники. Ці змінні параметри були дещо різними для кожної системи і вони були однозначно пов'язані з температурами ТВК за кожним теплообмінником. Оптимізація систем охолодження забезпечується через регулювання розходу через гілки, що утворюються послідовним включенням теплогерел (ОНП, МО, Г) та теплорозсіювачів (ВВО1 та ВВО2). Зміна розходів через ці ланцюжки супроводжується зміною температур ТВК за ними. У алгоритмі розрахунків систем використовується саме зміна температур ТВК, а не розходів, бо так вигідно для побудови найпростішого алгоритму розрахунку. Копії таблиць з змінними параметрами для кожної системи теж надані нижче.

#### 3.3.1. Розрахунок системи 2В2НПР

Вхідні дані взяті з циклу та теплового балансу. Копія таблиці з такими даними приведена у табл. 3.1.1

|     |      |         |         |      |                        |      |
|-----|------|---------|---------|------|------------------------|------|
|     |      |         |         |      | КРМ.142.6221м.02.03.ПЗ | Лист |
|     |      |         |         |      |                        |      |
| Изм | Лист | № докум | Подпись | Дата |                        | 23   |

Таблиця. 3.1.1 Вхідні дані для розрахунків теплової схеми системи 2В2НПР

|    |           |       |     |                                                                           |            |         |                                                  |
|----|-----------|-------|-----|---------------------------------------------------------------------------|------------|---------|--------------------------------------------------|
| 1  | $n$       | об/хв |     |                                                                           | 1000       |         | Частота вращения коленвала                       |
| 2  | $Ne$      | кВт   |     |                                                                           | 300        |         | Мощность ГД                                      |
| 3  | $T_0$     | К     | °C  |                                                                           | 313        | 40      | Воздух перед компрессором                        |
| 4  | $P_0$     | Па    |     |                                                                           | 100000     |         | Воздух перед компрессором                        |
| 5  | $T_{w1}$  | К     | °C  |                                                                           | 298        | 25      | Заб. вода перед ВВО                              |
| 6  | $P_{a1}$  |       |     |                                                                           | 0,890      |         |                                                  |
| 7  | $P_1$     | Па    |     |                                                                           | 200000,000 |         | Давление воздуха после компрессора               |
| 8  | $T_{k1}$  | К     | °C  | $T_{k1} = T_{a1} \left( 1 + \frac{P_{k1}^{0,286} - 1}{\eta_{a1}} \right)$ | 398,784    | 125,784 | $T_1$ или $T_k$ воздух за компрессором           |
| 9  | $T_s$     | К     | °C  |                                                                           | 323,000    | 50,0    | $T_2$ или температура воздуха за ОНВ             |
| 10 | $T_{fw2}$ | К     | °C  |                                                                           | 378        | 105     | Температура воды за главным двигателем           |
| 11 | $T_{fw2}$ | К     | °C  |                                                                           | 378        | 105     | Температура воды за вспомогательными двигателями |
| 12 | $T_{r1}$  | К     | °C  |                                                                           | 363        | 90      | Гидравлич. масло на выходе из системы            |
| 13 | $T_{pm1}$ | К     | °C  |                                                                           | 363        | 90      | Масло на выходе из двигателя или входе в МО      |
| 14 | $Q_{fw}$  | кВт   | 476 | Заданы                                                                    | 179,2      |         | Тепловод в зарубашечную воду                     |
| 15 | $Q_{fm}$  | кВт   | 122 |                                                                           | 86,6       |         | Тепловод в масло                                 |
|    | $Q_{fr}$  | кВт   |     |                                                                           | 20,0       |         | Тепловод в гидросмесь                            |
| 16 | $Q_{fn}$  | кВт   |     |                                                                           | 50,2       |         | Теплоподвод от ОНВ                               |
| 21 | $G_{fwd}$ | кг/с  |     | $Q_{fn} = W_n(T_1 - T_2)$                                                 | 5,83       |         | Расход воды через двигатель                      |
| 22 | $G_{fn}$  | кг/с  |     |                                                                           | 0,618      |         | Расход наддувочного воздуха                      |
| 23 | $G_{fm}$  | кг/с  |     |                                                                           | 5,82       |         | Расход масла                                     |
|    | $G_{fr}$  |       |     |                                                                           | 2          |         | Расход гидравлической жидкости                   |
| 25 | $G_{wv}$  | кг/с  |     |                                                                           | 5,83       |         | Расход заб. воды через ВВО                       |
| 26 | $Z_n$     | шт    |     |                                                                           | 1          |         | Число ОНВ                                        |

Початкові дані щодо теплообмінників. Копія таблиці з такими даними приведена у табл. 3.1.2.

Таблиця. 3.1.2. Вихідні дані для теплообмінників системи 2В2НПР

|    |             |          |  |  |         |            |                                           |
|----|-------------|----------|--|--|---------|------------|-------------------------------------------|
|    | <b>ОНВ</b>  |          |  |  |         |            |                                           |
|    | схема       |          |  |  | 3       | 3          |                                           |
|    | $Z$         |          |  |  | 1       | 1          |                                           |
|    | $b_{w1}$    |          |  |  | 20      | 20         |                                           |
|    | $b_{w2}$    |          |  |  | 1       | 1          |                                           |
|    | $k_{p1}$    | Br/ter-K |  |  | 237,17  | 237,17     |                                           |
|    | <b>ВВО1</b> |          |  |  | 4040,00 | 4040       |                                           |
|    | схема       |          |  |  | 1       | 1          |                                           |
|    | $b_w$       |          |  |  | 52      | 52         |                                           |
|    | $b_{wv}$    |          |  |  | 1       | 1          |                                           |
|    | $b_p$       |          |  |  | 2       | 2          |                                           |
|    | $k_{p2}$    | Br/ter-K |  |  | 142,33  | 142,33     |                                           |
| 7  | <b>ВВО2</b> |          |  |  | 4040,00 | 4040       | $C_{p1}$                                  |
| 8  | схема       |          |  |  | 4       | 4          | Вероятна схема 4                          |
| 9  | $b_w$       |          |  |  | 36      | 36         | Число ходов по пресной воде               |
| 10 | $b_{wv}$    |          |  |  | 3       | 3          | Число ходов по заборной воде              |
| 11 | $b_p$       |          |  |  | 2       | 2          | Число противоточных реверсивных элементов |
| 12 | $k_{p2}$    | Br/ter-K |  |  | 180,27  | 180,27     | Коэффициент использования массы пучка     |
|    | <b>Г</b>    |          |  |  | 1925,00 | 1925,72    |                                           |
|    | схема       |          |  |  | 4,00    | 4,00       |                                           |
|    | $b_{w1}$    |          |  |  | 21,00   | 21,00      |                                           |
|    | $b_w$       |          |  |  | 6,00    | 6,00       |                                           |
|    | $b_p$       |          |  |  | 4,00    | 4,00       |                                           |
|    | $k_{p1}$    | Br/ter-K |  |  | 51,19   | 51,19      |                                           |
| 13 | <b>МО</b>   |          |  |  | 1925    | 1925,72205 | $C_{p1}$                                  |
| 14 | схема       |          |  |  | 4       | 4          | Вероятна схема 4                          |
| 15 | $b_{w1}$    |          |  |  | 14      | 14         | Число ходов по маслу                      |
| 16 | $b_w$       |          |  |  | 5       | 5          | Число ходов по пресной воде               |
| 17 | $b_p$       |          |  |  | 4       | 4          | Число противоточных реверсивных элементов |
| 18 | $k_{p1}$    | Br/ter-K |  |  | 55,93   | 55,93      | Коэффициент использования массы пучка     |

Дані температур ТВК. Копія цих даних приведена у табл. 3.1.3.

Таблиця. 3.1.3. Вхідні дані температур ТВК системи 2В2НПР

|    |           |   |    |                       |         |        |                          |
|----|-----------|---|----|-----------------------|---------|--------|--------------------------|
| 26 | $T_{w12}$ | К | °C |                       | 339,5   | 66,50  | Вода за МО               |
|    | $T_{w12}$ | К | °C |                       | 339,5   | 66,50  | Вода за Г                |
| 28 | $T_{w12}$ | К | °C | Задается произвольно  | 361,00  | 88,00  | Вода за ОНВ              |
|    | $T_{w1}$  | К | °C |                       | 311,000 | 38,000 | Вода за В1 и перед ОНВ   |
| 29 |           |   |    | Задается и уточняется |         |        |                          |
|    | $T_{w2}$  | К | °C |                       | 316,60  | 43,60  | Вода за В2 и перед М и Г |

### 3.3.2 Результати оптимізації системи 2В2НПР

Для оптимізації даної системи виконана низка прямих розрахунків цієї системи з покроковою зміною температур:  $t_{w1}$ ,  $t_{wm2}$ ,  $t_{wh2}$ .

У таблицях 3.1.5 – 3.1.8 наведені результати розрахунків залежностей  $M_{\Sigma}$  від змін температур  $t_{w1}$ ,  $t_{wm2}$ ,  $t_{wh2}$  на завершувальному етапі розрахунків, коли мінімуми  $M_{\Sigma}$  досягли допустимої розбіжності.

Таблиця.3.1.5. Розрахунок впливу  $t_{w1}$  на  $M_{\Sigma}$  при постійних  $t_{wm2}$ ,  $t_{wh2}$

| Результати      |      |             | Вплив tw1 |           |           |           |           |           |           |           |
|-----------------|------|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Параметри       |      |             | 1         |           | 2         |           | 3         |           | 4         |           |
| $Q_w$           | кВт  |             | 179,2     |           | 179,2     |           | 179,2     |           | 179,2     |           |
| $Q_m$           | кВт  |             | 86,6      |           | 86,6      |           | 86,6      |           | 86,6      |           |
| $Q_H$           | кВт  |             | 50,2      |           | 50,2      |           | 50,2      |           | 50,2      |           |
| $G_{wd}$        | кг/с |             | 5,83      |           | 5,83      |           | 5,83      |           | 5,83      |           |
| $G_H$           | кг/с |             | 0,618     |           | 0,618     |           | 0,618     |           | 0,618     |           |
| $G_m$           | кг/с |             | 5,82      |           | 5,82      |           | 5,82      |           | 5,82      |           |
| $G_{\Gamma}$    | кг/с |             | 2         |           | 2         |           | 2         |           | 2         |           |
| $G_{ww}$        | кг/с |             | 5,83      |           | 5,83      |           | 5,83      |           | 5,83      |           |
| $G_{wH}$        | кг/с |             | 0,2139448 |           | 0,2304021 |           | 0,2445083 |           | 0,2662424 |           |
| $G_{wB1}$       | кг/с |             | 0,2139448 |           | 0,2304021 |           | 0,2445083 |           | 0,2662424 |           |
| $G_{wB2}$       | кг/с |             | 1,221957  |           | 1,221957  |           | 1,221957  |           | 1,221957  |           |
| $G_{wM}$        | кг/с |             | 0,9926968 |           | 0,9926968 |           | 0,9926968 |           | 0,9926968 |           |
| $G_{w\Gamma}$   | кг/с |             | 0,2292602 |           | 0,2292602 |           | 0,2292602 |           | 0,2292602 |           |
| $Z$             | шт   |             | 1         |           | 1         |           | 1         |           | 1         |           |
| $T_0$           | $K$  | $^{\circ}C$ | 313       | 40        | 313       | 40        | 313       | 40        | 313       | 40        |
| $P_o$           | Па   |             | 100000    |           | 100000    |           | 100000    |           | 100000    |           |
| $P_1$           | Па   |             | 200000    |           | 200000    |           | 200000    |           | 200000    |           |
| $T_{ww1}$       | $K$  | $^{\circ}C$ | 298       | 25        | 298       | 25        | 298       | 25        | 298       | 25        |
| $T_{ww2}$       | $K$  | $^{\circ}C$ | 300,13135 | 27,131345 | 300,13135 | 27,131345 | 300,13135 | 27,131345 | 300,13135 | 27,131345 |
| $T_{ww3}$       | $K$  | $^{\circ}C$ | 312,26558 | 39,265578 | 312,26558 | 39,265578 | 312,26558 | 39,265578 | 312,26558 | 39,265578 |
| $T_1(T_K)$      | $K$  | $^{\circ}C$ | 398,78356 | 125,78356 | 398,78356 | 125,78356 | 398,78356 | 125,78356 | 398,78356 | 125,78356 |
| $T_2(T_S)$      | $K$  | $^{\circ}C$ | 323       | 50        | 323       | 50        | 323       | 50        | 323       | 50        |
| $T_{\Gamma w1}$ | $K$  | $^{\circ}C$ | 370,66407 | 97,664066 | 370,66407 | 97,664066 | 370,66407 | 97,664066 | 370,66407 | 97,664066 |
| $T_{\Gamma w2}$ | $K$  | $^{\circ}C$ | 378       | 105       | 378       | 105       | 378       | 105       | 378       | 105       |
| $T_{w1}$        | $K$  | $^{\circ}C$ | 305       | 32        | 309       | 36        | 312       | 39        | 316       | 43        |
| $T_{w2}$        | $K$  | $^{\circ}C$ | 322,17969 | 49,179688 | 322,17969 | 49,179688 | 322,17969 | 49,179688 | 322,17969 | 49,179688 |
| $T_{wH2}$       | $K$  | $^{\circ}C$ | 357,50659 | 84,506591 | 357,75612 | 84,75612  | 357,94327 | 84,943267 | 358,1928  | 85,192796 |

Продовження табл. 3.1.5.

|                   |          |             |           |           |           |           |           |           |           |           |
|-------------------|----------|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| $T_{WM2}$         | $K$      | $^{\circ}C$ | 343       | 70        | 343       | 70        | 343       | 70        | 343       | 70        |
| $T_{WГ2}$         | $K$      | $^{\circ}C$ | 343       | 70        | 343       | 70        | 343       | 70        | 343       | 70        |
| $T_{WT}$          | $K$      | $^{\circ}C$ | 343       | 70        | 343       | 70        | 343       | 70        | 343       | 70        |
| $T_{M1}$          | $K$      | $^{\circ}C$ | 363       | 90        | 363       | 90        | 363       | 90        | 363       | 90        |
| $T_{M2}$          | $K$      | $^{\circ}C$ | 355,27027 | 82,270273 | 355,27027 | 82,270273 | 355,27027 | 82,270273 | 355,27027 | 82,270273 |
| $T_{Г1}$          | $K$      | $^{\circ}C$ | 363       | 90        | 363       | 90        | 363       | 90        | 363       | 90        |
| $T_{Г2}$          | $K$      | $^{\circ}C$ | 357,80519 | 84,805195 | 357,80519 | 84,805195 | 357,80519 | 84,805195 | 357,80519 | 84,805195 |
| <b>ОНВ</b>        |          |             |           |           |           |           |           |           |           |           |
| схема             |          |             | 3         | 3         | 3         | 3         | 3         | 3         | 3         | 3         |
| $Z$               |          |             | 1         | 1         | 1         | 1         | 1         | 1         | 1         | 1         |
| $b_{WT}$          |          |             | 14        | 14        | 14        | 14        | 14        | 14        | 14        | 14        |
| $b_{WГ}$          |          |             | 1         | 1         | 1         | 1         | 1         | 1         | 1         | 1         |
| $k_{gHB}$         | Вт/кг·К  |             | 113,87738 | 113,87738 | 113,87738 | 113,87738 | 113,87738 | 113,87738 | 113,87738 | 113,87738 |
| $\eta_{HB}$       |          |             | 0,8618317 | 0,9469612 | 0,9002277 | 0,9469612 | 0,9313475 | 0,9469612 | 0,976349  | 0,9469612 |
| $\Delta p_{HB}$   | мм.в.ст. |             | 129,48655 |           | 129,48655 |           | 129,48655 |           | 129,48655 |           |
| $\Delta p_{WHB}$  | кПа      |             | 16,244967 |           | 16,244967 |           | 16,244967 |           | 16,244967 |           |
| $S_{HB}$          |          |             | 0,6928494 | 0,3740356 | 0,6433602 | 0,3740356 | 0,6062432 | 0,3740356 | 0,556754  | 0,3740356 |
| $M_{HB}$          | кг       |             | 9,8676186 | 7,6796251 | 11,457855 | 8,5916469 | 13,451698 | 9,5417818 | 19,485871 | 11,541489 |
| <b>ВВО1</b>       |          |             |           |           |           |           |           |           |           |           |
| схема             |          |             | 4         | 1         | 4         | 1         | 4         | 1         | 4         | 1         |
| $b_w$             |          |             | 98        | 98        | 56        | 56        | 51        | 51        | 45        | 45        |
| $b_{ww}$          |          |             | 3         | 1         | 3         | 1         | 3         | 1         | 3         | 1         |
| $b_p$             |          |             | 2         | 2         | 2         | 2         | 2         | 2         | 2         | 2         |
| $k_{gB}$          | Вт/кг·К  |             | 170,04943 | 144,98368 | 170,04943 | 140,53799 | 170,04943 | 141,11865 | 170,04943 | 145,06433 |
| $\eta_{B1}$       |          |             | 0,8888889 | 0,8888889 | 0,8253968 | 0,8253968 | 0,7777778 | 0,7777778 | 0,7142857 | 0,7142857 |
| $\Delta p_{WB1}$  | кПа      |             |           | 37,018863 |           | 37,018863 |           | 37,018863 |           | 37,018863 |
| $\Delta p_{WWB1}$ | кПа      |             |           | 54,19129  |           | 54,19129  |           | 54,19129  |           | 54,19129  |
| $S_{B1}$          |          |             | 0,0380597 | 0,0380597 | 0,0409874 | 0,0409874 | 0,0434968 | 0,0434968 | 0,0473632 | 0,0473632 |
| $k_{D1}$          |          |             | 0,14      |           | 0,14      |           | 0,14      |           | 0,14      |           |
| $M_{B1}$          | 0        |             | 13,9017   | 13,9017   | 12,254354 | 12,254354 | 11,154673 | 11,154673 | 9,8350556 | 9,8350556 |
| <b>ВВО2</b>       |          |             |           |           |           |           |           |           |           |           |
| схема             |          |             | 4         | 4         | 4         | 4         | 4         | 4         | 4         | 4         |
| $b_w$             |          |             | 16        | 16        | 16        | 16        | 16        | 16        | 16        | 16        |
| $b_{ww}$          |          |             | 5         | 5         | 5         | 5         | 5         | 5         | 5         | 5         |
| $b_p$             |          |             | 4         | 4         | 4         | 4         | 4         | 4         | 4         | 4         |
| $k_{gB}$          | Вт/кг·К  |             | 57,327567 | 57,327567 | 57,327567 | 57,327567 | 57,327567 | 57,327567 | 57,327567 | 57,327567 |
| $\eta_{B2}$       |          |             | 0,7168521 | 0,7168521 | 0,7168521 | 0,7168521 | 0,7168521 | 0,7168521 | 0,7168521 | 0,7168521 |
| $\Delta p_{WB2}$  | кПа      |             |           | 37,018863 |           | 37,018863 |           | 37,018863 |           | 37,018863 |
| $\Delta p_{WWB2}$ | кПа      |             |           | 54,19129  |           | 54,19129  |           | 54,19129  |           | 54,19129  |
| $S_{B2}$          |          |             | 42,804347 | 0,0380597 | 42,804347 | 0,0409874 | 42,804347 | 0,0434968 | 42,804347 | 0,0473632 |

Продовження табл. 3.1.5.(1)

|                      |         |  |           |           |           |           |           |           |           |           |
|----------------------|---------|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| $k_{D2}$             |         |  | 0,14      |           | 0,14      |           | 0,14      |           | 0,14      |           |
| $M_{в2}$             | 0       |  | 42,804347 | 42,804347 | 42,804347 | 42,804347 | 42,804347 | 42,804347 | 42,804347 | 42,804347 |
| <b>Г</b>             |         |  |           |           |           |           |           |           |           |           |
| схема                |         |  | 4         |           | 4         |           | 4         |           | 4         |           |
| $b_m$                |         |  | 17        |           | 17        |           | 17        |           | 17        |           |
| $b_w$                |         |  | 5         |           | 5         |           | 5         |           | 5         |           |
| $b_p$                |         |  | 4         |           | 4         |           | 4         |           | 4         |           |
| $k_{gmo}$            | Вт/кг·К |  | 55,99345  |           | 55,99345  |           | 56,0      |           | 55,99345  |           |
| $\eta_{\Gamma}$      |         |  | 0,5100478 | 0,5102392 | 0,5100478 | 0,5102392 | 0,5100478 | 0,5102392 | 0,5100478 | 0,5102392 |
| $\Delta p_{\Gamma}$  | кПа     |  |           |           |           |           |           |           |           |           |
| $\Delta p_{w\Gamma}$ | кПа     |  |           |           |           |           |           |           |           |           |
| $S_{\Gamma}$         |         |  | 0,549018  |           | 0,549018  |           | 0,5       |           | 0,549018  |           |
| $k_D$                |         |  | 0,25      |           | 0,25      |           | 0,25      |           | 0,25      |           |
| $M_{\Gamma}$         | кг      |  | 11,578394 | 14,790449 | 11,578394 | 14,790449 | 11,578394 | 14,790449 | 11,578394 | 14,790449 |
| <b>МО</b>            |         |  |           |           |           |           |           |           |           |           |
| Схема                | кг      |  | 4         | 4         | 4         | 4         | 4         | 4         | 4         | 4         |
| $b_m$                |         |  | 16        | 16        | 16        | 16        | 16        | 16        | 16        | 16        |
| $b_w$                |         |  | 5         | 5         | 5         | 5         | 5         | 5         | 5         | 5         |
| $b_p$                |         |  | 4         | 4         | 4         | 4         | 4         | 4         | 4         | 4         |
| $k_{gmo}$            | Вт/кг·К |  | 57,327567 | 57,327567 | 57,327567 | 57,327567 | 57,327567 | 57,327567 | 57,327567 | 57,327567 |
| $\eta_{mo}$          |         |  | 0,5100478 | 0,5102392 | 0,5100478 | 0,5102392 | 0,5100478 | 0,5102392 | 0,5100478 | 0,5102392 |
| $\Delta p_m$         | кПа     |  |           | 99,014414 |           | 99,014414 |           | 99,014414 |           | 99,014414 |
| $\Delta p_{wm}$      | кПа     |  |           | 29,177705 |           | 29,177705 |           | 29,177705 |           | 29,177705 |
| $S_m$                |         |  | 0,3712589 | 0,3711197 | 0,3712589 | 0,3711197 | 0,3712589 | 0,3711197 | 0,3712589 | 0,3711197 |
| $k_D$                |         |  | 0,25      |           | 0,25      |           | 0,25      |           | 0,25      |           |
| $M_{mo}$             | кг      |  | 58,249185 | 58,281775 | 58,249185 | 58,281775 | 58,249185 | 58,281775 | 58,249185 | 58,281775 |
| $\eta_o$             |         |  | 0,7519437 |           | 0,7519437 |           | 0,7519437 |           | 0,7519437 |           |
| $M_{\Sigma}$         | кг      |  | 136,40124 | 137,4579  | 136,34413 | 136,72257 | 137,2383  | 136,57303 | 141,95285 | 137,25312 |
| Індикатор            |         |  | Верно     |           | Верно     |           | Верно     |           | Верно     |           |

Таблиця.3.1.6. Розрахунок впливу  $t_{wm2}$  на  $M_{\Sigma}$  при постійних  $t_{w1}$ ,  $t_{wh2}$

| Вплив $t_{wm2}$ |  |       |  |       |  |       |  |
|-----------------|--|-------|--|-------|--|-------|--|
| 1               |  | 2     |  | 3     |  | 4     |  |
| 179,2           |  | 179,2 |  | 179,2 |  | 179,2 |  |
| 86,6            |  | 86,6  |  | 86,6  |  | 86,6  |  |
| 50,2            |  | 50,2  |  | 50,2  |  | 50,2  |  |
| 5,83            |  | 5,83  |  | 5,83  |  | 5,83  |  |
| 0,618           |  | 0,618 |  | 0,618 |  | 0,618 |  |

Продовження табл. 3.1.6.

|            |          |          |          |          |          |          |          |
|------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 5,82       |          | 5,82     |          | 5,82     |          | 5,82     |          |
| 2          |          | 2        |          | 2        |          | 2        |          |
| 5,83       |          | 5,83     |          | 5,83     |          | 5,83     |          |
| 0,23961814 |          | 0,239618 |          | 0,239618 |          | 0,239618 |          |
| 0,23961814 |          | 0,239618 |          | 0,239618 |          | 0,239618 |          |
| 0,95041103 |          | 1,069212 |          | 1,221957 |          | 1,425617 |          |
| 0,77209752 |          | 0,86861  |          | 0,992697 |          | 1,158146 |          |
| 0,17831351 |          | 0,200603 |          | 0,22926  |          | 0,26747  |          |
| 1          |          | 1        |          | 1        |          | 1        |          |
| 313        | 40       | 313      | 40       | 313      | 40       | 313      | 40       |
| 100000     |          | 100000   |          | 100000   |          | 100000   |          |
| 200000     |          | 200000   |          | 200000   |          | 200000   |          |
| 298        | 25       | 298      | 25       | 298      | 25       | 298      | 25       |
| 300,131345 | 27,13135 | 300,1313 | 27,13135 | 300,1313 | 27,13135 | 300,1313 | 27,13135 |
| 312,265578 | 39,26558 | 312,2656 | 39,26558 | 312,2656 | 39,26558 | 312,2656 | 39,26558 |
| 398,78     | 125,78   | 398,7836 | 125,7836 | 398,7836 | 125,7836 | 398,7836 | 125,7836 |
| 323,0      | 50,0     | 323      | 50       | 323      | 50       | 323      | 50       |

|            |          |          |          |          |          |          |          |
|------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 370,664    | 97,664   | 370,6641 | 97,66407 | 370,6641 | 97,66407 | 370,6641 | 97,66407 |
| 378,0      | 105,0    | 378      | 105      | 378      | 105      | 378      | 105      |
| 311,0      | 38,0     | 311      | 38       | 311      | 38       | 311      | 38       |
| 306,23     | 33,23    | 314,2054 | 41,20536 | 322,1797 | 49,17969 | 330,154  | 57,15402 |
| 357,9      | 84,9     | 357,8809 | 84,88088 | 357,8809 | 84,88088 | 357,8809 | 84,88088 |
| 333,0      | 60,0     | 338      | 65       | 343      | 70       | 348      | 75       |
| 333,0      | 60,0     | 338      | 65       | 343      | 70       | 348      | 75       |
| 333,0      | 60,0     | 338      | 65       | 343      | 70       | 348      | 75       |
| 363,0      | 90,0     | 363      | 90       | 363      | 90       | 363      | 90       |
| 355,3      | 82,3     | 355,2703 | 82,27027 | 355,2703 | 82,27027 | 355,2703 | 82,27027 |
| 363        | 90       | 363      | 90       | 363      | 90       | 363      | 90       |
| 357,805195 | 84,80519 | 357,8052 | 84,80519 | 357,8052 | 84,80519 | 357,8052 | 84,80519 |

|        |        |          |          |          |          |          |          |
|--------|--------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 3      | 3      | 3        | 3        | 3        | 3        | 3        | 3        |
| 1      | 1      | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        |
| 14     | 14     | 14       | 14       | 14       | 14       | 14       | 14       |
| 1      | 1      | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        |
| 113,88 | 113,88 | 113,8774 | 113,8774 | 113,8774 | 113,8774 | 113,8774 | 113,8774 |

Продовження табл. 3.1.6.(1)

|            |          |          |          |          |          |          |          |
|------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 0,92073788 | 0,946961 | 0,920738 | 0,946961 | 0,920738 | 0,946961 | 0,920738 | 0,946961 |
| 129,49     |          | 129,4865 |          | 129,4865 |          | 129,4865 |          |
| 16,2449669 |          | 16,24497 |          | 16,24497 |          | 16,24497 |          |
| 0,619      | 0,374    | 0,618616 | 0,374036 | 0,618616 | 0,374036 | 0,618616 | 0,374036 |
| 12,6738417 | 8,786246 | 12,67384 | 8,786246 | 12,67384 | 8,786246 | 12,67384 | 8,786246 |
|            |          |          |          |          |          |          |          |
| 4          | 1        | 4        | 1        | 4        | 1        | 4        | 1        |
| 52,00      | 52,00    | 52       | 52       | 52       | 52       | 52       | 52       |
| 2          | 1        | 3        | 1        | 3        | 1        | 3        | 1        |
| 2,00       | 2,00     | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        |
| 166,55516  | 142,3316 | 175,6238 | 142,3316 | 170,0494 | 142,3316 | 169,2231 | 142,3316 |
| 0,79365079 | 0,793651 | 0,793651 | 0,793651 | 0,793651 | 0,793651 | 0,793651 | 0,793651 |
|            | 37,01886 |          | 37,01886 |          | 37,01886 |          | 37,01886 |
|            | 54,19129 |          | 54,19129 |          | 54,19129 |          | 54,19129 |
| 0,0426269  | 0,042627 | 0,042627 | 0,042627 | 0,042627 | 0,042627 | 0,042627 | 0,042627 |
| 0,14       |          | 0,14     |          | 0,14     |          | 0,14     |          |
| 11,3746088 | 11,37461 | 11,37461 | 11,37461 | 11,37461 | 11,37461 | 11,37461 | 11,37461 |

|            |          |          |          |          |          |          |          |
|------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 4,00       | 4,00     | 4        | 4        | 4        | 4        | 4        | 4        |
| 12         | 12       | 14       | 14       | 16       | 16       | 21       | 21       |
| 6,00       | 6,00     | 5        | 5        | 5        | 5        | 4        | 4        |
| 4,00       | 4,00     | 4        | 4        | 4        | 4        | 4        | 4        |
| 51,3173473 | 51,31735 | 52,61954 | 52,61954 | 57,32757 | 57,32757 | 57,87147 | 57,87147 |
| 0,92       | 0,92     | 0,81926  | 0,81926  | 0,716852 | 0,716852 | 0,614445 | 0,614445 |
|            | 37,02    |          | 37,01886 |          | 37,01886 |          | 37,01886 |
|            | 54,19    |          | 54,19129 |          | 54,19129 |          | 54,19129 |
| 73,2037918 | 0,042627 | 50,0706  | 0,042627 | 42,80435 | 0,042627 | 37,50605 | 0,042627 |
| 0,14       |          | 0,14     |          | 0,14     |          | 0,14     |          |
| 73,2037918 | 73,20379 | 50,0706  | 50,0706  | 42,80435 | 42,80435 | 37,50605 | 37,50611 |

|            |          |          |          |          |          |          |          |
|------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 4          |          | 4        |          | 4        |          | 4        |          |
| 17         |          | 17       |          | 17       |          | 17       |          |
| 5          |          | 5        |          | 5        |          | 5        |          |
| 4          |          | 4        |          | 4        |          | 4        |          |
| 55,9934499 |          | 55,99345 |          | 55,99345 |          | 55,99345 |          |
| 0,47154232 | 0,471719 | 0,487649 | 0,487832 | 0,510048 | 0,510239 | 0,543323 | 0,543527 |

Продовження табл. 3.1.6.(2)

|            |          |          |          |          |          |          |          |
|------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 0,549018   |          | 0,549018 |          | 0,549018 |          | 0,549018 |          |
| 0,25       |          | 0,25     |          | 0,25     |          | 0,25     |          |
| 8,99534905 | 10,03566 | 10,00702 | 11,81871 | 11,57839 | 14,79045 | 12,38869 | 17,76219 |
|            |          |          |          |          |          |          |          |
| 4          | 4        | 4        | 4        | 4        | 4        | 4        | 4        |
| 12         | 12       | 14       | 14       | 16       | 16       | 21       | 21       |
| 6          | 6        | 5        | 5        | 5        | 5        | 4        | 4        |
| 4          | 4        | 4        | 4        | 4        | 4        | 4        | 4        |
| 51,3173473 | 51,31735 | 52,61954 | 52,61954 | 57,32757 | 57,32757 | 57,87147 | 57,87147 |
| 0,47154232 | 0,471719 | 0,487649 | 0,487832 | 0,510048 | 0,510239 | 0,543323 | 0,543527 |
|            | 73,30139 |          | 86,16499 |          | 99,01441 |          | 131,1012 |
|            | 41,08806 |          | 20,18943 |          | 29,1777  |          | 25,08386 |
| 0,28875696 | 0,288649 | 0,324852 | 0,32473  | 0,371259 | 0,37112  | 0,433135 | 0,432973 |
| 0,25       |          | 0,25     |          | 0,25     |          | 0,25     |          |
| 43,6199627 | 43,64308 | 50,93491 | 50,96243 | 58,24918 | 58,28177 | 76,53571 | 76,58015 |
| 0,75194366 |          | 0,751944 |          | 0,751944 |          | 0,751944 |          |
| 149,867554 | 147,0434 | 135,061  | 133,0126 | 136,6804 | 136,0374 | 150,4789 | 152,0093 |
| Верно      |          | Верно    |          | Верно    |          | Верно    |          |

Таблиця. 3.1.7. Розрахунок впливу  $t_{wn2}$  на  $M_{\Sigma}$  при постійних  $t_{w1}$ ,  $t_{wm2}$

| Вплив $t_{wn2}$ |  |          |  |          |  |          |  |
|-----------------|--|----------|--|----------|--|----------|--|
| 1               |  | 2        |  | 3        |  | 4        |  |
| 179,2           |  | 179,2    |  | 179,2    |  | 179,2    |  |
| 86,6            |  | 86,6     |  | 86,6     |  | 86,6     |  |
| 50,2            |  | 50,2     |  | 50,2     |  | 50,2     |  |
| 5,83            |  | 5,83     |  | 5,83     |  | 5,83     |  |
| 0,618           |  | 0,618    |  | 0,618    |  | 0,618    |  |
| 5,82            |  | 5,82     |  | 5,82     |  | 5,82     |  |
| 2               |  | 2        |  | 2        |  | 2        |  |
| 5,83            |  | 5,83     |  | 5,83     |  | 5,83     |  |
| 0,307203        |  | 0,28526  |  | 0,239618 |  | 0,199682 |  |
| 0,307203        |  | 0,28526  |  | 0,239618 |  | 0,199682 |  |
| 1,11087         |  | 1,11087  |  | 1,11087  |  | 1,11087  |  |
| 0,902452        |  | 0,902452 |  | 0,902452 |  | 0,902452 |  |

Продовження табл. 3.1.7.

|          |          |          |          |          |          |          |          |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 0,208418 |          | 0,208418 |          | 0,208418 |          | 0,208418 |          |
| 1        |          | 1        |          | 1        |          | 1        |          |
| 313      | 40       | 313      | 40       | 313      | 40       | 313      | 40       |
| 100000   |          | 100000   |          | 100000   |          | 100000   |          |
| 200000   |          | 200000   |          | 200000   |          | 200000   |          |
| 298      | 25       | 298      | 25       | 298      | 25       | 298      | 25       |
| 300,1313 | 27,13135 | 300,1313 | 27,13135 | 300,1313 | 27,13135 | 300,1313 | 27,13135 |
| 312,2656 | 39,26558 | 312,2656 | 39,26558 | 312,2656 | 39,26558 | 312,2656 | 39,26558 |
| 398,7836 | 125,7836 | 398,7836 | 125,7836 | 398,7836 | 125,7836 | 398,7836 | 125,7836 |
| 323      | 50       | 323      | 50       | 323      | 50       | 323      | 50       |
| 370,6641 | 97,66407 | 370,6641 | 97,66407 | 370,6641 | 97,66407 | 370,6641 | 97,66407 |
| 378      | 105      | 378      | 105      | 378      | 105      | 378      | 105      |
| 311      | 38       | 311      | 38       | 311      | 38       | 311      | 38       |
| 316,5977 | 43,59766 | 316,5977 | 43,59766 | 316,5977 | 43,59766 | 316,5977 | 43,59766 |
| 347,5671 | 74,56709 | 350,3799 | 77,37994 | 357,8809 | 84,88088 | 367,2571 | 94,25706 |

|          |          |          |          |          |          |          |          |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 339,5    | 66,5     | 339,5    | 66,5     | 339,5    | 66,5     | 339,5    | 66,5     |
| 339,5    | 66,5     | 339,5    | 66,5     | 339,5    | 66,5     | 339,5    | 66,5     |
| 339,5    | 66,5     | 339,5    | 66,5     | 339,5    | 66,5     | 339,5    | 66,5     |
| 363      | 90       | 363      | 90       | 363      | 90       | 363      | 90       |
| 355,2703 | 82,27027 | 355,2703 | 82,27027 | 355,2703 | 82,27027 | 355,2703 | 82,27027 |
| 363      | 90       | 363      | 90       | 363      | 90       | 363      | 90       |
| 357,8052 | 84,80519 | 357,8052 | 84,80519 | 357,8052 | 84,80519 | 357,8052 | 84,80519 |
|          |          |          |          |          |          |          |          |
| 3        | 3        | 3        | 3        | 3        | 3        | 3        | 3        |
| 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        |
| 14       | 14       | 14       | 14       | 14       | 14       | 14       | 14       |
| 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        |
| 113,8774 | 113,8774 | 113,8774 | 113,8774 | 113,8774 | 113,8774 | 113,8774 | 113,8774 |
| 0,920738 | 0,946961 | 0,920738 | 0,946961 | 0,920738 | 0,946961 | 0,920738 | 0,946961 |
| 129,4865 |          | 129,4865 |          | 129,4865 |          | 129,4865 |          |
| 16,24497 |          | 16,24497 |          | 16,24497 |          | 16,24497 |          |
| 0,48252  | 0,374036 | 0,519637 | 0,374036 | 0,618616 | 0,374036 | 0,742339 | 0,374036 |
| 10,64648 | 7,747165 | 11,12659 | 8,459423 | 12,67384 | 8,786246 | 15,57426 | 10,6663  |
|          |          |          |          |          |          |          |          |

Продовження табл. 3.1.7.(1)

|          |          |          |          |          |          |          |          |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 4        | 1        | 4        | 1        | 4        | 1        | 4        | 1        |
| 58       | 58       | 56       | 56       | 52       | 52       | 72       | 72       |
| 3        | 1        | 3        | 1        | 3        | 1        | 3        | 1        |
| 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        |
| 177,994  | 144,2066 | 177,994  | 144,1448 | 177,994  | 142,3316 | 177,994  | 144,2077 |
| 0,75     | 0,75     | 0,763636 | 0,763636 | 0,793651 | 0,793651 | 0,821918 | 0,821918 |
|          | 37,01886 |          | 37,01886 |          | 37,01886 |          | 37,01886 |
|          | 54,19129 |          | 54,19129 |          | 54,19129 |          | 54,19129 |
| 0,05465  | 0,05465  | 0,050746 | 0,050746 | 0,042627 | 0,042627 | 0,035522 | 0,035522 |
| 0,14     |          | 0,14     |          | 0,14     |          | 0,14     |          |
| 12,69423 | 12,69423 | 12,25435 | 12,25435 | 11,37461 | 11,37461 | 10,2016  | 10,2016  |
|          |          |          |          |          |          |          |          |
| 4        | 4        | 4        | 4        | 4        | 4        | 4        | 4        |
| 14       | 14       | 14       | 14       | 14       | 14       | 14       | 14       |
| 5        | 5        | 5        | 5        | 5        | 5        | 5        | 5        |
| 4        | 4        | 4        | 4        | 4        | 4        | 4        | 4        |
| 55,93118 | 55,93118 | 55,93118 | 55,93118 | 55,93118 | 55,93118 | 55,93118 | 55,93118 |
| 0,788537 | 0,788537 | 0,788537 | 0,788537 | 0,788537 | 0,788537 | 0,788537 | 0,788537 |
|          | 37,01886 |          | 37,01886 |          | 37,01886 |          | 37,01886 |
|          | 54,19129 |          | 54,19129 |          | 54,19129 |          | 54,19129 |
| 46,30237 | 0,05465  | 46,30237 | 0,050746 | 46,30237 | 0,042627 | 46,30237 | 0,035522 |
| 0,14     |          | 0,14     |          | 0,14     |          | 0,14     |          |
| 46,30237 | 46,30237 | 46,30237 | 46,30237 | 46,30237 | 46,30237 | 46,30237 | 46,30237 |
|          |          |          |          |          |          |          |          |
| 4        |          | 4        |          | 4        |          | 4        |          |
| 17       |          | 17       |          | 17       |          | 17       |          |
| 5        |          | 5        |          | 5        |          | 5        |          |
| 4        |          | 4        |          | 4        |          | 4        |          |
| 55,99345 |          | 55,99345 |          | 55,99345 |          | 55,99345 |          |
| 0,49356  | 0,493745 | 0,49356  | 0,493745 | 0,49356  | 0,493745 | 0,49356  | 0,493745 |
|          |          |          |          |          |          |          |          |
|          |          |          |          |          |          |          |          |
| 0,54902  |          | 0,549018 |          | 0,549018 |          | 0,549018 |          |
| 0,25     |          | 0,25     |          | 0,25     |          | 0,25     |          |

Продовження табл. 3.1.7.(2)

|          |          |          |          |          |          |          |          |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 10,29414 | 12,41306 | 10,29414 | 12,41306 | 10,29414 | 12,41306 | 10,29414 | 12,41306 |
| 4        | 4        | 4        | 4        | 4        | 4        | 4        | 4        |
| 14       | 14       | 14       | 14       | 14       | 14       | 14       | 14       |
| 5        | 5        | 5        | 5        | 5        | 5        | 5        | 5        |
| 4        | 4        | 4        | 4        | 4        | 4        | 4        | 4        |
| 55,93118 | 55,93118 | 55,93118 | 55,93118 | 55,93118 | 55,93118 | 55,93118 | 55,93118 |
| 0,49356  | 0,493745 | 0,49356  | 0,493745 | 0,49356  | 0,493745 | 0,49356  | 0,493745 |
|          | 86,16499 |          | 86,16499 |          | 86,16499 |          | 86,16499 |
|          | 21,72145 |          | 21,72145 |          | 21,72145 |          | 21,72145 |
| 0,337508 | 0,337382 | 0,337508 | 0,337382 | 0,337508 | 0,337382 | 0,337508 | 0,337382 |
| 0,25     |          | 0,25     |          | 0,25     |          | 0,25     |          |
| 50,9347  | 50,96243 | 50,9347  | 50,96243 | 50,9347  | 50,96243 | 50,9347  | 50,96243 |
| 0,751944 |          | 0,751944 |          | 0,751944 |          | 0,751944 |          |
| 130,8719 | 130,1192 | 130,9122 | 130,3916 | 131,5797 | 129,8387 | 133,3071 | 130,5458 |
| Верно    |          | Верно    |          | Верно    |          | Верно    |          |

Таблиця. 3.1.8. Розрахунок впливу  $t_{w1}$  на  $M_{\Sigma}$  при оптимальних  $t_{wh2}$ ,  $t_{wm2}$

| Розрахунок на оптимум |  |          |  |          |  |          |  |
|-----------------------|--|----------|--|----------|--|----------|--|
| 1                     |  | 2        |  | 3        |  | 4        |  |
| 179,2                 |  | 179,2    |  | 179,2    |  | 179,2    |  |
| 86,6                  |  | 86,6     |  | 86,6     |  | 86,6     |  |
| 50,2                  |  | 50,2     |  | 50,2     |  | 50,2     |  |
| 5,83                  |  | 5,83     |  | 5,83     |  | 5,83     |  |
| 0,618                 |  | 0,618    |  | 0,618    |  | 0,618    |  |
| 5,82                  |  | 5,82     |  | 5,82     |  | 5,82     |  |
| 2                     |  | 2        |  | 2        |  | 2        |  |
| 5,83                  |  | 5,83     |  | 5,83     |  | 5,83     |  |
| 0,213945              |  | 0,226055 |  | 0,239618 |  | 0,266242 |  |
| 0,213945              |  | 0,226055 |  | 0,239618 |  | 0,266242 |  |
| 1,11087               |  | 1,11087  |  | 1,11087  |  | 1,11087  |  |
| 0,902452              |  | 0,902452 |  | 0,902452 |  | 0,902452 |  |
| 0,208418              |  | 0,208418 |  | 0,208418 |  | 0,208418 |  |
| 1                     |  | 1        |  | 1        |  | 1        |  |

Продовження табл. 3.1.8.

|          |          |          |          |          |          |          |          |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 313      | 40       | 313      | 40       | 313      | 40       | 313      | 40       |
| 100000   |          | 100000   |          | 100000   |          | 100000   |          |
| 200000   |          | 200000   |          | 200000   |          | 200000   |          |
| 298      | 25       | 298      | 25       | 298      | 25       | 298      | 25       |
| 300,1313 | 27,13135 | 300,1313 | 27,13135 | 300,1313 | 27,13135 | 300,1313 | 27,13135 |
| 312,2656 | 39,26558 | 312,2656 | 39,26558 | 312,2656 | 39,26558 | 312,2656 | 39,26558 |
| 398,7836 | 125,7836 | 398,7836 | 125,7836 | 398,7836 | 125,7836 | 398,7836 | 125,7836 |
| 323      | 50       | 323      | 50       | 323      | 50       | 323      | 50       |
| 370,6641 | 97,66407 | 370,6641 | 97,66407 | 370,6641 | 97,66407 | 370,6641 | 97,66407 |
| 378      | 105      | 378      | 105      | 378      | 105      | 378      | 105      |
| 305      | 32       | 308      | 35       | 311      | 38       | 316      | 43       |
| 316,5977 | 43,59766 | 316,5977 | 43,59766 | 316,5977 | 43,59766 | 316,5977 | 43,59766 |
| 357,5066 | 84,50659 | 357,6937 | 84,69374 | 357,8809 | 84,88088 | 358,1928 | 85,1928  |
| 339,5    | 66,5     | 339,5    | 66,5     | 339,5    | 66,5     | 339,5    | 66,5     |
| 339,5    | 66,5     | 339,5    | 66,5     | 339,5    | 66,5     | 339,5    | 66,5     |
| 339,5    | 66,5     | 339,5    | 66,5     | 339,5    | 66,5     | 339,5    | 66,5     |
| 363      | 90       | 363      | 90       | 363      | 90       | 363      | 90       |
| 355,2703 | 82,27027 | 355,2703 | 82,27027 | 355,2703 | 82,27027 | 355,2703 | 82,27027 |
| 363      | 90       | 363      | 90       | 363      | 90       | 363      | 90       |

|          |          |          |          |          |          |          |          |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 357,8052 | 84,80519 | 357,8052 | 84,80519 | 357,8052 | 84,80519 | 357,8052 | 84,80519 |
|          |          |          |          |          |          |          |          |
| 3        | 3        | 3        | 3        | 3        | 3        | 3        | 3        |
| 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        |
| 14       | 14       | 14       | 14       | 14       | 14       | 14       | 14       |
| 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        |
| 113,8774 | 113,8774 | 113,8774 | 113,8774 | 113,8774 | 113,8774 | 113,8774 | 113,8774 |
| 0,861832 | 0,946961 | 0,890312 | 0,946961 | 0,920738 | 0,946961 | 0,976349 | 0,946961 |
| 129,4865 |          | 129,4865 |          | 129,4865 |          | 129,4865 |          |
| 16,24497 |          | 16,24497 |          | 16,24497 |          | 16,24497 |          |
| 0,692849 | 0,374036 | 0,655732 | 0,374036 | 0,618616 | 0,374036 | 0,556754 | 0,374036 |
| 9,86758  | 7,679636 | 11,06376 | 8,503217 | 12,00975 | 8,635775 | 19,48587 | 11,5415  |
|          |          |          |          |          |          |          |          |
| 4        | 1        | 4        | 1        | 4        | 1        | 4        | 1        |
| 66       | 66       | 58       | 58       | 52       | 52       | 45       | 45       |

Продовження табл. 3.1.8.(1)

|          |          |          |          |          |          |          |          |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 3        | 1        | 3        | 1        | 3        | 1        | 3        | 1        |
| 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        |
| 177,994  | 139,447  | 177,994  | 140,4107 | 180,2685 | 142,3316 | 177,994  | 145,0643 |
| 0,888889 | 0,888889 | 0,84127  | 0,84127  | 0,793651 | 0,793651 | 0,714286 | 0,714286 |
|          | 37,01886 |          | 37,01886 |          | 37,01886 |          | 37,01886 |
|          | 54,19129 |          | 54,19129 |          | 54,19129 |          | 54,19129 |
| 0,03806  | 0,03806  | 0,040214 | 0,040214 | 0,042627 | 0,042627 | 0,047363 | 0,047363 |
| 0,14     |          | 0,14     |          | 0,14     |          | 0,14     |          |
| 14,45372 | 14,45372 | 12,69423 | 12,69423 | 11,37461 | 11,37461 | 9,835056 | 9,835056 |
|          |          |          |          |          |          |          |          |
| 4        | 4        | 4        | 4        | 4        | 4        | 4        | 4        |
| 14       | 14       | 14       | 14       | 14       | 14       | 14       | 14       |
| 5        | 5        | 5        | 5        | 5        | 5        | 5        | 5        |
| 4        | 4        | 4        | 4        | 4        | 4        | 4        | 4        |
| 55,93118 | 55,93118 | 55,93118 | 55,93118 | 55,93118 | 55,93118 | 55,93118 | 55,93118 |
| 0,788537 | 0,788537 | 0,788537 | 0,788537 | 0,788537 | 0,788537 | 0,788537 | 0,788537 |
|          | 37,01886 |          | 37,01886 |          | 37,01886 |          | 37,01886 |
|          | 54,19129 |          | 54,19129 |          | 54,19129 |          | 54,19129 |
| 46,30237 | 0,03806  | 46,30237 | 0,040214 | 45,71816 | 0,042627 | 46,30237 | 0,047363 |
| 0,14     |          | 0,14     |          | 0,14     |          | 0,14     |          |
| 45,0463  | 45,0463  | 45,0463  | 45,0463  | 45,0463  | 45,0463  | 45,0463  | 45,0463  |
|          |          |          |          |          |          |          |          |
| 4        |          | 4        |          | 4        |          | 4        |          |
| 17       |          | 17       |          | 17       |          | 17       |          |
| 5        |          | 5        |          | 5        |          | 5        |          |
| 4        |          | 4        |          | 4        |          | 4        |          |
| 55,99345 |          | 55,99345 |          | 55,99345 |          | 55,99345 |          |
| 0,49356  | 0,493745 | 0,49356  | 0,493745 | 0,49356  | 0,493745 | 0,49356  | 0,493745 |
|          |          |          |          |          |          |          |          |
|          |          |          |          |          |          |          |          |
| 0,549018 |          | 0,549018 |          | 0,549018 |          | 0,549018 |          |
| 0,25     |          | 0,25     |          | 0,25     |          | 0,25     |          |
| 10,29414 | 12,41306 | 10,29414 | 12,41306 | 10,29414 | 12,41306 | 10,29414 | 12,41306 |
|          |          |          |          |          |          |          |          |

Продовження табл. 3.1.8.(1)

|          |          |          |          |          |          |          |          |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 4        | 4        | 4        | 4        | 4        | 4        | 4        | 4        |
| 14       | 14       | 14       | 14       | 14       | 14       | 14       | 14       |
| 5        | 5        | 5        | 5        | 5        | 5        | 5        | 5        |
| 4        | 4        | 4        | 4        | 4        | 4        | 4        | 4        |
| 55,93118 | 55,93118 | 55,93118 | 55,93118 | 55,93118 | 55,93118 | 55,93118 | 55,93118 |
| 0,49356  | 0,493745 | 0,49356  | 0,493745 | 0,49356  | 0,493745 | 0,49356  | 0,493745 |
|          | 86,16499 |          | 86,16499 |          | 86,16499 |          | 86,16499 |
|          | 21,72145 |          | 21,72145 |          | 21,72145 |          | 21,72145 |
| 0,337508 | 0,337382 | 0,337508 | 0,337382 | 0,337508 | 0,337382 | 0,337508 | 0,337382 |
| 0,25     |          | 0,25     |          | 0,25     |          | 0,25     |          |
| 50,9347  | 50,96243 | 50,9347  | 50,96243 | 50,9347  | 50,96243 | 50,9347  | 50,96243 |
| 0,751944 |          | 0,751944 |          | 0,751944 |          | 0,751944 |          |
| 131,8525 | 131,8112 | 131,2892 | 130,8753 | 130,3314 | 128,4322 | 136,8521 | 131,0544 |
| Верно    |          | Верно    |          | Верно    |          | Верно    |          |

Далі на базі цих розрахунків побудовані графіки:  $M_{\Sigma} = f(t_{w1})$ ,  $M_{\Sigma} = f(t_{wm2})$ ,  $M_{\Sigma} = f(t_{wn2})$

На базі побудованих графіків визначаються оптимальні значення температур, які треба встановити. Специфіка пошуку оптимального настрою системи полягає в тому що криві треба декілька раз переробити щоб оптимальне значення сумарної маси серцевин було однаковим (з можливою похибкою). Вони показані на рис. 3.4 – 3.7.

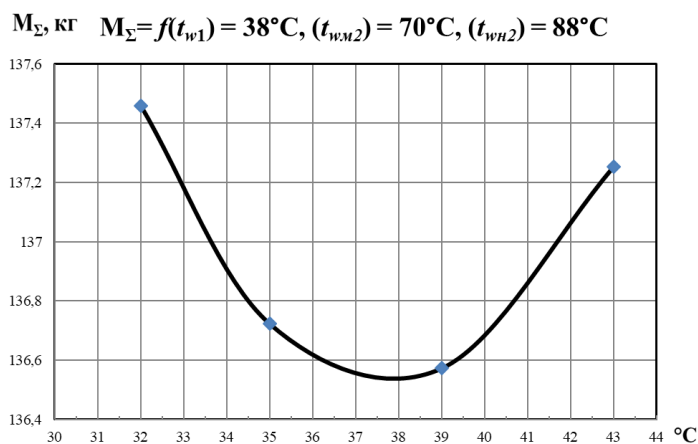


Рис.3.4. Залежність  $M_{\Sigma}$  від зміни температури  $t_{w1}$  при постійних значеннях інших температур:  $t_{wm2} = 70^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{wn2} = 88^{\circ}\text{C}$

$$M_{\Sigma}, \text{ кг} \quad M_{\Sigma}=f(t_{wm2})=66,5^{\circ}\text{C}, (t_{w1})=38^{\circ}\text{C}, (t_{wh2})=88^{\circ}\text{C}$$

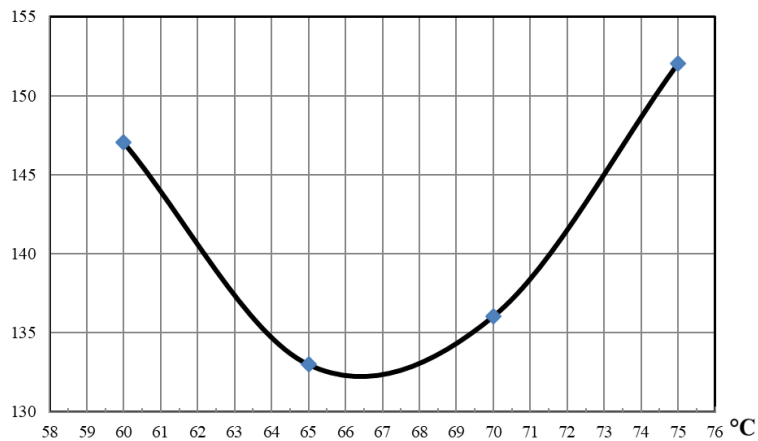


Рис.3.5. Залежність  $M_{\Sigma}$  від зміни температури  $t_{wm2}$  при постійних значеннях інших температур:  $t_{w1} = 38^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{wh2} = 88^{\circ}\text{C}$

$$M_{\Sigma}, \text{ кг} \quad M_{\Sigma}=f(t_{wh2})=88^{\circ}\text{C}, (t_{w1})=38^{\circ}\text{C}, (t_{wm2})=66,5^{\circ}\text{C}$$

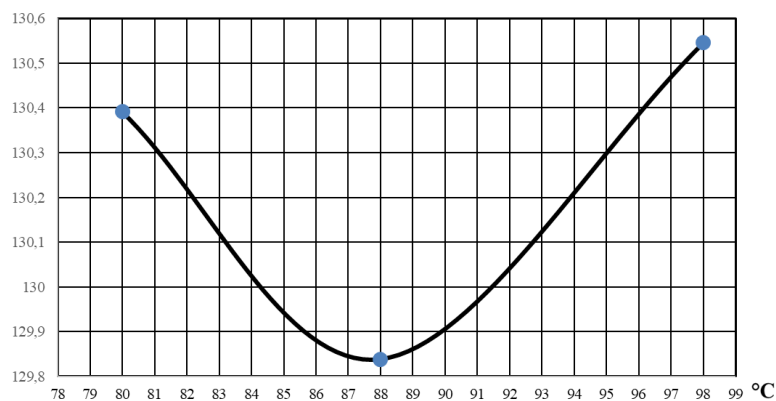


Рис.3.6. Залежність  $M_{\Sigma}$  від зміни температури  $t_{wh2}$  при постійних значеннях інших температур:  $t_{w1} = 38^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{wm2} = 66,5^{\circ}\text{C}$

$$M_{\Sigma}, \text{ кг} \quad M_{\Sigma}=f(t_{w1})=38^{\circ}\text{C}, (t_{wm2})=66,5^{\circ}\text{C}, (t_{wh2})=88^{\circ}\text{C}$$

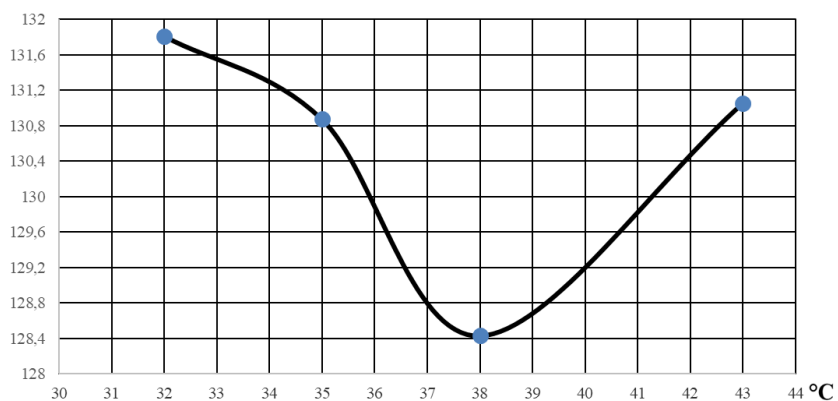


Рис.3.7. Залежність  $M_{\Sigma}$  при оптимальних температурах:  $t_{w1} = 38^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{wm2} = 66,5^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{wh2} = 88^{\circ}\text{C}$

Графік залежності  $t_{wl}$  при постійних значеннях інших температур показав, що  $M_{\Sigma}$  знаходиться в межах  $38^{\circ}\text{C}$ .

Отже, маючи розрахунки і графіки, можна зробити такий висновок: оптимальними будуть такі температури:  $t_{w1} = 38^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{wt2} = t_{wm2} = 66,5^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{wn2} = 88^{\circ}\text{C}$ .

Таким чином, система охолодження може мати  $M_{\Sigma}$  близько 130 кг, якщо будуть витримані усі обчислені для точки оптимуму параметри.

### 3.3.3. Розрахунок системи 2В2НД

Вхідні дані взяті з циклу та теплового балансу. Копія таблиці з такими даними приведена у табл. 3.2.1

Таблиця. 3.2.1. Вхідні дані для розрахунків теплової схеми системи 2В2НД

|    |    |              |       |                    |                                                                              |      |                                             |
|----|----|--------------|-------|--------------------|------------------------------------------------------------------------------|------|---------------------------------------------|
| 1  | 1  | $n$          | об/хв |                    | 1000                                                                         |      | Частота вращения коленвала                  |
| 2  | 2  | $N_e$        | кВт   |                    | 300                                                                          |      | Мощность ГД                                 |
| 3  | 3  | $T_o$        | К     | $^{\circ}\text{C}$ | 313                                                                          | 40   | Воздух перед компрессором                   |
| 4  | 4  | $P_o$        | Па    |                    | 100000                                                                       |      | Воздух перед компрессором                   |
| 5  | 5  | $T_{avr1}$   | К     | $^{\circ}\text{C}$ | 303                                                                          | 30   | Заб. вода перед ВВО                         |
| 6  | 6  | $\eta_{ad1}$ |       |                    | 0,800                                                                        |      |                                             |
| 7  | 7  | $P_1$        | Па    |                    | 200000,000                                                                   |      | Давление воздуха после компрессора          |
| 8  | 8  | $T_{k1}$     | К     | $^{\circ}\text{C}$ | $T_{k1} = T_{k1} \left( 1 + \frac{\pi_{k1}^{0,286} - 1}{\eta_{ad1}} \right)$ |      | $T_1$ или $T_k$ , воздух за компрессором    |
| 9  | 9  | $T_s$        | К     | $^{\circ}\text{C}$ | 318,000                                                                      | 45,0 | $T_2$ или температура воздуха за ОНВ        |
| 10 | 10 | $T_{fw2}$    | К     | $^{\circ}\text{C}$ | 378                                                                          | 105  | Температура воды за главным двигателем      |
| 12 | 11 | $T_{tr1}$    | К     | $^{\circ}\text{C}$ | 363                                                                          | 90   | Гидравлин. масло на выходе из системы       |
| 13 | 12 | $T_{fm1}$    | К     | $^{\circ}\text{C}$ | 363                                                                          | 90   | Масло на выходе из двигателя или входе в МО |
| 14 | 13 | $Q_{w1}$     | кВт   | 476                | 179,2                                                                        |      | Теплоотвод в наружную воду                  |
| 15 | 14 | $Q_{m1}$     | кВт   | 122                | 86,6                                                                         |      | Теплоотвод в масло                          |
| 16 | 15 | $Q_{n1}$     | кВт   |                    | 50,2                                                                         |      | Теплоотвод от ОНВ                           |
|    | 16 | $Q_{tr}$     | кВт   |                    | 20,0                                                                         |      | Теплоотвод от гидравлики                    |
| 21 | 17 | $G_{w1}$     | кг/с  |                    | 5,83                                                                         |      | Расход воды через двигатель                 |
| 22 | 18 | $G_{fm}$     | кг/с  |                    | 0,618                                                                        |      | Расход наддувочного воздуха                 |
| 23 | 19 | $G_{fm}$     | кг/с  |                    | 5,82                                                                         |      | Расход масла                                |
|    | 20 | $G_{tr}$     | кг/с  |                    | 2                                                                            |      | Расход гидр. Жидкости                       |
| 25 | 21 | $G_{w1}$     | кг/с  |                    | 5,83                                                                         |      | Расход заб. воды через ВВО                  |
| 26 | 22 | $Z_{D1}$     | мм    |                    | 0                                                                            |      | Число ДГ                                    |

Початкові дані щодо теплообмінників. Копія таблиці з такими даними приведена у табл. 3.2.2.

Таблиця 3.2.2. Вихідні дані для теплообмінників системи 2В2НД

|    |    |          |                      |  |             |            |                                           |
|----|----|----------|----------------------|--|-------------|------------|-------------------------------------------|
| 1  | 24 | ОНВ      |                      |  | 50173,85852 |            |                                           |
| 2  | 25 | схема    |                      |  | 3           | 3          | Вероятна схема 3                          |
| 3  | 26 | $Z$      |                      |  | 1           | 1          | Число паралл. раб. ОНВ                    |
| 4  | 27 | $b_{w1}$ |                      |  | 60          | 60         | Число термодинамических ходов по воде     |
| 5  | 28 | $b_{w1}$ |                      |  | 2           | 2          | Число гидравлических ходов по воде        |
| 6  | 29 | $k_{D1}$ | Вт/м <sup>2</sup> ·К |  | 146,26      | 146,256389 | Коэффициент использования массы луча      |
| 7  | 30 | ВВО1     |                      |  | 4040        | 4040       | $C_{D1}$                                  |
| 8  | 31 | схема    |                      |  | 1           | 1          | Вероятна схема 4                          |
| 9  | 32 | $b_w$    |                      |  | 59          | 59         | Число ходов по пресной воде               |
| 10 | 33 | $b_{w1}$ |                      |  | 1           | 1          | Число ходов по заборной воде              |
| 11 | 34 | $b_p$    |                      |  | 2           | 2          | Число противоточных реверсивных элементов |
| 12 | 35 | $k_{D2}$ | Вт/м <sup>2</sup> ·К |  | 132,00      | 132,00     | Коэффициент использования массы луча      |
|    | 36 | ВВО2     |                      |  | 4040,00     | 4,04       |                                           |
|    | 37 | схема    |                      |  | 4,00        | 4,00       |                                           |
|    | 38 | $b_w$    |                      |  | 38,00       | 38,00      |                                           |
|    | 39 | $b_{w1}$ |                      |  | 3,00        | 3,00       |                                           |
|    | 40 | $b_p$    |                      |  | 2,00        | 2,00       |                                           |
|    | 41 | $k_{D2}$ | Вт/м <sup>2</sup> ·К |  | 175,14      | 175,14     |                                           |
|    | 42 | Г        |                      |  | 1926,00     | 1,926      |                                           |
|    | 43 | схема    |                      |  | 4,00        | 4,00       |                                           |
|    | 44 | $b_w$    |                      |  | 20,00       | 20,00      |                                           |
|    | 45 | $b_w$    |                      |  | 6,00        | 6,00       |                                           |
|    | 46 | $b_p$    |                      |  | 4,00        | 4,00       |                                           |

### Продовження табл. 3.2.2.

|    |    |                   |       |  |  |       |            |                                           |
|----|----|-------------------|-------|--|--|-------|------------|-------------------------------------------|
|    | 47 | $K_{\text{от}}$   | В/л/к |  |  | 43,71 | 43,71      |                                           |
| 13 | 48 | МО                |       |  |  | 1925  | 1925,72205 | $C_{\text{зм}}$                           |
| 14 | 49 | схема             |       |  |  | 4     | 4          | Вероятна схема 4                          |
| 15 | 50 | $b_{\text{м}}$    |       |  |  | 19    | 19         | Число ходов по маслу                      |
| 16 | 51 | $b_{\text{в}}$    |       |  |  | 6     | 6          | Число ходов по пресной воде               |
| 17 | 52 | $b_{\text{р}}$    |       |  |  | 4     | 4          | Число противоточных реверсивных элементов |
| 18 | 53 | $K_{\text{прис}}$ | В/л/к |  |  | 47,39 | 47,39      | Коэффициент использования массы пучка     |

Дані температур ТВК. Копія цих даних приведена у табл. 3.2.3.

Таблиця. 3.2.3. Вхідні дані температур ТВК системи 2В2НД

|    |    |                  |   |    |                      |         |        |                                     |
|----|----|------------------|---|----|----------------------|---------|--------|-------------------------------------|
| 26 | 55 | $T_{\text{wm2}}$ | к | °C |                      | 342     | 69,00  | Вода за МО                          |
|    | 56 | $T_{\text{шт2}}$ |   |    |                      | 342     | 69,00  |                                     |
| 28 | 57 | $T_{\text{wh2}}$ | к | °C | Задается произвольно | 378,00  | 105,00 | Вода за ОНВ                         |
|    | 58 | $T_{\text{шт1}}$ | к | °C |                      | 310,00  | 37,00  |                                     |
| 29 | 60 | $T_{\text{вс1}}$ | к | °C |                      | 317,500 | 44,5   | Вода перед теплообменниками МО и Г. |

### 3.3.4 Результаты оптимизации системы 2В2НД

Для оптимізації даної системи виконана низка прямих розрахунків цієї системи з покроковою зміною температур:  $t_{w1}$ ,  $t_{wm2}$ ,  $t_{wh2}$ .

У таблицях 3.2.5 – 3.2.8 наведені результати розрахунків залежностей  $M_{\Sigma}$  від змін температур  $t_{w1}$ ,  $t_{wm2}$ ,  $t_{wh2}$  на завершувальному етапі розрахунків, коли мінімуми  $M_{\Sigma}$  досягли допустимої розбіжності.

Таблиця. 3.2.5. Розрахунок впливу  $t_{w1}$  на  $M_{\Sigma}$  при постійних  $t_{wm2}$ ,  $t_{wh2}$

| Результаты       |      | Влияние $t_{w1}$ |           |           |           |           |           |          |          |          |          |          |          |
|------------------|------|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Параметры        |      | 1                |           | 2         |           | 3         |           | 4        |          | 5        |          | 6        |          |
| $Q_{\text{гв}}$  | кВт  | 179,2            |           | 179,2     |           | 179,2     |           | 179,2    |          | 179,2    |          | 179,2    |          |
| $Q_{\text{сн}}$  | кВт  | 86,6             |           | 86,6      |           | 86,6      |           | 86,6     |          | 86,6     |          | 86,6     |          |
| $Q_{\text{гг}}$  | кВт  | 20               |           | 20        |           | 20        |           | 20       |          | 20       |          | 20       |          |
| $Q_{\text{н}}$   | кВт  | 50,173859        |           | 50,173859 |           | 50,173859 |           | 50,17386 |          | 50,17386 |          | 50,17386 |          |
| $G_{\text{н}}$   | кг/с | 0,618            |           | 0,618     |           | 0,618     |           | 0,618    |          | 0,618    |          | 0,618    |          |
| $G_{\text{м}}$   | кг/с | 5,82             |           | 5,82      |           | 5,82      |           | 5,82     |          | 5,82     |          | 5,82     |          |
| $G_{\text{гг}}$  | кг/с | 2                |           | 2         |           | 2         |           | 2        |          | 2        |          | 2        |          |
| $G_{\text{ww}}$  | кг/с | 5,83             |           | 5,83      |           | 5,83      |           | 5,83     |          | 5,83     |          | 5,83     |          |
| $G_{\text{гвд}}$ | кг/с | 5,83             |           | 5,83      |           | 5,83      |           | 5,83     |          | 5,83     |          | 5,83     |          |
| $G_{\text{wn}}$  | кг/с | 0,1787264        |           | 0,1814344 |           | 0,1842257 |           | 0,187104 |          | 0,190074 |          | 0,19314  |          |
| $G_{\text{wm}}$  | кг/с | 0,5822044        |           | 0,5822044 |           | 0,5822044 |           | 0,582204 |          | 0,582204 |          | 0,582204 |          |
| $G_{\text{wгг}}$ | кг/с | 0,1344583        |           | 0,1344583 |           | 0,1344583 |           | 0,134458 |          | 0,134458 |          | 0,134458 |          |
| $G_{\text{wb1}}$ | кг/с | 0,1787264        |           | 0,1814344 |           | 0,1842257 |           | 0,187104 |          | 0,190074 |          | 0,19314  |          |
| $G_{\text{wb2}}$ | кг/с | 1,5211252        |           | 1,5211252 |           | 1,5211252 |           | 1,521125 |          | 1,521125 |          | 1,521125 |          |
| $G_{\text{wп}}$  | кг/с | 0,8044625        |           | 0,8044625 |           | 0,8044625 |           | 0,804462 |          | 0,804462 |          | 0,804462 |          |
| $T_{\text{в}}$   | К    | 313              | 40        | 313       | 40        | 313       | 40        | 313      | 40       | 313      | 40       | 313      | 40       |
| $P_{\text{о}}$   | Па   | 100000           |           | 100000    |           | 100000    |           | 100000   |          | 100000   |          | 100000   |          |
| $P_{\text{п}}$   | Па   | 200000           |           | 200000    |           | 200000    |           | 200000   |          | 200000   |          | 200000   |          |
| $T_{\text{ww1}}$ | К    | 303              | 30        | 303       | 30        | 303       | 30        | 303      | 30       | 303      | 30       | 303      | 30       |
| $T_{\text{ww2}}$ | К    | 304,68474        | 31,684735 | 304,6787  | 31,678704 | 304,67251 | 31,672508 | 304,6661 | 31,66614 | 304,6596 | 31,65959 | 304,6529 | 31,65286 |
| $T_{\text{ww3}}$ | К    | 317,26447        | 44,264468 | 317,26447 | 44,264468 | 317,26447 | 44,264468 | 317,2645 | 44,26447 | 317,2645 | 44,26447 | 317,2645 | 44,26447 |

Продовження табл. 3.2.5.

|             |     |             |           |           |           |           |           |           |          |          |          |          |          |          |
|-------------|-----|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| $T_1 (T_K)$ | $K$ | $^{\circ}C$ | 398,78356 | 125,78356 | 398,78356 | 125,78356 | 398,78356 | 125,78356 | 398,7836 | 125,7836 | 398,7836 | 125,7836 | 398,7836 | 125,7836 |
| $T_2 (T_s)$ | $K$ | $^{\circ}C$ | 318       | 45        | 318       | 45        | 318       | 45        | 318      | 45       | 318      | 45       | 318      | 45       |
| $T_{гw1}$   | $K$ | $^{\circ}C$ | 370,66407 | 97,664066 | 370,66407 | 97,664066 | 370,66407 | 97,664066 | 370,6641 | 97,66407 | 370,6641 | 97,66407 | 370,6641 | 97,66407 |
| $T_{гw2}$   | $K$ | $^{\circ}C$ | 378       | 105       | 378       | 105       | 378       | 105       | 378      | 105      | 378      | 105      | 378      | 105      |
| $T_{w1}$    |     |             | 311       | 38        | 312       | 39        | 313       | 40        | 314      | 41       | 315      | 42       | 316      | 43       |
| $T_{w2}$    | $K$ | $^{\circ}C$ | 317,5     | 44,5      | 317,5     | 44,5      | 317,5     | 44,5      | 317,5    | 44,5     | 317,5    | 44,5     | 317,5    | 44,5     |
| $T_{wh2}$   | $K$ | $^{\circ}C$ | 378       | 105       | 378       | 105       | 378       | 105       | 378      | 105      | 378      | 105      | 378      | 105      |
| $T_{wm2}$   | $K$ | $^{\circ}C$ | 353       | 80        | 353       | 80        | 353       | 80        | 353      | 80       | 353      | 80       | 353      | 80       |
| $T_{wt2}$   | $K$ | $^{\circ}C$ | 353       | 80        | 353       | 80        | 353       | 80        | 353      | 80       | 353      | 80       | 353      | 80       |
| $T_{w3}$    | $K$ | $^{\circ}C$ | 363,98816 | 90,988158 | 364,01044 | 91,010444 | 364,03334 | 91,033342 | 364,0569 | 91,05688 | 364,0811 | 91,08108 | 364,106  | 91,10597 |
| $T_{wt}$    | $K$ | $^{\circ}C$ | 357,99019 | 84,990188 | 358,05052 | 85,050522 | 358,11233 | 85,112333 | 358,1757 | 85,17568 | 358,2406 | 85,24061 | 358,3072 | 85,30719 |
| $T_{m1}$    | $K$ | $^{\circ}C$ | 363       | 90        | 363       | 90        | 363       | 90        | 363      | 90       | 363      | 90       | 363      | 90       |
| $T_{m2}$    | $K$ | $^{\circ}C$ | 355,27027 | 82,270273 | 355,27027 | 82,270273 | 355,27027 | 82,270273 | 355,2703 | 82,27027 | 355,2703 | 82,27027 | 355,2703 | 82,27027 |
| $T_{г1}$    | $K$ | $^{\circ}C$ | 363       | 90        | 363       | 90        | 363       | 90        | 363      | 90       | 363      | 90       | 363      | 90       |
| $T_{г2}$    | $K$ | $^{\circ}C$ | 357,80789 | 84,807892 | 357,80789 | 84,807892 | 357,80789 | 84,807892 | 357,8079 | 84,80789 | 357,8079 | 84,80789 | 357,8079 | 84,80789 |
| ОНВ         |     |             |           |           |           |           |           |           |          |          |          |          |          |          |
| схема       |     |             | 3         |           | 3         |           | 3         |           | 3        |          | 3        |          | 3        |          |
| $Z$         |     |             | 1         |           | 1         |           | 1         |           | 1        |          | 1        |          | 1        |          |
| $b_{wt}$    |     |             | 65        |           | 65        |           | 65        |           | 65       |          | 65       |          | 65       |          |

|                  |          |  |           |           |           |           |           |           |          |          |          |          |          |          |
|------------------|----------|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| $b_{wt}$         |          |  | 2         | 2         | 2         | 2         | 2         | 2         | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        |
| $k_{q_{нв}}$     | Вт/кг·К  |  | 128,12748 | 203,09927 | 126,64846 | 203,09927 | 125,12548 | 203,09927 | 123,3465 | 203,0993 | 121,0084 | 203,0993 | 117,9556 | 203,0993 |
| $\eta_{нв}$      |          |  | 0,9202584 | 0,96285   | 0,9308625 | 0,96285   | 0,9417138 | 0,96285   | 0,952821 | 0,96285  | 0,964193 | 0,96285  | 0,975841 | 0,96285  |
| $\Delta p_{нв}$  | мм.в.ст. |  |           | 153,17211 |           | 153,17211 |           | 153,17211 |          | 153,1721 |          | 153,1721 |          | 153,1721 |
| $\Delta p_{внв}$ | кПа      |  |           | 32,55166  |           | 32,55166  |           | 32,55166  |          | 32,55166 |          | 32,55166 |          | 32,55166 |
| $S_{нв}$         |          |  | 0,8293767 | 0,3300314 | 0,816998  | 0,3300314 | 0,8046192 | 0,3300314 | 0,79224  | 0,330031 | 0,779862 | 0,330031 | 0,767483 | 0,330031 |
| $M_{нв}$         | кг       |  | 31,840454 | 44,583932 | 34,305977 | 45,876484 | 37,322232 | 49,990004 | 41,21788 | 54,63358 | 46,63097 | 62,96043 | 54,87839 | 73,0194  |

|                  |         |  |           |           |           |           |           |           |          |          |          |          |          |          |
|------------------|---------|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| ВВО1             |         |  |           |           |           |           |           |           |          |          |          |          |          |          |
| схема            |         |  | 1         |           | 1         |           | 1         |           | 1        |          | 1        |          | 1        |          |
| $b_w$            |         |  | 62        |           | 59        |           | 56        |           | 54       |          | 52       |          | 50       |          |
| $b_{ww}$         |         |  | 1         |           | 1         |           | 1         |           | 1        |          | 1        |          | 1        |          |
| $b_p$            |         |  | 2         |           | 2         |           | 2         |           | 2        |          | 2        |          | 2        |          |
| $k_D$            | Вт/кг·К |  | 0,115     |           | 0,115     |           | 0,115     |           | 0,115    |          | 0,115    |          | 0,115    |          |
| $\eta_{в1}$      |         |  | 0,868827  |           | 0,8524843 |           | 0,8361551 |           | 0,81984  |          | 0,80354  |          | 0,787255 |          |
| $\Delta p_{wb}$  | кПа     |  | 6,8583339 |           | 6,7214426 |           | 6,5761043 |           | 6,52879  |          | 6,477458 |          | 6,421668 |          |
| $\Delta p_{wwb}$ | кПа     |  | 9,4201493 |           | 9,0098276 |           | 8,5994736 |           | 8,326029 |          | 8,052564 |          | 7,77908  |          |
| $S_b$            |         |  | 0,0317946 |           | 0,0322763 |           | 0,0327729 |           | 0,033285 |          | 0,033813 |          | 0,034359 |          |
| $k_D$            |         |  | 0,115     |           | 0,115     |           | 0,115     |           | 0,115    |          | 0,115    |          | 0,115    |          |
| $w_w$            |         |  | 0,5180017 |           | 0,5261092 |           | 0,5344536 |           | 0,543048 |          | 0,551906 |          | 0,561041 |          |
| $M_{в1}$         | 0       |  | 11,826194 | 11,826194 | 11,250956 | 11,250956 | 10,675717 | 10,675717 | 10,29222 | 10,29222 | 9,908732 | 9,908732 | 9,52524  | 9,52524  |
| ВВО2             |         |  |           |           |           |           |           |           |          |          |          |          |          |          |
| схема            |         |  | 1         | 1         | 1         | 1         | 1         | 1         | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        |
| $b_w$            |         |  | 62        | 62        | 59        | 59        | 56        | 56        | 54       | 54       | 52       | 52       | 50       | 50       |
| $b_{ww}$         |         |  | 1         | 1         | 1         | 1         | 1         | 1         | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        |
| $b_p$            |         |  | 2         | 2         | 2         | 2         | 2         | 2         | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        |
| $k_D$            | Вт/кг·К |  | 131,01546 | 131,01546 | 131,67961 | 131,67961 | 133,14264 | 133,14264 | 132,8656 | 132,8656 | 133,0798 | 133,0798 | 133,7545 | 133,7545 |
| $\eta_{в2}$      |         |  | 0,868827  | 0,868827  | 0,8524843 | 0,8524843 | 0,8361551 | 0,8361551 | 0,81984  | 0,81984  | 0,80354  | 0,80354  | 0,787255 | 0,787255 |
| $\Delta p_{wb}$  | кПа     |  | 32,57415  | 37,018863 | 32,573816 | 37,018863 | 32,573473 | 37,018863 | 32,57311 | 37,01886 | 32,57275 | 37,01886 | 32,57237 | 37,01886 |
| $\Delta p_{wwb}$ | кПа     |  | 19,861805 | 54,19129  | 19,862587 | 54,19129  | 19,86339  | 54,19129  | 19,86422 | 54,19129 | 19,86506 | 54,19129 | 19,86594 | 54,19129 |
| $S_{в2}$         |         |  | 0,2706008 | 0,0317946 | 0,2706008 | 0,0322763 | 0,2706008 | 0,0327729 | 0,270601 | 0,033285 | 0,270601 | 0,033813 | 0,270601 | 0,034359 |
| $k_D$            |         |  | 0,2       |           | 0,2       |           | 0,2       |           | 0,2      |          | 0,2      |          | 0,2      |          |
| $w_w$            |         |  | 0,7296566 |           | 0,7296594 |           | 0,7296623 |           | 0,729665 |          | 0,729668 |          | 0,729672 |          |
| $M_{в2}$         | 0       |  | 72,455767 | 72,45539  | 72,45539  | 72,45539  | 72,45539  | 72,45539  | 72,4558  | 72,45539 | 72,45539 | 72,45539 | 72,45582 | 72,45539 |

Продовження табл. 3.2.5.(1)

|                 |     |  |           |           |           |           |           |           |          |          |          |          |          |          |
|-----------------|-----|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| <b>МО</b>       |     |  |           |           |           |           |           |           |          |          |          |          |          |          |
| схема           |     |  | 4         |           | 4         |           | 4         |           | 4        |          | 4        |          | 4        |          |
| $b_m$           |     |  | 26        |           | 26        |           | 26        |           | 26       |          | 26       |          | 26       |          |
| $b_w$           |     |  | 8         |           | 8         |           | 8         |           | 8        |          | 8        |          | 8        |          |
| $b_p$           |     |  | 4         |           | 4         |           | 4         |           | 4        |          | 4        |          | 4        |          |
| $\eta_{mo}$     |     |  | 0,7802198 |           | 0,7802198 |           | 0,7802198 |           | 0,78022  |          | 0,78022  |          | 0,78022  |          |
| $\Delta p_m$    | кПа |  |           |           |           |           |           |           |          |          |          |          |          |          |
| $\Delta p_{wm}$ | кПа |  |           |           |           |           |           |           |          |          |          |          |          |          |
| $S_m$           |     |  | 0,7802198 |           | 0,7802198 |           | 0,7802198 |           | 0,78022  |          | 0,78022  |          | 0,78022  |          |
| $k_D$           |     |  | 0,2       |           | 0,2       |           | 0,2       |           | 0,2      |          | 0,2      |          | 0,2      |          |
| $w_m$           |     |  | 1,194499  |           | 1,194499  |           | 1,194499  |           | 1,194499 |          | 1,194499 |          | 1,194499 |          |
| $M_{mo}$        | кг  |  | 86,616746 | 88,549011 | 86,616746 | 88,549011 | 86,616746 | 88,549011 | 86,61675 | 88,54901 | 86,61675 | 88,54901 | 86,61675 | 88,54901 |
| <b>Г</b>        |     |  |           |           |           |           |           |           |          |          |          |          |          |          |
| схема           |     |  | 4         | 4         | 4         | 4         | 4         | 4         | 4        | 4        | 4        | 4        | 4        | 4        |
| $b_m$           |     |  | 28        | 26        | 28        | 26        | 28        | 26        | 28       | 26       | 28       | 26       | 28       | 26       |
| $b_w$           |     |  | 8         | 8         | 8         | 8         | 8         | 8         | 8        | 8        | 8        | 8        | 8        | 8        |
| $b_p$           |     |  | 4         | 4         | 4         | 4         | 4         | 4         | 4        | 4        | 4        | 4        | 4        | 4        |
| $\eta_r$        |     |  | 0,7802198 | 0,7805124 | 0,7802198 | 0,7805124 | 0,7802198 | 0,7805124 | 0,78022  | 0,780512 | 0,78022  | 0,780512 | 0,78022  | 0,780512 |
| $\Delta p_m$    | кПа |  |           | 153,27513 |           | 153,27513 |           | 153,27513 |          | 153,2751 |          | 153,2751 |          | 153,2751 |
| $\Delta p_{wm}$ | кПа |  |           | 57,081842 |           | 57,081842 |           | 57,081842 |          | 57,08184 |          | 57,08184 |          | 57,08184 |
| $S_r$           |     |  | 0,1462566 | 0,2176572 | 0,1462566 | 0,2176572 | 0,1462566 | 0,2176572 | 0,146257 | 0,217657 | 0,146257 | 0,217657 | 0,146257 | 0,217657 |
| $k_D$           |     |  |           |           |           |           |           |           |          |          |          |          |          |          |
| $w_m$           |     |  |           |           |           |           |           |           |          |          |          |          |          |          |
| $M_r$           | кг  |  | 21,697537 | 21,689993 | 21,697537 | 21,689993 | 21,697537 | 21,689993 | 21,69754 | 21,68999 | 21,69754 | 21,68999 | 21,69754 | 21,68999 |
| $\eta_o$        |     |  | 0,8433969 |           | 0,8433969 |           | 0,8433969 |           | 0,843397 |          | 0,843397 |          | 0,843397 |          |
| $M_\Sigma$      | кг  |  | 224,4367  | 239,10452 | 226,32661 | 239,82183 | 228,76762 | 243,36011 | 232,2802 | 247,6202 | 237,3094 | 255,5636 | 245,1737 | 265,239  |
| Індикатор       |     |  | Верно     |           | Верно     |           | Верно     |           | Верно    |          | Верно    |          | Верно    |          |

Таблиця. 3.2.6. Розрахунок впливу  $t_{wm2}$  на  $M_\Sigma$  при постійних  $t_{w1}$ ,  $t_{wn2}$ 

| Вплив $t_{wm2}$ |    |          |    |          |    |          |    |            |    |            |    |
|-----------------|----|----------|----|----------|----|----------|----|------------|----|------------|----|
| 1               |    | 2        |    | 3        |    | 4        |    | 5          |    | 6          |    |
| 179,2           |    | 179,2    |    | 179,2    |    | 179,2    |    | 179,2      |    | 179,2      |    |
| 86,6            |    | 86,6     |    | 86,6     |    | 86,6     |    | 86,6       |    | 86,6       |    |
| 20              |    | 20       |    | 20       |    | 20       |    | 20         |    | 20         |    |
| 50,17386        |    | 50,17386 |    | 50,17386 |    | 50,17386 |    | 50,1738585 |    | 50,1738585 |    |
| 0,618           |    | 0,618    |    | 0,618    |    | 0,618    |    | 0,618      |    | 0,618      |    |
| 5,82            |    | 5,82     |    | 5,82     |    | 5,82     |    | 5,82       |    | 5,82       |    |
| 2               |    | 2        |    | 2        |    | 2        |    | 2          |    | 2          |    |
| 5,83            |    | 5,83     |    | 5,83     |    | 5,83     |    | 5,83       |    | 5,83       |    |
| 5,83            |    | 5,83     |    | 5,83     |    | 5,83     |    | 5,83       |    | 5,83       |    |
| 0,178726        |    | 0,178726 |    | 0,178726 |    | 0,178726 |    | 0,17872639 |    | 0,17872639 |    |
| 1,333436        |    | 0,8795   |    | 0,779934 |    | 0,700619 |    | 0,63594639 |    | 0,58220444 |    |
| 0,307953        |    | 0,203118 |    | 0,180123 |    | 0,161806 |    | 0,14686984 |    | 0,1344583  |    |
| 0,178726        |    | 0,178726 |    | 0,178726 |    | 0,178726 |    | 0,17872639 |    | 0,17872639 |    |
| 2,445851        |    | 1,887081 |    | 1,76452  |    | 1,666887 |    | 1,58727871 |    | 1,52112523 |    |
| 0,804462        |    | 0,804462 |    | 0,804462 |    | 0,804462 |    | 0,80446248 |    | 0,80446248 |    |
| 313             | 40 | 313      | 40 | 313      | 40 | 313      | 40 | 313        | 40 | 313        | 40 |
| 100000          |    | 100000   |    | 100000   |    | 100000   |    | 100000     |    | 100000     |    |

Продовження табл. 3.2.6.

|          |          |          |          |          |          |          |          |            |          |            |          |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|------------|----------|------------|----------|
| 200000   |          | 200000   |          | 200000   |          | 200000   |          | 200000     |          | 200000     |          |
| 303      | 30       | 303      | 30       | 303      | 30       | 303      | 30       | 303        | 30       | 303        | 30       |
| 304,164  | 31,16396 | 304,4229 | 31,4229  | 304,4996 | 31,4996  | 304,568  | 31,568   | 304,629367 | 31,62937 | 304,684735 | 31,68474 |
| 317,2645 | 44,26447 | 317,2645 | 44,26447 | 317,2645 | 44,26447 | 317,2645 | 44,26447 | 317,264468 | 44,26447 | 317,264468 | 44,26447 |
| 398,7836 | 125,7836 | 398,7836 | 125,7836 | 398,7836 | 125,7836 | 398,7836 | 125,7836 | 398,783556 | 125,7836 | 398,783556 | 125,7836 |
| 318      | 45       | 318      | 45       | 318      | 45       | 318      | 45       | 318        | 45       | 318        | 45       |
| 370,6641 | 97,66407 | 370,6641 | 97,66407 | 370,6641 | 97,66407 | 370,6641 | 97,66407 | 370,664066 | 97,66407 | 370,664066 | 97,66407 |
| 378      | 105      | 378      | 105      | 378      | 105      | 378      | 105      | 378        | 105      | 378        | 105      |
| 311      | 38       | 311      | 38       | 311      | 38       | 311      | 38       | 311        | 38       | 311        | 38       |
| 317,5    | 44,5     | 317,5    | 44,5     | 317,5    | 44,5     | 317,5    | 44,5     | 317,5      | 44,5     | 317,5      | 44,5     |
| 378      | 105      | 378      | 105      | 378      | 105      | 378      | 105      | 378        | 105      | 378        | 105      |
| 333      | 60       | 341      | 68       | 344      | 71       | 347      | 74       | 350        | 77       | 353        | 80       |
| 333      | 60       | 341      | 68       | 344      | 71       | 347      | 74       | 350        | 77       | 353        | 80       |
| 347,6088 | 74,60883 | 355,7528 | 82,75283 | 358,1654 | 85,16544 | 360,3166 | 87,31664 | 362,24674  | 89,24674 | 363,988158 | 90,98816 |
| 337,4188 | 64,41878 | 346,2427 | 73,24272 | 349,3361 | 76,33613 | 352,3215 | 79,32153 | 355,20449  | 82,20449 | 357,990188 | 84,99019 |
| 363      | 90       | 363      | 90       | 363      | 90       | 363      | 90       | 363        | 90       | 363        | 90       |
| 355,2703 | 82,27027 | 355,2703 | 82,27027 | 355,2703 | 82,27027 | 355,2703 | 82,27027 | 355,270273 | 82,27027 | 355,270273 | 82,27027 |
| 363      | 90       | 363      | 90       | 363      | 90       | 363      | 90       | 363        | 90       | 363        | 90       |
| 357,8079 | 84,80789 | 357,8079 | 84,80789 | 357,8079 | 84,80789 | 357,8079 | 84,80789 | 357,807892 | 84,80789 | 357,807892 | 84,80789 |
|          |          |          |          |          |          |          |          |            |          |            |          |
| 3        |          | 3        |          | 3        |          | 3        |          | 3          |          | 3          |          |
| 1        |          | 1        |          | 1        |          | 1        |          | 1          |          | 1          |          |
| 65       |          | 65       |          | 65       |          | 65       |          | 65         |          | 65         |          |
| 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2          | 2        | 2          | 2        |

|          |          |          |          |          |          |          |          |            |          |            |          |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|------------|----------|------------|----------|
| 128,1275 | 203,0993 | 128,1275 | 203,0993 | 128,1275 | 203,0993 | 128,1275 | 203,0993 | 128,127482 | 203,0993 | 128,127482 | 203,0993 |
| 0,920258 | 0,96285  | 0,920258 | 0,96285  | 0,920258 | 0,96285  | 0,920258 | 0,96285  | 0,92025841 | 0,96285  | 0,92025841 | 0,96285  |
|          | 153,1721 |          | 153,1721 |          | 153,1721 |          | 153,1721 |            | 153,1721 |            | 153,1721 |
|          | 32,55166 |          | 32,55166 |          | 32,55166 |          | 32,55166 |            | 32,55166 |            | 32,55166 |
| 0,829377 | 0,330031 | 0,829377 | 0,330031 | 0,829377 | 0,330031 | 0,829377 | 0,330031 | 0,82937672 | 0,330031 | 0,82937672 | 0,330031 |
| 31,84045 | 44,58393 | 31,84045 | 44,58393 | 31,84045 | 44,58393 | 31,84045 | 44,58393 | 31,8404539 | 44,58393 | 31,8404539 | 44,58393 |
|          |          |          |          |          |          |          |          |            |          |            |          |
| 1        |          | 1        |          | 1        |          | 1        |          | 1          |          | 1          |          |
| 53       |          | 57       |          | 59       |          | 60       |          | 61         |          | 62         |          |
| 1        |          | 1        |          | 1        |          | 1        |          | 1          |          | 1          |          |
| 2        |          | 2        |          | 2        |          | 2        |          | 2          |          | 2          |          |
| 0,115    |          | 0,115    |          | 0,115    |          | 0,115    |          | 0,115      |          | 0,115      |          |
| 0,820663 |          | 0,848349 |          | 0,854982 |          | 0,860424 |          | 0,86497147 |          | 0,86882699 |          |
| 5,999548 |          | 6,380596 |          | 6,573972 |          | 6,668415 |          | 6,76322332 |          | 6,85833395 |          |
| 8,222118 |          | 8,754006 |          | 9,022881 |          | 9,154954 |          | 9,28739445 |          | 9,42014925 |          |
| 0,031795 |          | 0,031795 |          | 0,031795 |          | 0,031795 |          | 0,03179456 |          | 0,03179456 |          |
| 0,115    |          | 0,115    |          | 0,115    |          | 0,115    |          | 0,115      |          | 0,115      |          |
| 0,516834 |          | 0,517425 |          | 0,517596 |          | 0,517747 |          | 0,51788135 |          | 0,51800171 |          |

Продовження табл. 3.2.6.(1)

|          |          |          |          |          |          |          |          |            |          |            |          |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|------------|----------|------------|----------|
| 10,10048 | 10,10048 | 10,86746 | 10,86746 | 11,25096 | 11,25096 | 11,4427  | 11,4427  | 11,6344482 | 11,63445 | 11,8261945 | 11,82619 |
|          |          |          |          |          |          |          |          |            |          |            |          |
| 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1          | 1        | 1          | 1        |
| 53       | 53       | 57       | 57       | 59       | 59       | 60       | 60       | 61         | 61       | 62         | 62       |
| 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1          | 1        | 1          | 1        |
| 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2          | 2        | 2          | 2        |
| 129,5714 | 129,5714 | 132,297  | 132,297  | 130,8469 | 130,8469 | 131,2281 | 131,2281 | 131,257234 | 131,2572 | 131,015458 | 131,0155 |
| 0,820663 | 0,820663 | 0,848349 | 0,848349 | 0,854982 | 0,854982 | 0,860424 | 0,860424 | 0,86497147 | 0,864971 | 0,86882699 | 0,868827 |
| 33,43836 | 37,01886 | 34,84954 | 37,01886 | 29,22511 | 37,01886 | 40,94661 | 37,01886 | 35,9662383 | 37,01886 | 32,5741495 | 37,01886 |
| 22,32379 | 54,19129 | 43,17668 | 54,19129 | 41,66631 | 54,19129 | 20,98768 | 54,19129 | 20,2390656 | 54,19129 | 19,8618047 | 54,19129 |
| 0,435105 | 0,031795 | 0,335702 | 0,031795 | 0,3139   | 0,031795 | 0,296531 | 0,031795 | 0,28236918 | 0,031795 | 0,2706008  | 0,031795 |
| 0,2      |          | 0,2      |          | 0,2      |          | 0,2      |          | 0,2        |          | 0,2        |          |
| 0,770343 |          | 0,778705 |          | 0,728405 |          | 0,799136 |          | 0,7611917  |          | 0,72965657 |          |
| 94,21435 | 94,21435 | 77,23668 | 77,23668 | 73,26363 | 73,26363 | 76,90305 | 76,90305 | 73,9379425 | 73,93794 | 72,4557668 | 72,45539 |
|          |          |          |          |          |          |          |          |            |          |            |          |
| 4        |          | 4        |          | 4        |          | 4        |          | 4          |          | 4          |          |
| 16       |          | 19       |          | 20       |          | 21       |          | 23         |          | 26         |          |
| 4        |          | 5        |          | 6        |          | 7        |          | 8          |          | 8          |          |
| 4        |          | 4        |          | 4        |          | 4        |          | 4          |          | 4          |          |
| 0,340659 |          | 0,516484 |          | 0,582418 |          | 0,648352 |          | 0,71428571 |          | 0,78021978 |          |
|          |          |          |          |          |          |          |          |            |          |            |          |
|          |          |          |          |          |          |          |          |            |          |            |          |
| 0,340659 |          | 0,516484 |          | 0,582418 |          | 0,648352 |          | 0,71428571 |          | 0,78021978 |          |
| 0,2      |          | 0,2      |          | 0,2      |          | 0,2      |          | 0,2        |          | 0,2        |          |

|          |          |          |          |          |          |          |          |            |          |            |          |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|------------|----------|------------|----------|
| 1,194499 |          | 1,194499 |          | 1,194499 |          | 1,194499 |          | 1,19449897 |          | 1,19449897 |          |
| 54,18137 | 54,38669 | 64,16161 | 64,63539 | 67,41338 | 68,05162 | 70,60221 | 71,46785 | 77,0496499 | 78,30031 | 86,6167462 | 88,54901 |
|          |          |          |          |          |          |          |          |            |          |            |          |
| 4        | 4        | 4        | 4        | 4        | 4        | 4        | 4        | 4          | 4        | 4          | 4        |
| 17       | 16       | 20       | 19       | 22       | 20       | 23       | 21       | 25         | 23       | 28         | 26       |
| 4        | 4        | 6        | 5        | 6        | 6        | 7        | 7        | 8          | 8        | 8          | 8        |
| 4        | 4        | 4        | 4        | 4        | 4        | 4        | 4        | 4          | 4        | 4          | 4        |
| 0,340659 | 0,340787 | 0,516484 | 0,516677 | 0,582418 | 0,582636 | 0,648352 | 0,648595 | 0,71428571 | 0,714554 | 0,78021978 | 0,780512 |
|          | 92,95552 |          | 111,0654 |          | 117,0986 |          | 123,1305 |            | 135,1909 |            | 153,2751 |
|          | 23,6189  |          | 23,70106 |          | 34,15571 |          | 45,57992 |            | 60,68428 |            | 57,08184 |
| 0,334975 | 0,498505 | 0,220941 | 0,328801 | 0,195929 | 0,291578 | 0,176004 | 0,261926 | 0,15975717 | 0,237749 | 0,14625656 | 0,217657 |
|          |          |          |          |          |          |          |          |            |          |            |          |
|          |          |          |          |          |          |          |          |            |          |            |          |
| 13,14447 | 13,14211 | 15,47666 | 15,47335 | 17,03148 | 17,02751 | 17,80919 | 17,80459 | 19,3644198 | 19,35875 | 21,6975365 | 21,68999 |
| 0,843397 |          | 0,843397 |          | 0,843397 |          | 0,843397 |          | 0,84339692 |          | 0,84339692 |          |
| 203,4811 | 216,4276 | 199,5829 | 212,7968 | 200,7999 | 214,1776 | 208,5976 | 222,2021 | 213,826914 | 227,8154 | 224,436698 | 239,1045 |
| Верно    |          | Верно    |          | Верно    |          | Верно    |          | Верно      |          | Верно      |          |

Таблиця. 3.2.7. Розрахунок впливу  $t_{wH2}$  на  $M_{\Sigma}$  при постійних  $t_{w1}$ ,  $t_{wM2}$ ,  $t_{wT2}$ 

| Вплив $t_{wH2}$ |    |          |    |          |    |          |    |          |    |
|-----------------|----|----------|----|----------|----|----------|----|----------|----|
| 1               |    | 2        |    | 3        |    | 4        |    | 5        |    |
| 179,2           |    | 179,2    |    | 179,2    |    | 179,2    |    | 179,2    |    |
| 86,6            |    | 86,6     |    | 86,6     |    | 86,6     |    | 86,6     |    |
| 20              |    | 20       |    | 20       |    | 20       |    | 20       |    |
| 50,17386        |    | 50,17386 |    | 50,17386 |    | 50,17386 |    | 50,17386 |    |
| 0,618           |    | 0,618    |    | 0,618    |    | 0,618    |    | 0,618    |    |
| 5,82            |    | 5,82     |    | 5,82     |    | 5,82     |    | 5,82     |    |
| 2               |    | 2        |    | 2        |    | 2        |    | 2        |    |
| 5,83            |    | 5,83     |    | 5,83     |    | 5,83     |    | 5,83     |    |
| 5,83            |    | 5,83     |    | 5,83     |    | 5,83     |    | 5,83     |    |
| 0,178726        |    | 0,171067 |    | 0,166315 |    | 0,16182  |    | 0,155515 |    |
| 0,843602        |    | 0,843602 |    | 0,843602 |    | 0,843602 |    | 0,843602 |    |
| 0,194827        |    | 0,194827 |    | 0,194827 |    | 0,194827 |    | 0,194827 |    |
| 0,178726        |    | 0,171067 |    | 0,166315 |    | 0,16182  |    | 0,155515 |    |
| 1,842892        |    | 1,842892 |    | 1,842892 |    | 1,842892 |    | 1,842892 |    |
| 0,804462        |    | 0,804462 |    | 0,804462 |    | 0,804462 |    | 0,804462 |    |
| 313             | 40 | 313      | 40 | 313      | 40 | 313      | 40 | 313      | 40 |
| 100000          |    | 100000   |    | 100000   |    | 100000   |    | 100000   |    |
| 200000          |    | 200000   |    | 200000   |    | 200000   |    | 200000   |    |

|          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 303      | 30       | 303      | 30       | 303      | 30       | 303      | 30       | 303      | 30       |
| 304,4495 | 31,44948 | 304,3926 | 31,39264 | 304,3572 | 31,35715 | 304,3234 | 31,32344 | 304,2759 | 31,27589 |
| 317,2645 | 44,26447 | 317,2645 | 44,26447 | 317,2645 | 44,26447 | 317,2645 | 44,26447 | 317,2645 | 44,26447 |
| 398,7836 | 125,7836 | 398,7836 | 125,7836 | 398,7836 | 125,7836 | 398,7836 | 125,7836 | 398,7836 | 125,7836 |
| 318      | 45       | 318      | 45       | 318      | 45       | 318      | 45       | 318      | 45       |
| 370,6641 | 97,66407 | 370,6641 | 97,66407 | 370,6641 | 97,66407 | 370,6641 | 97,66407 | 370,6641 | 97,66407 |
| 378      | 105      | 378      | 105      | 378      | 105      | 378      | 105      | 378      | 105      |
| 311      | 38       | 311      | 38       | 311      | 38       | 311      | 38       | 311      | 38       |
| 317,5    | 44,5     | 317,5    | 44,5     | 317,5    | 44,5     | 317,5    | 44,5     | 317,5    | 44,5     |
| 378      | 105      | 381      | 108      | 383      | 110      | 385      | 112      | 388      | 115      |
| 342      | 69       | 342      | 69       | 342      | 69       | 342      | 69       | 342      | 69       |
| 342      | 69       | 342      | 69       | 342      | 69       | 342      | 69       | 342      | 69       |
| 356,589  | 83,58896 | 356,7624 | 83,76235 | 356,8706 | 83,87058 | 356,9734 | 83,97343 | 357,1185 | 84,11847 |
| 347,2862 | 74,28622 | 347,516  | 74,51602 | 347,66   | 74,66004 | 347,7973 | 74,79734 | 347,9916 | 74,99165 |
| 363      | 90       | 363      | 90       | 363      | 90       | 363      | 90       | 363      | 90       |
| 355,2703 | 82,27027 | 355,2703 | 82,27027 | 355,2703 | 82,27027 | 355,2703 | 82,27027 | 355,2703 | 82,27027 |

|     |      |         |         |      |                        |  |  |  |  |      |
|-----|------|---------|---------|------|------------------------|--|--|--|--|------|
|     |      |         |         |      | КРМ.142.6221м.02.03.ПЗ |  |  |  |  | Лист |
|     |      |         |         |      |                        |  |  |  |  |      |
| Изм | Лист | № докум | Подпись | Дата |                        |  |  |  |  | 44   |

Продовження табл. 3.2.7.

|          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 363      | 90       | 363      | 90       | 363      | 90       | 363      | 90       | 363      | 90       |
| 357,8079 | 84,80789 | 357,8079 | 84,80789 | 357,8079 | 84,80789 | 357,8079 | 84,80789 | 357,8079 | 84,80789 |
|          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| 3        |          | 3        |          | 3        |          | 3        |          | 3        |          |
| 1        |          | 1        |          | 1        |          | 1        |          | 1        |          |
| 65       |          | 65       |          | 65       |          | 65       |          | 65       |          |
| 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        |
| 128,1275 | 203,0993 | 126,2518 | 203,0993 | 124,7565 | 203,0993 | 123,0337 | 203,0993 | 120,0785 | 203,0993 |
| 0,920258 | 0,96285  | 0,920258 | 0,96285  | 0,920258 | 0,96285  | 0,920258 | 0,96285  | 0,920258 | 0,96285  |
|          | 153,1721 |          | 153,1721 |          | 153,1721 |          | 153,1721 |          | 153,1721 |
|          | 32,55166 |          | 32,55166 |          | 32,55166 |          | 32,55166 |          | 32,55166 |
| 0,829377 | 0,330031 | 0,866513 | 0,330031 | 0,891271 | 0,330031 | 0,916028 | 0,330031 | 0,953164 | 0,330031 |
| 31,84045 | 44,58393 | 35,49021 | 49,13625 | 38,53641 | 53,39187 | 42,26981 | 58,09849 | 49,74055 | 67,75682 |
|          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| 1        |          | 1        |          | 1        |          | 1        |          | 1        |          |
| 58       |          | 56       |          | 55       |          | 53       |          | 52       |          |
| 1        |          | 1        |          | 1        |          | 1        |          | 1        |          |
| 2        |          | 2        |          | 2        |          | 2        |          | 2        |          |
| 0,115    |          | 0,115    |          | 0,115    |          | 0,115    |          | 0,115    |          |

|          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 0,850716 |          | 0,851197 |          | 0,851496 |          | 0,851779 |          | 0,852176 |          |
| 6,478139 |          | 5,823714 |          | 5,463063 |          | 5,049725 |          | 4,646744 |          |
| 8,889335 |          | 8,618869 |          | 8,484016 |          | 8,2116   |          | 8,077316 |          |
| 0,031795 |          | 0,030432 |          | 0,029587 |          | 0,028787 |          | 0,027665 |          |
| 0,115    |          | 0,115    |          | 0,115    |          | 0,115    |          | 0,115    |          |
| 0,517485 |          | 0,495316 |          | 0,481562 |          | 0,468552 |          | 0,450304 |          |
| 11,05921 | 11,05921 | 10,67572 | 10,67572 | 10,48397 | 10,48397 | 10,10048 | 10,10048 | 9,908732 | 9,908732 |
|          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        |
| 58       | 58       | 56       | 56       | 55       | 55       | 53       | 53       | 52       | 52       |
| 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        |
| 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        |
| 131,0976 | 131,0976 | 130,109  | 130,109  | 128,8839 | 128,8839 | 130,2341 | 130,2341 | 127,6818 | 127,6818 |
| 0,850716 | 0,850716 | 0,851197 | 0,851197 | 0,851496 | 0,851496 | 0,851779 | 0,851779 | 0,852176 | 0,852176 |
| 32,5146  | 37,01886 | 32,51191 | 37,01886 | 32,51024 | 37,01886 | 32,50864 | 37,01886 | 32,5064  | 37,01886 |

Продовження табл. 3.2.7.(2)

|          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 42,42408 | 54,19129 | 42,43774 | 54,19129 | 42,44628 | 54,19129 | 42,4544  | 54,19129 | 42,46585 | 54,19129 |
| 0,327842 | 0,031795 | 0,327842 | 0,030432 | 0,327842 | 0,029587 | 0,327842 | 0,028787 | 0,327842 | 0,027665 |
| 0,2      |          | 0,2      |          | 0,2      |          | 0,2      |          | 0,2      |          |
| 0,760571 |          | 0,760595 |          | 0,76061  |          | 0,760624 |          | 0,760644 |          |
| 75,25016 | 75,25016 | 75,25016 | 75,25016 | 75,25016 | 75,25016 | 75,25016 | 75,25016 | 75,25016 | 75,25016 |
|          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| 4        |          | 4        |          | 4        |          | 4        |          | 4        |          |
| 19       |          | 19       |          | 19       |          | 19       |          | 19       |          |
| 6        |          | 6        |          | 6        |          | 6        |          | 6        |          |
| 4        |          | 4        |          | 4        |          | 4        |          | 4        |          |
| 0,538462 |          | 0,538462 |          | 0,538462 |          | 0,538462 |          | 0,538462 |          |

|          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 0,538462 |          | 0,538462 |          | 0,538462 |          | 0,538462 |          | 0,538462 |          |
| 0,2      |          | 0,2      |          | 0,2      |          | 0,2      |          | 0,2      |          |
| 1,194499 |          | 1,194499 |          | 1,194499 |          | 1,194499 |          | 1,194499 |          |
| 64,12117 | 64,63539 | 64,12117 | 64,63539 | 64,12117 | 64,63539 | 64,12117 | 64,63539 | 64,12117 | 64,63539 |
|          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| 4        | 4        | 4        | 4        | 4        | 4        | 4        | 4        | 4        | 4        |
| 20       | 19       | 20       | 19       | 20       | 19       | 20       | 19       | 20       | 19       |

|          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 6        | 6        | 6        | 6        | 6        | 6        | 6        | 6        | 6        | 6        |
| 4        | 4        | 4        | 4        | 4        | 4        | 4        | 4        | 4        | 4        |
| 0,538462 | 0,538664 | 0,538462 | 0,538664 | 0,538462 | 0,538664 | 0,538462 | 0,538664 | 0,538462 | 0,538664 |
|          | 111,0654 |          | 111,0654 |          | 111,0654 |          | 111,0654 |          | 111,0654 |
|          | 37,99626 |          | 37,99626 |          | 37,99626 |          | 37,99626 |          | 37,99626 |
| 0,211923 | 0,315381 | 0,211923 | 0,315381 | 0,211923 | 0,315381 | 0,211923 | 0,315381 | 0,211923 | 0,315381 |
|          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
|          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| 15,47675 | 15,47335 | 15,47675 | 15,47335 | 15,47675 | 15,47335 | 15,47675 | 15,47335 | 15,47675 | 15,47335 |
| 0,843397 |          | 0,843397 |          | 0,843397 |          | 0,843397 |          | 0,843397 |          |
| 197,7477 | 211,002  | 201,014  | 215,1709 | 203,8685 | 219,2347 | 207,2184 | 223,5579 | 214,4974 | 233,0244 |
| Верно    |          | Верно    |          | Верно    |          | Верно    |          | Верно    |          |

Таблиця. 3.2.8. Розрахунок впливу  $t_{w1}$  на  $M_{\Sigma}$  при оптимальних  $t_{wh2}$ ,  $t_{wm2}$

| Розрахунок на оптимум |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
|-----------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1                     |          | 2        |          | 3        |          | 4        |          | 5        |          | 6        |          |
| 179,2                 |          | 179,2    |          | 179,2    |          | 179,2    |          | 179,2    |          | 179,2    |          |
| 86,6                  |          | 86,6     |          | 86,6     |          | 86,6     |          | 86,6     |          | 86,6     |          |
| 20                    |          | 20       |          | 20       |          | 20       |          | 20       |          | 20       |          |
| 50,17386              |          | 50,17386 |          | 50,17386 |          | 50,17386 |          | 50,17386 |          | 50,17386 |          |
| 0,618                 |          | 0,618    |          | 0,618    |          | 0,618    |          | 0,618    |          | 0,618    |          |
| 5,82                  |          | 5,82     |          | 5,82     |          | 5,82     |          | 5,82     |          | 5,82     |          |
| 2                     |          | 2        |          | 2        |          | 2        |          | 2        |          | 2        |          |
| 5,83                  |          | 5,83     |          | 5,83     |          | 5,83     |          | 5,83     |          | 5,83     |          |
| 5,83                  |          | 5,83     |          | 5,83     |          | 5,83     |          | 5,83     |          | 5,83     |          |
| 0,176098              |          | 0,178726 |          | 0,184226 |          | 0,187104 |          | 0,19314  |          | 0,196306 |          |
| 0,843602              |          | 0,843602 |          | 0,843602 |          | 0,843602 |          | 0,843602 |          | 0,843602 |          |
| 0,194827              |          | 0,194827 |          | 0,194827 |          | 0,194827 |          | 0,194827 |          | 0,194827 |          |
| 0,176098              |          | 0,178726 |          | 0,184226 |          | 0,187104 |          | 0,19314  |          | 0,196306 |          |
| 1,842892              |          | 1,842892 |          | 1,842892 |          | 1,842892 |          | 1,842892 |          | 1,842892 |          |
| 0,804462              |          | 0,804462 |          | 0,804462 |          | 0,804462 |          | 0,804462 |          | 0,804462 |          |
| 313                   | 40       | 313      | 40       | 313      | 40       | 313      | 40       | 313      | 40       | 313      | 40       |
| 100000                |          | 100000   |          | 100000   |          | 100000   |          | 100000   |          | 100000   |          |
| 200000                |          | 200000   |          | 200000   |          | 200000   |          | 200000   |          | 200000   |          |
| 303                   | 30       | 303      | 30       | 303      | 30       | 303      | 30       | 303      | 30       | 303      | 30       |
| 304,4586              | 31,45862 | 304,4495 | 31,44948 | 304,4304 | 31,43044 | 304,4205 | 31,42051 | 304,3998 | 31,39979 | 304,389  | 31,38897 |
| 317,2645              | 44,26447 | 317,2645 | 44,26447 | 317,2645 | 44,26447 | 317,2645 | 44,26447 | 317,2645 | 44,26447 | 317,2645 | 44,26447 |
| 398,7836              | 125,7836 | 398,7836 | 125,7836 | 398,7836 | 125,7836 | 398,7836 | 125,7836 | 398,7836 | 125,7836 | 398,7836 | 125,7836 |
| 318                   | 45       | 318      | 45       | 318      | 45       | 318      | 45       | 318      | 45       | 318      | 45       |
| 370,6641              | 97,66407 | 370,6641 | 97,66407 | 370,6641 | 97,66407 | 370,6641 | 97,66407 | 370,6641 | 97,66407 | 370,6641 | 97,66407 |
| 378                   | 105      | 378      | 105      | 378      | 105      | 378      | 105      | 378      | 105      | 378      | 105      |
| 310                   | 37       | 311      | 38       | 313      | 40       | 314      | 41       | 316      | 43       | 317      | 44       |
| 317,5                 | 44,5     | 317,5    | 44,5     | 317,5    | 44,5     | 317,5    | 44,5     | 317,5    | 44,5     | 317,5    | 44,5     |
| 378                   | 105      | 378      | 105      | 378      | 105      | 378      | 105      | 378      | 105      | 378      | 105      |
| 342                   | 69       | 342      | 69       | 342      | 69       | 342      | 69       | 342      | 69       | 342      | 69       |
| 342                   | 69       | 342      | 69       | 342      | 69       | 342      | 69       | 342      | 69       | 342      | 69       |
| 356,5611              | 83,56109 | 356,589  | 83,58896 | 356,647  | 83,64705 | 356,6773 | 83,67732 | 356,7405 | 83,74053 | 356,7735 | 83,77354 |
| 347,2197              | 74,21975 | 347,2862 | 74,28622 | 347,4244 | 74,42436 | 347,4962 | 74,49618 | 347,6457 | 74,64567 | 347,7235 | 74,72351 |
| 363                   | 90       | 363      | 90       | 363      | 90       | 363      | 90       | 363      | 90       | 363      | 90       |
| 355,2703              | 82,27027 | 355,2703 | 82,27027 | 355,2703 | 82,27027 | 355,2703 | 82,27027 | 355,2703 | 82,27027 | 355,2703 | 82,27027 |
| 363                   | 90       | 363      | 90       | 363      | 90       | 363      | 90       | 363      | 90       | 363      | 90       |
| 357,8079              | 84,80789 | 357,8079 | 84,80789 | 357,8079 | 84,80789 | 357,8079 | 84,80789 | 357,8079 | 84,80789 | 357,8079 | 84,80789 |
|                       |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| 3                     |          | 3        |          | 3        |          | 3        |          | 3        |          | 3        |          |
| 1                     |          | 1        |          | 1        |          | 1        |          | 1        |          | 1        |          |
| 60                    |          | 60       |          | 60       |          | 60       |          | 60       |          | 60       |          |

## Продовження табл. 3.2.8.

[illegible]

|          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 131,9968 | 131,9968 | 131,9059 | 131,9059 | 134,4994 | 134,4994 | 134,2601 | 134,2601 | 135,3691 | 135,3691 | 133,4818 | 133,4818 |
| 0,869308 | 0,869308 | 0,850716 | 0,850716 | 0,813596 | 0,813596 | 0,795072 | 0,795072 | 0,758097 | 0,758097 | 0,739649 | 0,739649 |
| 32,51503 | 37,01886 | 32,51459 | 37,01886 | 32,5137  | 37,01886 | 32,51323 | 37,01886 | 32,51225 | 37,01886 | 32,51174 | 37,01886 |
| 42,42188 | 54,19129 | 42,42408 | 54,19129 | 42,42866 | 54,19129 | 42,43104 | 54,19129 | 42,43602 | 54,19129 | 42,43863 | 54,19129 |
| 0,327842 | 0,031327 | 0,327842 | 0,031795 | 0,327842 | 0,032773 | 0,327842 | 0,033285 | 0,327842 | 0,034359 | 0,327842 | 0,034922 |
| 0,2      |          | 0,2      |          | 0,2      |          | 0,2      |          | 0,2      |          | 0,2      |          |
| 0,760567 |          | 0,760571 |          | 0,760579 |          | 0,760583 |          | 0,760592 |          | 0,760596 |          |
| 75,25016 | 75,25016 | 75,25016 | 75,25016 | 75,25016 | 75,25016 | 75,25016 | 75,25016 | 75,25016 | 75,25016 | 75,25016 | 75,25016 |
|          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| 4        |          | 4        |          | 4        |          | 4        |          | 4        |          | 4        |          |
| 19       |          | 19       |          | 19       |          | 19       |          | 19       |          | 19       |          |
| 6        |          | 6        |          | 6        |          | 6        |          | 6        |          | 6        |          |
| 4        |          | 4        |          | 4        |          | 4        |          | 4        |          | 4        |          |
| 0,538462 |          | 0,538462 |          | 0,538462 |          | 0,538462 |          | 0,538462 |          | 0,538462 |          |

|     |      |         |         |      |                        |      |
|-----|------|---------|---------|------|------------------------|------|
|     |      |         |         |      | КРМ.142.6221м.02.03.ПЗ | Лист |
|     |      |         |         |      |                        | 48   |
| Изм | Лист | № докум | Подпись | Дата |                        |      |

Продовження табл. 3.2.8.(1)

|          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|          | 111,0654 |          | 111,0654 |          | 111,0654 |          | 111,0654 |          | 111,0654 |          | 111,0654 |
|          | 37,99626 |          | 37,99626 |          | 37,99626 |          | 37,99626 |          | 37,99626 |          | 37,99626 |
| 0,211923 | 0,315381 | 0,211923 | 0,315381 | 0,211923 | 0,315381 | 0,211923 | 0,315381 | 0,211923 | 0,315381 | 0,211923 | 0,315381 |
|          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
|          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| 15,47675 | 15,47335 | 15,47675 | 15,47335 | 15,47675 | 15,47335 | 15,47675 | 15,47335 | 15,47675 | 15,47335 | 15,47675 | 15,47335 |
| 0,843397 |          | 0,843397 |          | 0,843397 |          | 0,843397 |          | 0,843397 |          | 0,843397 |          |
| 192,8395 | 204,228  | 194,0587 | 206,3885 | 197,7547 | 211,5648 | 200,8329 | 214,9484 | 212,1096 | 230,9853 | 225,6624 | 249,6117 |
| Верно    |          | Верно    |          | Верно    |          | Верно    |          | Верно    |          | Верно    |          |

Згідно отриманим результатам побудовані графіки на рис. 3.8 – 3.11

$$M_{\Sigma}, \text{ кг} \quad M_{\Sigma} = f(t_{w1}) = 38^{\circ}\text{C}, (t_{wm2}) = 80^{\circ}\text{C}, (t_{wh2}) = 105^{\circ}\text{C}$$

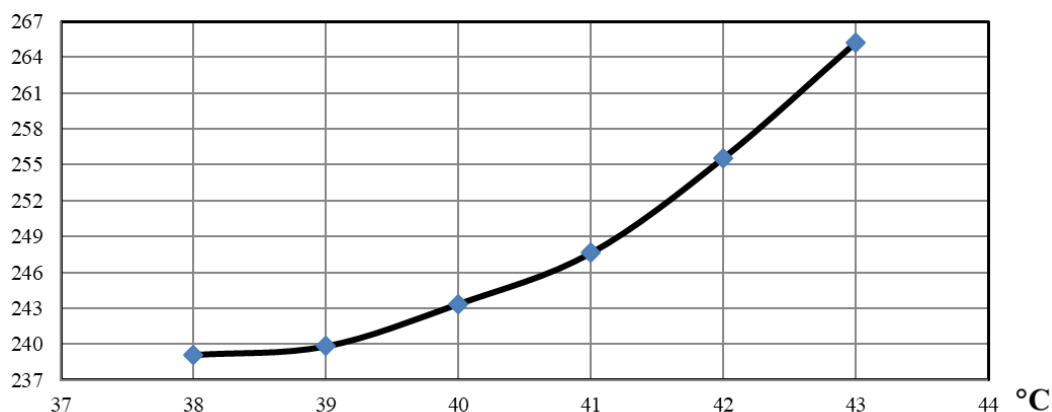


Рис.3.8. Залежність  $M_{\Sigma}$  від зміни температури  $t_{w1}$  при постійних значеннях інших температур:  $t_{wm2} = 80^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{wh2} = 105^{\circ}\text{C}$

$$M_{\Sigma}, \text{ кг} \quad M_{\Sigma} = f(t_{wm2}) = 69^{\circ}\text{C}, (t_{w1}) = 38^{\circ}\text{C}, (t_{wh2}) = 105^{\circ}\text{C}$$

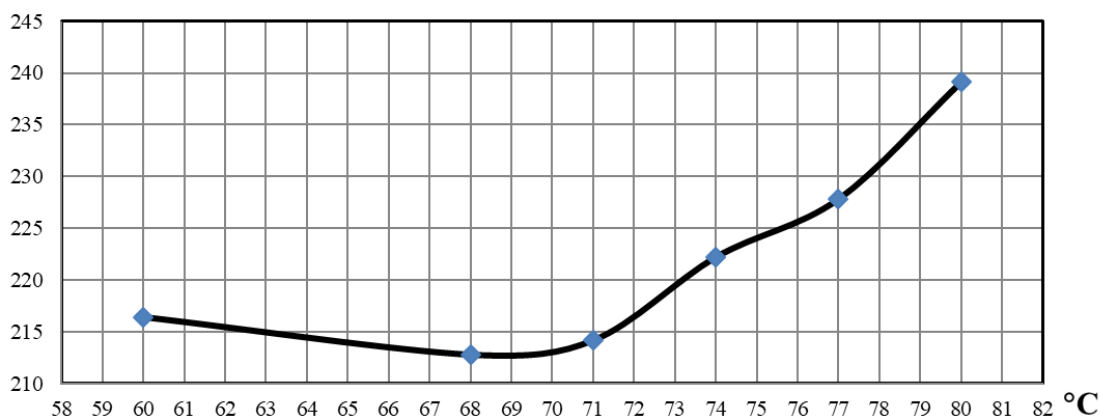


Рис.3.9. Залежність  $M_{\Sigma}$  від зміни температури  $t_{wm2}$  при постійних значеннях інших температур:  $t_{w1} = 38^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{wh2} = 105^{\circ}\text{C}$

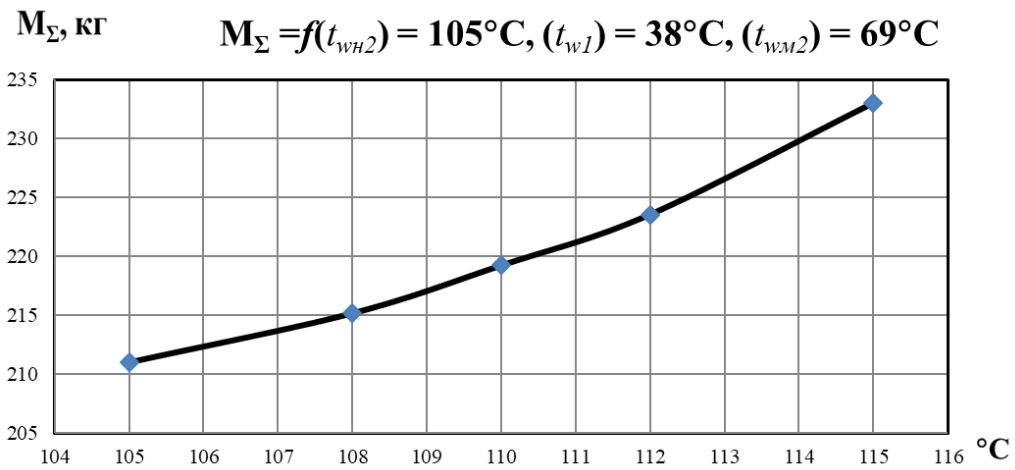


Рис.3.10. Залежність  $M_{\Sigma}$  від зміни температури  $t_{wh2}$  при постійних значеннях інших температур:  $t_{wl} = 38^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{wm2} = 69^{\circ}\text{C}$

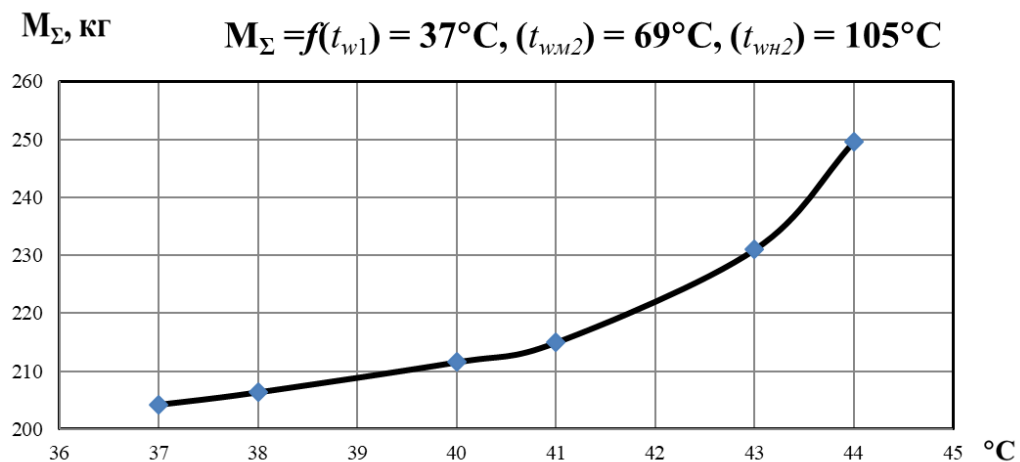


Рис.3.11. Залежність  $M_{\Sigma}$  при оптимальних температурах:  $t_{wl} = 37^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{wm2} = 69^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{wh2} = 105^{\circ}\text{C}$

Графік залежності  $t_{wl}$  при постійних значеннях інших температур показав, що  $M_{\Sigma}$  показує мінімальне значення при температурі  $37^{\circ}\text{C}$ .

Отже, маючи розрахунки і графіки, можна зробити такий висновок: оптимальними будуть такі температури:  $t_{wl} = 37^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{wh2} = t_{wm2} = 69^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{wh2} = 105^{\circ}\text{C}$ .

Таким чином, система охолодження може мати  $M_{\Sigma}$  близько 204 кг, якщо будуть витримані усі обчислені для точки оптимуму параметри.

### 3.3.5. Розрахунок системи 2ВНП

Вхідні дані взяті з циклу та теплового балансу. Копія таблиці з такими даними приведена у табл. 3.3.1

Таблиця. 3.3.1. Вхідні дані для розрахунків теплової схеми системи 2ВНП

|    |           |        |     |                                                                              |            |         |                                             |
|----|-----------|--------|-----|------------------------------------------------------------------------------|------------|---------|---------------------------------------------|
| 1  | $n$       | об/мин |     |                                                                              | 1000       |         | Частота вращения коленвала                  |
| 2  | $N_e$     | кВт    |     |                                                                              | 300        |         | Мощность ГД                                 |
| 3  | $T_0$     | К      | °C  |                                                                              | 313        | 40      | Воздух перед компрессором                   |
| 4  | $P_0$     | Па     |     |                                                                              | 100000     |         | Воздух перед компрессором                   |
| 5  | $T_{вв1}$ | К      | °C  |                                                                              | 303        | 30      | Заб. вода перед ВВО                         |
| 6  | $P_{a11}$ |        |     |                                                                              | 0,800      |         |                                             |
| 7  | $P_1$     | Па     |     |                                                                              | 200000,000 |         | Давление воздуха после компрессора          |
| 8  | $T_{к1}$  | К      | °C  | $T_{к1} = T_{в1} \left( 1 + \frac{\Pi_{к1}^{0,286} - 1}{\eta_{a11}} \right)$ | 398,784    | 125,784 | $T_1$ или $T_k$ воздух за компрессором      |
| 9  | $T_s$     | К      | °C  |                                                                              | 318,000    | 45,0    | $T_2$ или температура воздуха за ОНВ        |
| 10 | $T_{гв2}$ | К      | °C  |                                                                              | 378        | 105     | Температура воды за главным двигателем      |
| 12 | $T_{гг1}$ | К      | °C  |                                                                              | 363        | 90      | Гидравлич. масло на выходе из системы       |
| 13 | $T_{гм1}$ | К      | °C  |                                                                              | 363        | 90      | Масло на выходе из двигателя или входе в МО |
| 14 | $Q_w$     | кВт    | 476 | Заданы                                                                       | 179,2      |         | Теплоотвод в зарубашенную воду              |
| 15 | $Q_m$     | кВт    | 122 |                                                                              | 86,6       |         | Теплоотвод в масло                          |
| 16 | $Q_H$     | кВт    |     |                                                                              | 50,2       |         | Теплоподвод от ОНВ                          |
|    | $Q_T$     | кВт    |     |                                                                              | 20,0       |         | Теплоподвод от гидравлики                   |
| 21 | $G_{ВД}$  | кг/с   |     |                                                                              | 5,83       |         | Расход воды через двигатель                 |
| 22 | $G_H$     | кг/с   |     |                                                                              | 0,618      |         | Расход наддувочного воздуха                 |
| 23 | $G_{ГМ}$  | кг/с   |     |                                                                              | 5,82       |         | Расход масла                                |
|    | $G_{ГГ}$  | кг/с   |     |                                                                              | 2          |         | Расход гидравлической жидкости              |
| 25 | $G_{ВВ}$  | кг/с   |     |                                                                              | 5,83       |         | Расход заб. воды через все ВВО              |

Початкові дані щодо теплообмінників. Копія таблиці з такими даними приведена у табл. 3.3.2.

Таблиця. 3.3.2. Вихідні дані для теплообмінників системи 2ВНП

|    |           |         |  |  |             |            |                                           |
|----|-----------|---------|--|--|-------------|------------|-------------------------------------------|
| 1  | ОНВ       |         |  |  | 50173,85852 |            |                                           |
| 2  | схема     |         |  |  | 3           | 3          | Вероятна схема 3                          |
| 3  | Z         |         |  |  | 1           | 1          | Число паралл. раб. ОНВ                    |
| 4  | $b_{гг}$  |         |  |  | 40          | 40         | Число термодинамических ходов по воде     |
| 5  | $b_{гв}$  |         |  |  | 2           | 2          | Число гидравлических ходов по воде        |
| 6  | $K_{гв1}$ | Вт/м²·К |  |  | 168,28      | 168,275475 | Коэффициент использования массы пучка     |
|    | ВВО1      |         |  |  | 4040,00     | 4040       | $C_{гвв}$                                 |
|    | схема     |         |  |  | 1,00        | 1          | Вероятна схема 4                          |
|    | $b_{гг}$  |         |  |  | 101,00      | 101        | Число ходов по пресной воде               |
|    | $b_{гв}$  |         |  |  | 1,00        | 1          | Число ходов по забортной воде             |
|    | $b_p$     |         |  |  | 2,00        | 2          | Число противоточных реверсивных элементов |
|    | $K_{гг1}$ | Вт/м²·К |  |  | 128,25      | 128,25     | Коэффициент использования массы пучка     |
|    | ВВО2      |         |  |  | 4040,00     | 4040       | $C_{гвв}$                                 |
|    | схема     |         |  |  | 4,00        | 4          | Вероятна схема 4                          |
|    | $b_{гг}$  |         |  |  | 50,00       | 50         | Число ходов по пресной воде               |
|    | $b_{гв}$  |         |  |  | 3,00        | 3          | Число ходов по забортной воде             |
|    | $b_p$     |         |  |  | 2,00        | 2          | Число противоточных реверсивных элементов |
|    | $K_{гг2}$ | Вт/м²·К |  |  | 185,95      | 185,95     | Коэффициент использования массы пучка     |
|    | Г         |         |  |  | 1925,00     | 1925,72    | $C_{гг}$                                  |
|    | схема     |         |  |  | 4,00        | 4,00       | Вероятна схема 4                          |
|    | $b_{гг}$  |         |  |  | 26,00       | 26,00      | Число ходов по маслу                      |
|    | $b_{гв}$  |         |  |  | 5,00        | 5,00       | Число ходов по пресной воде               |
|    | $b_p$     |         |  |  | 1,00        | 1,00       | Число противоточных реверсивных элементов |
|    | $K_{гг}$  |         |  |  | 58,15       | 58,15      | Коэффициент использования массы пучка     |
| 13 | МО        |         |  |  | 1925,7      | 1925,72205 | $C_{гг}$                                  |
| 14 | схема     |         |  |  | 4           | 4          | Вероятна схема 4                          |
| 15 | $b_{гг}$  |         |  |  | 24          | 24         | Число ходов по маслу                      |
| 16 | $b_{гв}$  |         |  |  | 7           | 7          | Число ходов по пресной воде               |
| 17 | $b_p$     |         |  |  | 2           | 2          | Число противоточных реверсивных элементов |
| 18 | $K_{гг}$  | Вт/м²·К |  |  | 48,33       | 48,33      | Коэффициент использования массы пучка     |

Дані температур ТВК. Копія цих даних приведена у табл. 3.2.3.

Таблиця. 3.3.3. Вхідні дані температур ТВК системи 2ВНП

|   |            |   |    |                                  |             |            |                              |
|---|------------|---|----|----------------------------------|-------------|------------|------------------------------|
| 1 | $T_{гвм2}$ | К | °C |                                  | 345         | 72,00      | Вода за МО                   |
| 2 | $T_{ггг2}$ | К | °C |                                  | 345         | 72,00      | Вода за Г                    |
| 3 | $T_{ггг2}$ | К | °C | Задаётся произвольно             | 368,00      | 95,00      | Вода за ОНВ                  |
| 4 | $T_{гг1}$  | К | °C |                                  | 308,500     | 35,500     | Вода за ВВО1 и перед ОНВ     |
| 5 |            |   |    | Задаётся и уточняется итерациями |             |            |                              |
|   | $T_{гг2}$  | К | °C |                                  | 324,3995217 | 51,3995217 | Вода за ВВО2 и перед МО и Г. |

### 3.3.6 Результати оптимізації системи 2ВНП

Для оптимізації даної системи виконана низка прямих розрахунків цієї системи з покроковою зміною температур:  $t_{w1}$ ,  $t_{wm2}$ ,  $t_{wh2}$ .

У таблицях 3.3.5 – 3.3.8 наведені результати розрахунків залежностей  $M_{\Sigma}$  від змін температур  $t_{w1}$ ,  $t_{wm2}$ ,  $t_{wh2}$  на завершувальному етапі розрахунків, коли мінімуми  $M_{\Sigma}$  досягли допустимої розбіжності.

Таблиця. 3.3.5. Розрахунок впливу  $t_{w1}$  на  $M_{\Sigma}$  при постійних  $t_{wm2}$ ,  $t_{wh2}$

| Результати  |      |             | Вплив $t_{w1}$ |           |           |           |           |           |          |          |
|-------------|------|-------------|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|
| Параметри   |      |             | 1              |           | 2         |           | 3         |           | 4        |          |
| $Q_w$       | кВт  |             | 179,2          |           | 179,2     |           | 179,2     |           | 179,2    |          |
| $Q_m$       | кВт  |             | 86,6           |           | 86,6      |           | 86,6      |           | 86,6     |          |
| $Q_n$       | кВт  |             | 50,2           |           | 50,2      |           | 50,2      |           | 50,2     |          |
| $Q_r$       | кВт  |             | 20             |           | 20        |           | 20        |           | 20       |          |
| $G_w$       | кг/с |             | 5,83           |           | 5,83      |           | 5,83      |           | 5,83     |          |
| $G_n$       | кг/с |             | 0,618          |           | 0,618     |           | 0,618     |           | 0,618    |          |
| $G_m$       | кг/с |             | 5,82           |           | 5,82      |           | 5,82      |           | 5,82     |          |
| $G_r$       | кг/с |             | 2              |           | 2         |           | 2         |           | 2        |          |
| $G_{ww}$    | кг/с |             | 5,83           |           | 5,83      |           | 5,83      |           | 5,83     |          |
| $G_{wh}$    | кг/с |             | 0,1901731      |           | 0,2030662 |           | 0,2198332 |           | 0,226055 |          |
| $G_{wm}$    | кг/с |             | 1,1066485      |           | 1,1031571 |           | 1,0986167 |           | 1,096932 |          |
| $G_{wr}$    | кг/с |             | 0,255577       |           | 0,2547707 |           | 0,2537221 |           | 0,253333 |          |
| $G_{wb1}$   | кг/с |             | 0,1901731      |           | 0,2030662 |           | 0,2198332 |           | 0,226055 |          |
| $G_{wb2}$   | кг/с |             | 1,3622255      |           | 1,3579278 |           | 1,3523388 |           | 1,350265 |          |
| $G_{rw1}$   | кг/с |             | 1,5523986      |           | 1,560994  |           | 1,572172  |           | 1,57632  |          |
| $T_0$       | К    | $^{\circ}C$ | 313            | 40        | 313       | 40        | 313       | 40        | 313      | 40       |
| $P_0$       | Па   |             | 100000         |           | 100000    |           | 100000    |           | 100000   |          |
| $P_1$       | Па   |             | 200000         |           | 200000    |           | 200000    |           | 200000   |          |
| $T_{ww1}$   | К    | $^{\circ}C$ | 303            | 30        | 303       | 30        | 303       | 30        | 303      | 30       |
| $T_{ww2}$   | К    | $^{\circ}C$ | 314,79592      | 41,795924 | 314,77299 | 41,772987 | 314,74316 | 41,74316  | 314,7321 | 41,73209 |
| $T_{ww3}$   | К    | $^{\circ}C$ | 326,59185      | 53,591847 | 326,54597 | 53,545975 | 326,48632 | 53,48632  | 326,4642 | 53,46418 |
| $T_1 (T_k)$ | К    | $^{\circ}C$ | 398,78356      | 125,78356 | 398,78356 | 125,78356 | 398,78356 | 125,78356 | 398,7836 | 125,7836 |
| $T_2 (T_s)$ | К    | $^{\circ}C$ | 318            | 45        | 318       | 45        | 318       | 45        | 318      | 45       |
| $T_{rw1}$   | К    | $^{\circ}C$ | 370,66407      | 97,664066 | 370,66407 | 97,664066 | 370,66407 | 97,664066 | 370,6641 | 97,66407 |
| $T_{rw2}$   | К    | $^{\circ}C$ | 378            | 105       | 378       | 105       | 378       | 105       | 378      | 105      |
| $T_{w1}$    | К    | $^{\circ}C$ | 305            | 32        | 309       | 36        | 313,5     | 40,5      | 315      | 42       |
| $T_{w2}$    | К    | $^{\circ}C$ | 329,32356      | 56,323557 | 329,26445 | 56,264448 | 329,18702 | 56,187017 | 329,1581 | 56,15812 |
| $T_{wm2}$   | К    | $^{\circ}C$ | 348            | 75        | 348       | 75        | 348       | 75        | 348      | 75       |

Продовження табл. 3.3.5.

|                   |     |             |           |           |           |           |           |           |          |          |
|-------------------|-----|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|
| $T_{\text{вгт}2}$ | $K$ | $^{\circ}C$ | 348       | 75        | 348       | 75        | 348       | 75        | 348      | 75       |
| $T_{\text{вн}2}$  | $K$ | $^{\circ}C$ | 368       | 95        | 368       | 95        | 368       | 95        | 368      | 95       |
| $T_{\text{м}1}$   | $K$ | $^{\circ}C$ | 363       | 90        | 363       | 90        | 363       | 90        | 363      | 90       |
| $T_{\text{м}2}$   | $K$ | $^{\circ}C$ | 355,27308 | 82,273082 | 355,27308 | 82,273082 | 355,27308 | 82,273082 | 355,2731 | 82,27308 |
| $T_{\text{гт}1}$  | $K$ | $^{\circ}C$ | 363       | 90        | 363       | 90        | 363       | 90        | 363      | 90       |
| $T_{\text{гт}2}$  | $K$ | $^{\circ}C$ | 357,80708 | 84,807083 | 357,80708 | 84,807083 | 357,80708 | 84,807083 | 357,8071 | 84,80708 |
| <b>ОНВ</b>        |     |             |           |           |           |           |           |           |          |          |
| схема             |     |             | 3         |           | 3         |           | 3         |           | 3        |          |
| $Z$               |     |             | 1         |           | 1         |           | 1         |           | 1        |          |
| $b_{\text{вт}}$   |     |             | 40        |           | 40        |           | 40        |           | 40       |          |
| $b_{\text{вг}}$   |     |             | 2         | 2         | 2         | 2         | 2         | 2         | 2        | 2        |

|                         |          |  |           |           |           |           |           |           |          |          |
|-------------------------|----------|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|
| $k_{\text{гн}}$         | Вт/кг·К  |  | 170,03387 | 193,19973 | 165,86129 | 193,19973 | 158,64436 | 193,19973 | 154,7887 | 193,1997 |
| $\eta_{\text{в}}$       |          |  | 0,8618317 | 0,9603258 | 0,9002277 | 0,9603258 | 0,9477284 | 0,9603258 | 0,964696 | 0,960326 |
| $\Delta p_{\text{вб}}$  | мм.в.ст. |  |           | 151,86017 |           | 151,86017 |           | 151,86017 |          | 151,8602 |
| $\Delta p_{\text{ввб}}$ | кПа      |  |           | 26,432766 |           | 26,432766 |           | 26,432766 |          | 26,43277 |
| $S_{\text{н}}$          |          |  | 0,7794556 | 0,3997048 | 0,7299663 | 0,3997048 | 0,6742909 | 0,3997048 | 0,655732 | 0,399705 |
| $M_{\text{н}}$          | кг       |  | 14,731844 | 142,08559 | 17,604175 | 142,08559 | 23,922511 | 142,08559 | 28,156   | 142,0856 |
| <b>ВВО1</b>             |          |  |           |           |           |           |           |           |          |          |
| схема                   |          |  | 1         | 1         | 1         | 1         | 1         | 1         | 1        | 1        |
| $b_{\text{в}}$          |          |  | 134       | 134       | 98        | 98        | 82        | 82        | 78       | 78       |
| $b_{\text{вв}}$         |          |  | 1         | 1         | 1         | 1         | 1         | 1         | 1        | 1        |
| $b_{\text{р}}$          |          |  | 2         | 2         | 2         | 2         | 2         | 2         | 2        | 2        |
| $k_{\text{гв}}$         | Вт/кг·К  |  | 126,74648 | 126,74648 | 128,85368 | 128,85368 | 129,73827 | 129,73827 | 130,7262 | 130,7262 |
| $\eta_{\text{в}1}$      |          |  | 0,9733333 | 0,9733333 | 0,92      | 0,92      | 0,86      | 0,86      | 0,84     | 0,84     |
| $\Delta p_{\text{вб}}$  | кПа      |  |           | 12,754503 |           | 10,609497 |           | 10,294865 |          | 10,31441 |
| $\Delta p_{\text{ввб}}$ | кПа      |  |           | 17,55542  |           | 13,089651 |           | 11,103663 |          | 10,60702 |
| $S_{\text{в}1}$         |          |  | 0,0338309 | 0,0338309 | 0,0361245 | 0,0361245 | 0,0391073 | 0,0391073 | 0,040214 | 0,040214 |
| $k_{\text{Д}}$          |          |  |           | 0,1       |           | 0,1       |           | 0,1       |          | 0,1      |
| $M_{\text{в}1}$         | #ССЫЛКА! |  | 23,365453 | 23,365453 | 17,071491 | 17,071491 | 14,274174 | 14,274174 | 13,57485 | 13,57485 |
| <b>ВВО2</b>             |          |  | 4040      | 4040      | 4040      | 4040      | 4040      | 4040      | 4040     | 4040     |
| схема                   |          |  | 4         | 4         | 4         | 4         | 4         | 4         | 4        | 4        |
| $b_{\text{в}}$          |          |  | 45        | 45        | 45        | 45        | 45        | 45        | 45       | 45       |
| $b_{\text{вв}}$         |          |  | 2         | 2         | 2         | 2         | 2         | 2         | 2        | 2        |
| $b_{\text{р}}$          |          |  | 2         | 2         | 2         | 2         | 2         | 2         | 2        | 2        |
| $k_{\text{гв}}$         | Вт/кг·К  |  | 174,05363 | 174,05363 | 173,79547 | 173,79547 | 173,46294 | 173,46294 | 173,3401 | 173,3401 |
| $\eta_{\text{в}2}$      |          |  | 0,7701472 | 0,7701472 | 0,7708027 | 0,7708027 | 0,7716633 | 0,7716633 | 0,771985 | 0,771985 |
| $\Delta p_{\text{вб}}$  | кПа      |  |           | 32,480473 |           | 32,293082 |           | 32,050174 |          | 31,96026 |

Продовження табл. 3.3.5.(1)

|                  |         |  |           |           |           |           |           |           |          |          |
|------------------|---------|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|
| $\Delta p_{wwB}$ | кПа     |  |           | 18,064484 |           | 18,072215 |           | 18,082271 |          | 18,086   |
| $S_{B2}$         |         |  | 0,2423333 | 0,2423333 | 0,2415688 | 0,2415688 | 0,2405745 | 0,2405745 | 0,240206 | 0,240206 |
| $k_D$            |         |  |           | 0,2       |           | 0,2       |           | 0,2       |          | 0,2      |
| $M_{B2}$         |         |  | 56,350976 | 56,350976 | 56,350976 | 56,350976 | 56,350976 | 56,350976 | 56,35098 | 56,35098 |
| <b>МО</b>        |         |  | 1925,7    |           | 1925,7    |           | 1925,7    |           | 1925,7   |          |
| <i>схема</i>     |         |  | 4         | 4         | 4         | 4         | 4         | 4         | 4        | 4        |
| $b_m$            |         |  | 29        | 29        | 29        | 29        | 29        | 29        | 28       | 28       |
| $b_w$            |         |  | 6         | 6         | 6         | 6         | 6         | 6         | 7        | 7        |
| $b_p$            |         |  | 2         | 2         | 2         | 2         | 2         | 2         | 2        | 2        |
| $k_{gm}$         | Вт/кг·К |  | 47,893855 | 47,893855 | 47,835001 | 47,835001 | 47,758069 | 47,758069 | 49,44225 | 49,44225 |
| $\eta_m$         |         |  | 0,5545848 | 0,5545911 | 0,5553652 | 0,5553716 | 0,5563834 | 0,5563898 | 0,556762 | 0,556769 |
| $\Delta p_m$     | кПа     |  |           | 104,75826 |           | 104,75826 |           | 104,75826 |          | 101,224  |
| $\Delta p_{wm}$  | кПа     |  |           | 19,300293 |           | 19,184438 |           | 19,034284 |          | 28,98997 |
| $S_m$            |         |  | 0,4137253 | 0,4137206 | 0,4124201 | 0,4124153 | 0,4107226 | 0,4107179 | 0,410093 | 0,410088 |
| $k_D$            |         |  | 0,1       |           | 0,1       |           | 0,1       |           | 0,1      |          |
| $M_m$            | кг      |  | 91,919159 | 91,920843 | 91,919157 | 91,920843 | 91,919378 | 91,920843 | 88,73507 | 88,7367  |

|                      |         |  |           |           |           |           |           |           |          |          |
|----------------------|---------|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|
| <b>Г</b>             |         |  | 1925      | 1925,722  | 1925      | 1925,722  | 1925      | 1925,722  | 1925     | 1925,722 |
| <i>схема</i>         |         |  | 4         | 4         | 4         | 4         | 4         | 4         | 4        | 4        |
| $b_m$                |         |  | 29        | 29        | 29        | 29        | 29        | 29        | 29       | 29       |
| $b_w$                |         |  | 5         | 5         | 5         | 5         | 5         | 5         | 5        | 5        |
| $b_p$                |         |  | 1         | 1         | 1         | 1         | 1         | 1         | 1        | 1        |
| $k_{g\Gamma}$        | Вт/кг·К |  | 61,868047 | 61,868047 | 61,797693 | 61,797693 | 61,705812 | 61,705812 | 61,67161 | 61,67161 |
| $\eta_\Gamma$        |         |  | 0,5545848 | 0,5545911 | 0,5553652 | 0,5553716 | 0,5563834 | 0,5563898 | 0,556762 | 0,556769 |
| $\Delta p_\Gamma$    | кПа     |  |           | 123,17607 |           | 123,17607 |           | 123,17607 |          | 123,1761 |
| $\Delta p_{w\Gamma}$ | кПа     |  |           | 49,148889 |           | 48,845864 |           | 48,453183 |          | 48,30787 |
| $S_\Gamma$           |         |  | 0,2780463 | 0,2780432 | 0,2771691 | 0,277166  | 0,2760284 | 0,2760252 | 0,275605 | 0,275602 |
| $k_D$                |         |  |           | 0,25      |           | 0,25      |           | 0,25      |          | 0,25     |
| $M_\Gamma$           | кг      |  | 15,990728 | 15,518557 | 15,991263 | 15,518557 | 15,991992 | 15,518557 | 15,99221 | 15,51856 |
| $\eta_o$             |         |  | 0,8433969 |           | 0,8433969 |           | 0,8433969 |           | 0,843397 |          |
| $M_\Sigma$           | кг      |  | 202,35816 | 210,14607 | 198,93706 | 208,12866 | 202,45903 | 213,15648 | 202,8091 | 216,284  |
| Індикатор            |         |  | Верно     |           | Верно     |           | Верно     |           | Верно    |          |

Таблиця. 3.3.6. Розрахунок впливу  $t_{wm2}$  на  $M_\Sigma$  при постійних  $t_{w1}$ ,  $t_{wh2}$

| Вплив $t_{wm2}$ |  |       |  |       |  |       |  |
|-----------------|--|-------|--|-------|--|-------|--|
| 1               |  | 2     |  | 3     |  | 4     |  |
| 179,2           |  | 179,2 |  | 179,2 |  | 179,2 |  |
| 86,6            |  | 86,6  |  | 86,6  |  | 86,6  |  |
| 50,2            |  | 50,2  |  | 50,2  |  | 50,2  |  |
| 20              |  | 20    |  | 20    |  | 20    |  |
| 5,83            |  | 5,83  |  | 5,83  |  | 5,83  |  |

Продовження табл. 3.3.6.

|          |    |            |    |          |    |          |    |
|----------|----|------------|----|----------|----|----------|----|
| 0,618    |    | 0,618      |    | 0,618    |    | 0,618    |    |
| 5,82     |    | 5,82       |    | 5,82     |    | 5,82     |    |
| 2        |    | 2          |    | 2        |    | 2        |    |
| 5,83     |    | 5,83       |    | 5,83     |    | 5,83     |    |
| 0,203066 |    | 0,20306622 |    | 0,203066 |    | 0,203066 |    |
| 0,870914 |    | 0,97337392 |    | 1,103157 |    | 1,323789 |    |
| 0,201135 |    | 0,22479767 |    | 0,254771 |    | 0,305725 |    |
| 0,203066 |    | 0,20306622 |    | 0,203066 |    | 0,203066 |    |
| 1,072048 |    | 1,19817159 |    | 1,357928 |    | 1,629513 |    |
| 1,275114 |    | 1,40123781 |    | 1,560994 |    | 1,83258  |    |
| 313      | 40 | 313        | 40 | 313      | 40 | 313      | 40 |
| 100000   |    | 100000     |    | 100000   |    | 100000   |    |
| 200000   |    | 200000     |    | 200000   |    | 200000   |    |
| 303      | 30 | 303        | 30 | 303      | 30 | 303      | 30 |

|          |          |            |          |          |          |          |          |
|----------|----------|------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 314,773  | 41,77299 | 314,772987 | 41,77299 | 314,773  | 41,77299 | 314,773  | 41,77299 |
| 326,546  | 53,54597 | 326,545975 | 53,54597 | 326,546  | 53,54597 | 326,546  | 53,54597 |
| 398,7836 | 125,7836 | 398,783556 | 125,7836 | 398,7836 | 125,7836 | 398,7836 | 125,7836 |
| 318      | 45       | 318        | 45       | 318      | 45       | 318      | 45       |
| 370,6641 | 97,66407 | 370,664066 | 97,66407 | 370,6641 | 97,66407 | 370,6641 | 97,66407 |
| 378      | 105      | 378        | 105      | 378      | 105      | 378      | 105      |
| 309      | 36       | 309        | 36       | 309      | 36       | 309      | 36       |
| 316,2683 | 43,2683  | 322,766374 | 49,76637 | 329,2644 | 56,26445 | 337,387  | 64,38704 |
| 340      | 67       | 344        | 71       | 348      | 75       | 353      | 80       |
| 340      | 67       | 344        | 71       | 348      | 75       | 353      | 80       |
| 368      | 95       | 368        | 95       | 368      | 95       | 368      | 95       |
| 363      | 90       | 363        | 90       | 363      | 90       | 363      | 90       |
| 355,2731 | 82,27308 | 355,273082 | 82,27308 | 355,2731 | 82,27308 | 355,2731 | 82,27308 |
| 363      | 90       | 363        | 90       | 363      | 90       | 363      | 90       |
| 357,8071 | 84,80708 | 357,807083 | 84,80708 | 357,8071 | 84,80708 | 357,8071 | 84,80708 |
|          |          |            |          |          |          |          |          |
| 3        |          | 3          |          | 3        |          | 3        |          |
| 1        |          | 1          |          | 1        |          | 1        |          |
| 40       |          | 40         |          | 40       |          | 40       |          |
| 2        | 2        | 2          | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        |
| 165,8615 | 193,1997 | 165,8615   | 193,1997 | 165,8615 | 193,1997 | 165,8615 | 193,1997 |
| 0,900228 | 0,960326 | 0,90022772 | 0,960326 | 0,900228 | 0,960326 | 0,900228 | 0,960326 |

Продовження табл. 3.3.6.(1)

|          |          |            |          |          |          |          |          |
|----------|----------|------------|----------|----------|----------|----------|----------|
|          | 151,8602 |            | 151,8602 |          | 151,8602 |          | 151,8602 |
|          | 26,43277 |            | 26,43277 |          | 26,43277 |          | 26,43277 |
| 0,729966 | 0,399705 | 0,72996633 | 0,399705 | 0,729966 | 0,399705 | 0,729966 | 0,399705 |
| 17,60416 | 142,0856 | 17,6041586 | 142,0856 | 17,60416 | 142,0856 | 17,60416 | 142,0856 |
|          |          |            |          |          |          |          |          |
| 1        | 1        | 1          | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        |
| 98       | 98       | 98         | 98       | 98       | 98       | 98       | 98       |
| 1        | 1        | 1          | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        |
| 2        | 2        | 2          | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        |
| 128,8537 | 128,8537 | 128,853683 | 128,8537 | 128,8537 | 128,8537 | 128,8537 | 128,8537 |
| 0,92     | 0,92     | 0,92       | 0,92     | 0,92     | 0,92     | 0,92     | 0,92     |
|          | 10,6095  |            | 10,6095  |          | 10,6095  |          | 10,6095  |
|          | 13,08965 |            | 13,08965 |          | 13,08965 |          | 13,08965 |

|          |          |            |          |          |          |          |          |
|----------|----------|------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 0,036124 | 0,036124 | 0,0361245  | 0,036124 | 0,036124 | 0,036124 | 0,036124 | 0,036124 |
|          | 0,1      |            | 0,1      |          | 0,1      |          | 0,1      |
| 17,07149 | 17,07149 | 17,0714908 | 17,07149 | 17,07149 | 17,07149 | 17,07149 | 17,07149 |
| 4040     | 4040     | 4040       | 4040     | 4040     | 4040     | 4040     | 4040     |
| 4        | 4        | 4          | 4        | 4        | 4        | 4        | 4        |
| 119      | 119      | 54         | 54       | 45       | 45       | 23       | 23       |
| 2        | 2        | 3          | 3        | 2        | 2        | 3        | 3        |
| 2        | 2        | 2          | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        |
| 168,9533 | 168,9533 | 185,703824 | 185,7038 | 173,7955 | 173,7955 | 176,8344 | 176,8344 |
| 0,97635  | 0,97635  | 0,8735764  | 0,873576 | 0,770803 | 0,770803 | 0,642336 | 0,642336 |
|          | 55,32348 |            | 30,85714 |          | 32,29308 |          | 15,57328 |
|          | 42,0787  |            | 48,22126 |          | 18,07221 |          | 17,99449 |
| 0,190712 | 0,190712 | 0,21314891 | 0,213149 | 0,241569 | 0,241569 | 0,289883 | 0,289883 |
|          | 0,2      |            | 0,2      |          | 0,2      |          | 0,2      |
| 149,3006 | 149,3006 | 67,6556244 | 67,65566 | 56,35098 | 56,35098 | 45,45222 | 45,45222 |
| 1925,7   |          | 1925,7     |          | 1925,7   |          | 1925,7   |          |
| 4        | 4        | 4          | 4        | 4        | 4        | 4        | 4        |
| 19       | 19       | 23         | 23       | 29       | 29       | 43       | 43       |
| 8        | 8        | 7          | 7        | 6        | 6        | 5        | 5        |
| 2        | 2        | 2          | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        |
| 47,97415 | 47,97415 | 47,8087863 | 47,80879 | 47,83501 | 47,83501 | 48,12916 | 48,12916 |

Продовження табл. 3.3.6.(2)

|          |          |            |          |          |          |          |          |
|----------|----------|------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 0,507829 | 0,507835 | 0,5277582  | 0,527764 | 0,555365 | 0,555372 | 0,609573 | 0,60958  |
|          | 69,36611 |            | 83,53885 |          | 104,7583 |          | 154,187  |
|          | 20,04194 |            | 19,58965 |          | 19,18444 |          | 22,6265  |
| 0,325595 | 0,325591 | 0,36390005 | 0,363896 | 0,41242  | 0,412415 | 0,494904 | 0,494898 |
| 0,1      |          | 0,1        |          | 0,1      |          | 0,1      |          |
| 60,0784  | 60,07942 | 72,8147305 | 72,81599 | 91,91916 | 91,92084 | 136,4955 | 136,4988 |
| 1925     | 1925,722 | 1925       | 1925,722 | 1925     | 1925,722 | 1925     | 1925,722 |
| 4        | 4        | 4          | 4        | 4        | 4        | 4        | 4        |
| 20       | 20       | 25         | 25       | 29       | 29       | 42       | 42       |
| 6        | 6        | 5          | 5        | 5        | 5        | 4        | 4        |
| 1        | 1        | 1          | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        |
| 60,02222 | 60,02222 | 57,474306  | 57,47431 | 61,7977  | 61,7977  | 61,889   | 61,889   |
| 0,507829 | 0,507835 | 0,5277582  | 0,527764 | 0,555365 | 0,555372 | 0,609573 | 0,60958  |
|          | 83,81715 |            | 105,6894 |          | 123,1761 |          | 179,9742 |

|          |          |            |          |          |          |          |          |
|----------|----------|------------|----------|----------|----------|----------|----------|
|          | 44,12852 |            | 35,2173  |          | 48,84586 |          | 32,35854 |
| 0,218818 | 0,218815 | 0,244561   | 0,244558 | 0,277169 | 0,277166 | 0,332603 | 0,332599 |
|          | 0,25     |            | 0,25     |          | 0,25     |          | 0,25     |
| 10,85975 | 10,68127 | 13,6590979 | 13,36865 | 15,99126 | 15,51856 | 23,78099 | 22,50575 |
| 0,843397 |          | 0,84339692 |          | 0,843397 |          | 0,843397 |          |
| 254,9144 | 264,3995 | 188,805102 | 198,1785 | 198,937  | 208,1286 | 240,4044 | 248,795  |
| Верно    |          | Верно      |          | Верно    |          | Верно    |          |

Таблиця. 3.3.7. Розрахунок впливу  $t_{wn2}$  на  $M_{\Sigma}$  при постійних  $t_{w1}$ ,  $t_{wm2}$

| Вплив $t_{wn2}$ |  |          |  |          |  |          |  |
|-----------------|--|----------|--|----------|--|----------|--|
| 1               |  | 2        |  | 3        |  | 4        |  |
| 179,2           |  | 179,2    |  | 179,2    |  | 179,2    |  |
| 86,6            |  | 86,6     |  | 86,6     |  | 86,6     |  |
| 50,2            |  | 50,2     |  | 50,2     |  | 50,2     |  |
| 20              |  | 20       |  | 20       |  | 20       |  |
| 5,83            |  | 5,83     |  | 5,83     |  | 5,83     |  |
| 0,618           |  | 0,618    |  | 0,618    |  | 0,618    |  |
| 5,82            |  | 5,82     |  | 5,82     |  | 5,82     |  |
| 2               |  | 2        |  | 2        |  | 2        |  |
| 5,83            |  | 5,83     |  | 5,83     |  | 5,83     |  |
| 0,23492         |  | 0,213945 |  | 0,203066 |  | 0,187202 |  |

Продовження табл. 3.3.7.

|          |          |          |          |          |          |          |          |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 0,948763 |          | 0,984392 |          | 1,00287  |          | 1,029818 |          |
| 0,219114 |          | 0,227342 |          | 0,23161  |          | 0,237833 |          |
| 0,23492  |          | 0,213945 |          | 0,203066 |          | 0,187202 |          |
| 1,167877 |          | 1,211734 |          | 1,23448  |          | 1,267651 |          |
| 1,402797 |          | 1,425679 |          | 1,437546 |          | 1,454853 |          |
| 313      | 40       | 313      | 40       | 313      | 40       | 313      | 40       |
| 100000   |          | 100000   |          | 100000   |          | 100000   |          |
| 200000   |          | 200000   |          | 200000   |          | 200000   |          |
| 303      | 30       | 303      | 30       | 303      | 30       | 303      | 30       |
| 314,382  | 41,38199 | 314,6395 | 41,63946 | 314,773  | 41,77299 | 314,9677 | 41,96772 |
| 325,764  | 52,76399 | 326,2789 | 53,27891 | 326,546  | 53,54597 | 326,9354 | 53,93544 |
| 398,7836 | 125,7836 | 398,7836 | 125,7836 | 398,7836 | 125,7836 | 398,7836 | 125,7836 |
| 318      | 45       | 318      | 45       | 318      | 45       | 318      | 45       |
| 370,6641 | 97,66407 | 370,6641 | 97,66407 | 370,6641 | 97,66407 | 370,6641 | 97,66407 |
| 378      | 105      | 378      | 105      | 378      | 105      | 378      | 105      |
| 309      | 36       | 309      | 36       | 309      | 36       | 309      | 36       |
| 323,2156 | 50,21558 | 324,004  | 51,00403 | 324,3909 | 51,39089 | 324,9302 | 51,93018 |
| 345      | 72       | 345      | 72       | 345      | 72       | 345      | 72       |
| 345      | 72       | 345      | 72       | 345      | 72       | 345      | 72       |
| 360      | 87       | 365      | 92       | 368      | 95       | 373      | 100      |
| 363      | 90       | 363      | 90       | 363      | 90       | 363      | 90       |
| 355,2731 | 82,27308 | 355,2731 | 82,27308 | 355,2731 | 82,27308 | 355,2731 | 82,27308 |
| 363      | 90       | 363      | 90       | 363      | 90       | 363      | 90       |
| 357,8071 | 84,80708 | 357,8071 | 84,80708 | 357,8071 | 84,80708 | 357,8071 | 84,80708 |
|          |          |          |          |          |          |          |          |
| 3        |          | 3        |          | 3        |          | 3        |          |
| 1        |          | 1        |          | 1        |          | 1        |          |
| 40       |          | 40       |          | 40       |          | 40       |          |
| 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        |
| 169,0132 | 193,1997 | 167,078  | 193,1997 | 165,8615 | 193,1997 | 163,1509 | 193,1997 |
| 0,900228 | 0,960326 | 0,900228 | 0,960326 | 0,900228 | 0,960326 | 0,900228 | 0,960326 |
|          | 151,8602 |          | 151,8602 |          | 151,8602 |          | 151,8602 |
|          | 26,43277 |          | 26,43277 |          | 26,43277 |          | 26,43277 |
| 0,630988 | 0,399705 | 0,692849 | 0,399705 | 0,729966 | 0,399705 | 0,791828 | 0,399705 |
| 14,92339 | 142,0856 | 16,48428 | 142,0856 | 17,60416 | 142,0856 | 19,96554 | 142,0856 |

Продовження табл. 3.3.7.(1)

|          |          |          |          |          |          |          |          |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|          |          |          |          |          |          |          |          |
| 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        |
| 82       | 82       | 75       | 75       | 98       | 98       | 91       | 91       |
| 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        |
| 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        |
| 122,6484 | 122,6484 | 121,8687 | 121,8687 | 128,8537 | 128,8537 | 127,724  | 127,724  |
| 0,92     | 0,92     | 0,92     | 0,92     | 0,92     | 0,92     | 0,92     | 0,92     |
|          | 12,30448 |          | 9,577769 |          | 10,6095  |          | 8,586348 |
|          | 8,473559 |          | 7,821886 |          | 13,08965 |          | 12,24158 |
| 0,041791 | 0,041791 | 0,03806  | 0,03806  | 0,036124 | 0,036124 | 0,033302 | 0,033302 |

|          |          |          |          |          |          |          |          |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|          | 0,1      |          | 0,1      |          | 0,1      |          | 0,1      |
| 20,82605 | 20,82605 | 19,04115 | 19,04115 | 17,07149 | 17,07149 | 15,84766 | 15,84766 |
| 4040     | 4040     | 4040     | 4040     | 4040     | 4040     | 4040     | 4040     |
| 4        | 4        | 4        | 4        | 4        | 4        | 4        | 4        |
| 54       | 54       | 54       | 54       | 50       | 50       | 45       | 45       |

|          |          |          |          |          |          |          |          |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 2        | 2        | 2        | 2        | 3        | 3        | 3        | 3        |
| 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        |
| 170,2809 | 170,2809 | 171,3611 | 171,3611 | 185,9321 | 185,9321 | 176,3974 | 176,3974 |
| 0,861146 | 0,861146 | 0,852202 | 0,852202 | 0,847883 | 0,847883 | 0,841947 | 0,841947 |
|          | 29,40532 |          | 31,44397 |          | 30,18217 |          | 21,19621 |
|          | 20,2036  |          | 20,09911 |          | 45,21207 |          | 39,72947 |
| 0,20776  | 0,20776  | 0,215562 | 0,215562 | 0,219608 | 0,219608 | 0,225509 | 0,225509 |
|          | 0,2      |          | 0,2      |          | 0,2      |          | 0,2      |
| 67,65566 | 67,65566 | 67,65566 | 67,65566 | 62,63135 | 62,63135 | 66,52518 | 66,52518 |
| 1925,7   |          | 1925,7   |          | 1925,7   |          | 1925,7   |          |
| 4        | 4        | 4        | 4        | 4        | 4        | 4        | 4        |
| 24       | 24       | 24       | 24       | 24       | 24       | 24       | 24       |
| 7        | 7        | 7        | 7        | 7        | 7        | 7        | 7        |
| 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        |
| 47,35183 | 47,35183 | 47,99525 | 47,99525 | 48,31895 | 48,31895 | 48,77992 | 48,77992 |
| 0,547562 | 0,547568 | 0,538414 | 0,53842  | 0,533789 | 0,533795 | 0,527184 | 0,527191 |
|          | 87,07806 |          | 87,07806 |          | 87,07806 |          | 87,07806 |
|          | 19,32788 |          | 20,72286 |          | 21,46499 |          | 22,57004 |
| 0,354699 | 0,354695 | 0,368019 | 0,368015 | 0,374927 | 0,374923 | 0,385002 | 0,384997 |
| 0,1      |          | 0,1      |          | 0,1      |          | 0,1      |          |

Продовження табл. 3.3.7.(2)

|          |          |          |          |          |          |          |          |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 75,99876 | 76,00013 | 75,99878 | 76,00013 | 75,99879 | 76,00013 | 75,9988  | 76,00013 |
| 1925     | 1925,722 | 1925     | 1925,722 | 1925     | 1925,722 | 1925     | 1925,722 |
| 4        | 4        | 4        | 4        | 4        | 4        | 4        | 4        |
| 26       | 26       | 26       | 26       | 26       | 26       | 26       | 26       |
| 5        | 5        | 5        | 5        | 5        | 5        | 5        | 5        |
| 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        |
| 57,04761 | 57,04761 | 57,77483 | 57,77483 | 58,14027 | 58,14027 | 58,65951 | 58,65951 |
| 0,547562 | 0,547568 | 0,538414 | 0,53842  | 0,533789 | 0,533795 | 0,527184 | 0,527191 |
|          | 110,0618 |          | 110,0618 |          | 110,0618 |          | 110,0618 |
|          | 34,21949 |          | 36,77076 |          | 38,12966 |          | 40,1551  |
| 0,238378 | 0,238375 | 0,247329 | 0,247326 | 0,251972 | 0,251969 | 0,258743 | 0,25874  |
|          | 0,25     |          | 0,25     |          | 0,25     |          | 0,25     |
| 14,23911 | 13,90613 | 14,23444 | 13,90613 | 14,23205 | 13,90613 | 14,22871 | 13,90613 |
| 0,843397 |          | 0,843397 |          | 0,843397 |          | 0,843397 |          |
| 193,643  | 201,3739 | 193,4143 | 201,8396 | 187,5378 | 196,8758 | 192,5659 | 202,343  |
| Верно    |          | Верно    |          | Верно    |          | Верно    |          |

Таблиця. 3.3.8. Розрахунок впливу  $t_{w1}$  на  $M_{\Sigma}$  при оптимальних  $t_{wh2}$ ,  $t_{wm2}$ 

| Розрахунок на оптимум |    |          |    |          |    |          |    |
|-----------------------|----|----------|----|----------|----|----------|----|
| 1                     |    | 2        |    | 3        |    | 4        |    |
| 179,2                 |    | 179,2    |    | 179,2    |    | 179,2    |    |
| 86,6                  |    | 86,6     |    | 86,6     |    | 86,6     |    |
| 50,2                  |    | 50,2     |    | 50,2     |    | 50,2     |    |
| 20                    |    | 20       |    | 20       |    | 20       |    |
| 5,83                  |    | 5,83     |    | 5,83     |    | 5,83     |    |
| 0,618                 |    | 0,618    |    | 0,618    |    | 0,618    |    |
| 5,82                  |    | 5,82     |    | 5,82     |    | 5,82     |    |
| 2                     |    | 2        |    | 2        |    | 2        |    |
| 5,83                  |    | 5,83     |    | 5,83     |    | 5,83     |    |
| 0,190173              |    | 0,20136  |    | 0,217835 |    | 0,23492  |    |
| 1,006044              |    | 1,00329  |    | 0,999234 |    | 0,995029 |    |
| 0,232343              |    | 0,231707 |    | 0,23077  |    | 0,229799 |    |
| 0,190173              |    | 0,20136  |    | 0,217835 |    | 0,23492  |    |
| 1,238387              |    | 1,234997 |    | 1,230005 |    | 1,224827 |    |
| 1,42856               |    | 1,436357 |    | 1,447839 |    | 1,459747 |    |
| 313                   | 40 | 313      | 40 | 313      | 40 | 313      | 40 |

Продовження табл. 3.3.8.

|          |          |          |          |          |          |          |          |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 100000   |          | 100000   |          | 100000   |          | 100000   |          |
| 200000   |          | 200000   |          | 200000   |          | 200000   |          |
| 303      | 30       | 303      | 30       | 303      | 30       | 303      | 30       |
| 314,7959 | 41,79592 | 314,776  | 41,77602 | 314,7467 | 41,74671 | 314,7163 | 41,71632 |
| 326,5918 | 53,59185 | 326,552  | 53,55205 | 326,4934 | 53,49343 | 326,4326 | 53,43264 |
| 398,7836 | 125,7836 | 398,7836 | 125,7836 | 398,7836 | 125,7836 | 398,7836 | 125,7836 |
| 318      | 45       | 318      | 45       | 318      | 45       | 318      | 45       |
| 370,6641 | 97,66407 | 370,6641 | 97,66407 | 370,6641 | 97,66407 | 370,6641 | 97,66407 |
| 378      | 105      | 378      | 105      | 378      | 105      | 378      | 105      |
| 305      | 32       | 308,5    | 35,5     | 313      | 40       | 317      | 44       |

|          |          |          |          |          |          |          |          |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 324,4559 | 51,45591 | 324,3995 | 51,39952 | 324,3159 | 51,31591 | 324,2285 | 51,22848 |
| 345      | 72       | 345      | 72       | 345      | 72       | 345      | 72       |
| 345      | 72       | 345      | 72       | 345      | 72       | 345      | 72       |
| 368      | 95       | 368      | 95       | 368      | 95       | 368      | 95       |
| 363      | 90       | 363      | 90       | 363      | 90       | 363      | 90       |
| 355,2731 | 82,27308 | 355,2731 | 82,27308 | 355,2731 | 82,27308 | 355,2731 | 82,27308 |
| 363      | 90       | 363      | 90       | 363      | 90       | 363      | 90       |
| 357,8071 | 84,80708 | 357,8071 | 84,80708 | 357,8071 | 84,80708 | 357,8071 | 84,80708 |

|          |          |          |          |          |          |          |          |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 3        |          | 3        |          | 3        |          | 3        |          |
| 1        |          | 1        |          | 1        |          | 1        |          |
| 40       |          | 40       |          | 40       |          | 40       |          |
| 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        |
| 170,0338 | 193,1997 | 168,2755 | 193,1997 | 159,865  | 193,1997 | 145,9499 | 193,1997 |
| 0,861832 | 0,960326 | 0,895242 | 0,960326 | 0,942204 | 0,960326 | 0,988287 | 0,960326 |
|          | 151,8602 |          | 151,8602 |          | 151,8602 |          | 151,8602 |
|          | 26,43277 |          | 26,43277 |          | 26,43277 |          | 26,43277 |
| 0,779456 | 0,399705 | 0,736152 | 0,399705 | 0,680477 | 0,399705 | 0,630988 | 0,399705 |
| 14,73176 | 142,0856 | 16,9758  | 142,0856 | 22,86152 | 142,0856 | 41,43535 | 142,0856 |
|          |          |          |          |          |          |          |          |
| 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        |
| 134      | 134      | 101      | 101      | 61       | 61       | 54       | 54       |
| 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        |
| 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        |
| 126,7465 | 126,7465 | 128,2524 | 128,2524 | 121,5649 | 121,5649 | 123,3808 | 123,3808 |

Продовження табл. 3.3.8.(1)

|          |          |          |          |          |          |          |          |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 0,973333 | 0,973333 | 0,926667 | 0,926667 | 0,866667 | 0,866667 | 0,813333 | 0,813333 |
|          | 12,7545  |          | 10,75668 |          | 8,1876   |          | 8,385092 |
|          | 17,55542 |          | 13,46186 |          | 6,495683 |          | 5,828929 |
| 0,033831 | 0,033831 | 0,035821 | 0,035821 | 0,038752 | 0,038752 | 0,041791 | 0,041791 |
|          | 0,1      |          | 0,1      |          | 0,1      |          | 0,1      |
| 23,36545 | 23,36545 | 17,59599 | 17,59599 | 15,47135 | 15,47135 | 13,68645 | 13,68645 |
| 4040     | 4040     | 4040     | 4040     | 4040     | 4040     | 4040     | 4040     |
| 4        | 4        | 4        | 4        | 4        | 4        | 4        | 4        |
| 45       | 45       | 50       | 50       | 54       | 54       | 54       | 54       |

|          |          |          |          |          |          |          |          |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 3        | 3        | 3        | 3        | 2        | 2        | 2        | 2        |
| 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        |
| 175,1946 | 175,1946 | 185,9516 | 185,9516 | 171,9639 | 171,9639 | 171,7847 | 171,7847 |
| 0,847162 | 0,847162 | 0,847787 | 0,847787 | 0,848716 | 0,848716 | 0,84969  | 0,84969  |
|          | 20,32263 |          | 30,20519 |          | 32,31303 |          | 32,06559 |
|          | 39,89636 |          | 45,2085  |          | 20,05569 |          | 20,06799 |
| 0,220303 | 0,220303 | 0,2197   | 0,2197   | 0,218812 | 0,218812 | 0,217891 | 0,217891 |
|          | 0,2      |          | 0,2      |          | 0,2      |          | 0,2      |
| 66,52518 | 66,52518 | 62,63135 | 62,63135 | 67,65566 | 67,65566 | 67,65566 | 67,65566 |

|          |          |          |          |          |          |          |          |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1925,7   |          | 1925,7   |          | 1925,7   |          | 1925,7   |          |
| 4        | 4        | 4        | 4        | 4        | 4        | 4        | 4        |
| 24       | 24       | 24       | 24       | 24       | 24       | 24       | 24       |
| 7        | 7        | 7        | 7        | 7        | 7        | 7        | 7        |
| 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        |
| 48,374   | 48,374   | 48,32629 | 48,32629 | 48,25583 | 48,25583 | 48,18238 | 48,18238 |
| 0,533002 | 0,533008 | 0,533685 | 0,533691 | 0,534692 | 0,534699 | 0,535742 | 0,535748 |
|          | 87,07806 |          | 87,07806 |          | 87,07806 |          | 87,07806 |
|          | 21,59374 |          | 21,48201 |          | 21,31797 |          | 21,1485  |
| 0,376114 | 0,37611  | 0,375084 | 0,37508  | 0,373568 | 0,373564 | 0,371996 | 0,371991 |
| 0,1      |          | 0,1      |          | 0,1      |          | 0,1      |          |
| 75,99879 | 76,00013 | 75,99879 | 76,00013 | 75,99878 | 76,00013 | 75,99878 | 76,00013 |
| 1925     | 1925,722 | 1925     | 1925,722 | 1925     | 1925,722 | 1925     | 1925,722 |
| 4        | 4        | 4        | 4        | 4        | 4        | 4        | 4        |
| 26       | 26       | 26       | 26       | 26       | 26       | 26       | 26       |
| 5        | 5        | 5        | 5        | 5        | 5        | 5        | 5        |

Продовження табл. 3.3.8.(2)

|          |          |          |          |          |          |          |          |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        |
| 58,20216 | 58,20216 | 58,14836 | 58,14836 | 58,06889 | 58,06889 | 57,98604 | 57,98604 |
| 0,533002 | 0,533008 | 0,533685 | 0,533691 | 0,534692 | 0,534699 | 0,535742 | 0,535748 |
|          | 110,0618 |          | 110,0618 |          | 110,0618 |          | 110,0618 |
|          | 38,36553 |          | 38,16084 |          | 37,86037 |          | 37,55002 |
| 0,252769 | 0,252767 | 0,252077 | 0,252075 | 0,251058 | 0,251056 | 0,250002 | 0,249999 |
|          | 0,25     |          | 0,25     |          | 0,25     |          | 0,25     |
| 14,23169 | 13,90613 | 14,23204 | 13,90613 | 14,23256 | 13,90613 | 14,2331  | 13,90613 |
| 0,843397 |          | 0,843397 |          | 0,843397 |          | 0,843397 |          |
| 194,8529 | 202,7872 | 187,434  | 195,7315 | 196,2199 | 207,5649 | 213,0093 | 230,8281 |
| Верно    |          | Верно    |          | Верно    |          | Верно    |          |

Згідно отриманим результатам побудовані графіки на рис. 3.12 – 3.15

$$M_{\Sigma}, \text{ кг} \quad M_{\Sigma}=f(t_{w1}) = 36^{\circ}\text{C}, (t_{wm2}) = 75^{\circ}\text{C}, (t_{wn2}) = 95^{\circ}\text{C}$$

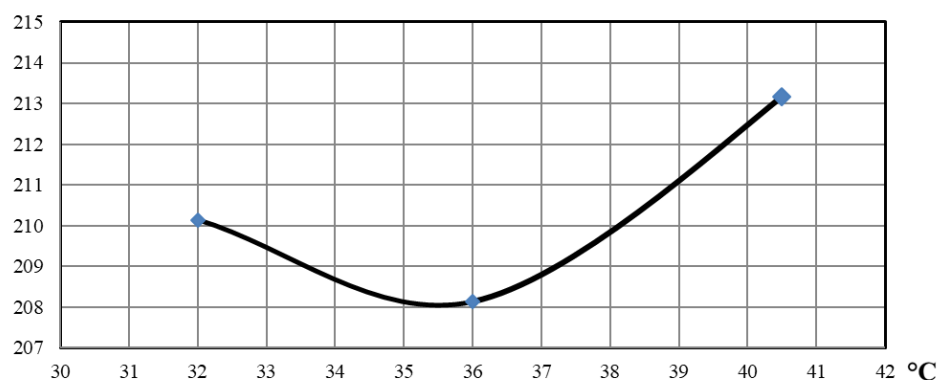


Рисунок 3.12 – Залежність  $M_{\Sigma}$  від зміни температури  $t_{w1}$  при постійних значеннях інших температур:  $t_{wm2} = 75^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{wn2} = 95^{\circ}\text{C}$

$$M_{\Sigma}, \text{ кг} \quad M_{\Sigma}=f(t_{wm2}) = 72^{\circ}\text{C}, (t_{w1}) = 36^{\circ}\text{C}, (t_{wn2}) = 95^{\circ}\text{C}$$

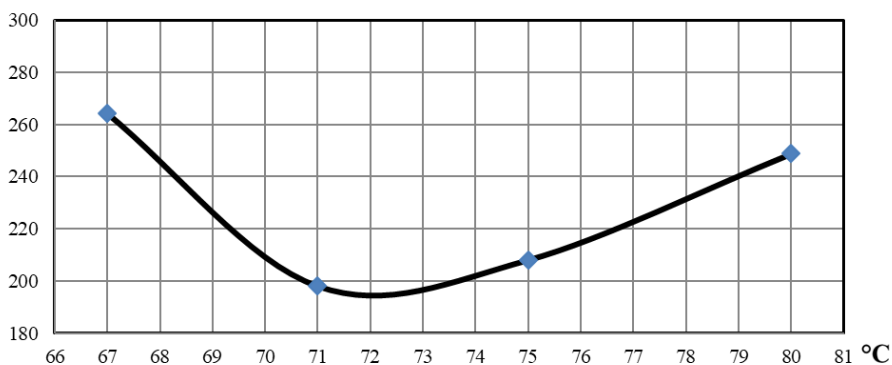


Рисунок 3.13 – Залежність  $M_{\Sigma}$  від зміни температури  $t_{wm2}$  при постійних значеннях інших температур:  $t_{w1} = 36^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{wn2} = 95^{\circ}\text{C}$

$$M_{\Sigma}, \text{ кг } M_{\Sigma}=f(t_{wh2})=95^{\circ}\text{C}, (t_{w1})=36^{\circ}\text{C}, (t_{wm2})=72^{\circ}\text{C}$$

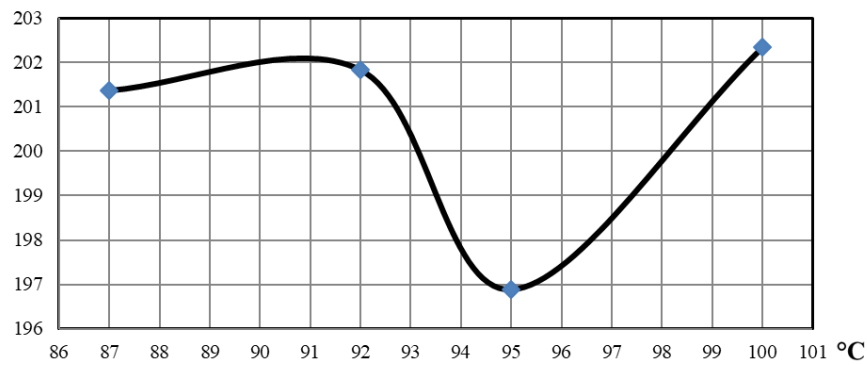


Рисунок 3.14 – Залежність  $M_{\Sigma}$  від зміни температури  $t_{wh2}$  при постійних значеннях інших температур:  $t_{w1} = 36^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{wm2} = 72^{\circ}\text{C}$

$$M_{\Sigma}, \text{ кг } M_{\Sigma}=f(t_{w1})=35,5^{\circ}\text{C}, (t_{wm2})=72^{\circ}\text{C}, (t_{wh2})=95^{\circ}\text{C}$$

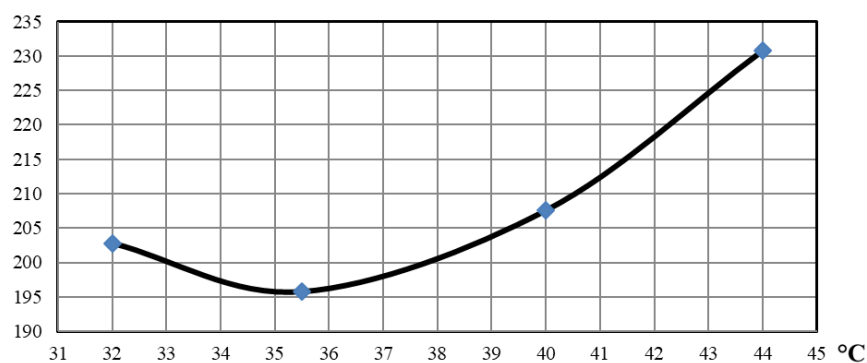


Рисунок 3.15 – Залежність  $M_{\Sigma}$  при оптимальних температурах:  $t_{w1} = 35,5^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{wm2} = 72^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{wh2} = 95^{\circ}\text{C}$

Графік залежності  $t_{w1}$  при постійних значеннях інших температур показав, що зниження  $M_{\Sigma}$  зупиняється при досяганні температури  $35,5^{\circ}\text{C}$ . Тому температура  $t_{w1}$  була прийнята –  $35,5^{\circ}\text{C}$ .

Отже, маючи розрахунки і графіки, можна зробити такий висновок: оптимальними будуть такі температури:  $t_{w1} = 35,5^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{wt2} = t_{wm2} = 72^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{wh2} = 95^{\circ}\text{C}$ .

Таким чином, система охолодження може мати  $M_{\Sigma}$  близько 196 кг, якщо будуть витримані усі обчислені для точки оптимуму параметри.

### 3.4. Аналіз графіків систем

Порахувавши всі три системи та проаналізувавши результати їх оптимізації можна зробити висновок, що система типу 2В2НПР має найменшу вагу серцевин,

та найменші габарити усіх теплообмінників. Результати оптимальних температур і мас всіх розрахованих систем показані в таблиці 3.4.1.

*Таблиця.3.4.1 Основні оптимальні значення систем*

| Назва систем  | Позначення   | Розмірність | Значення |
|---------------|--------------|-------------|----------|
| <b>2В2НД</b>  | $t_{w1}$     | °C          | 37       |
|               | $t_{wm2}$    | °C          | 69       |
|               | $t_{wh2}$    | °C          | 105      |
|               | $M_{\Sigma}$ | Кг          | 204      |
| <b>2В2НПР</b> | $t_{w1}$     | °C          | 38       |
|               | $t_{wm2}$    | °C          | 66,5     |
|               | $t_{wh2}$    | °C          | 88       |
|               | $M_{\Sigma}$ | Кг          | 130      |
| <b>2ВНП</b>   | $t_{w1}$     | °C          | 35,5     |
|               | $t_{wm2}$    | °C          | 72       |
|               | $t_{wh2}$    | °C          | 95       |
|               | $M_{\Sigma}$ | Кг          | 196      |

## РОЗДІЛ №4

### РОЗРАХУНОК ТЕПЛООБМІННИХ АППАРАТІВ ДЛЯ СИСТЕМИ ТИПУ 2В2НПР

У системах охолодження двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ) застосовуються різні типи теплообмінних апаратів, кожен із яких виконує важливу роль у підтримці оптимальних робочих параметрів. Більшість цих апаратів є рекуперативними, тобто теплопередача між теплоносіями відбувається через роздільну стінку.

Згідно з завданням кафедри, було проведено аналіз трьох різних систем охолодження для вибору оптимальної. Рахувалися такі системи як: 2В2НД, 2В2НПР, 2ВНП. При порівнянні систем, кожна доводилася до оптимуму. Результат розрахунків та оптимізації показав, що система типу 2В2НПР виявилася найменш масивною та найбільш економічною, що робить її найкращим варіантом для впровадження у судові двигуни, забезпечуючи баланс між ефективністю охолодження, розмірами та витратами. У систему 2В2НПР входять такі теплообмінники: ОНП, МО, ВВО1, ВВО2, Г. Ці теплообмінники розраховуються одночасно з системою на основі виданого мені розрахункового комплексу. У точці оптимуму система 2В2НПР була знову розрахована на основі розрахункового комплексу і при цьому виконувався розрахунок теплообмінників. Методика розрахунку допускає варіювання основними габаритними параметрами теплообмінника за незмінної ефективності. Під час розрахунку системи в точці оптимуму конструктивні параметри теплообмінників були доведені до бажаних пропорцій. Нижче наведено вихідні дані та результати розрахунків теплообмінників.

|     |      |         |         |      |                        |      |
|-----|------|---------|---------|------|------------------------|------|
|     |      |         |         |      | КРМ.142.6221м.02.04.ПЗ | Лист |
|     |      |         |         |      |                        |      |
| Изм | Лист | № докум | Подпись | Дата |                        | 66   |

## 4.1. Розрахунок теплообмінників в системі типу 2В2НПР

### 4.1.1. Розрахунок теплообмінника ОНП

Охолоджувач наддувочного повітря характеризується на основі класифікації.

Класифікація виконується за такими пунктами:

1. За призначенням: охолодження наддувочного повітря.
2. На вигляд теплоносіїв: повітро-повітряні, повітро-водяні
3. За конструкцією: кожухо-коробчасті.
4. За типом поверхні теплообміну: коридорний пучок із плоскоовальних труб із поперечним ребрами, плоскими ребрами з поперечними трикутними виступами.
5. За схемою взаємної течії теплоносія: багаторазовий перехресний ток при загальному протитоці.
6. За схемою перемішування в наступних перетинах: теплоносій з малою енергоємністю перемішується, теплоносій з великою енергоємністю не перемішується; між ходами теплоносій з великою енергоємністю не перемішується.

На рис. 4.1 показано прототип охолоджувача, який може бути застосований за умови використання отриманих геометричних параметрів.

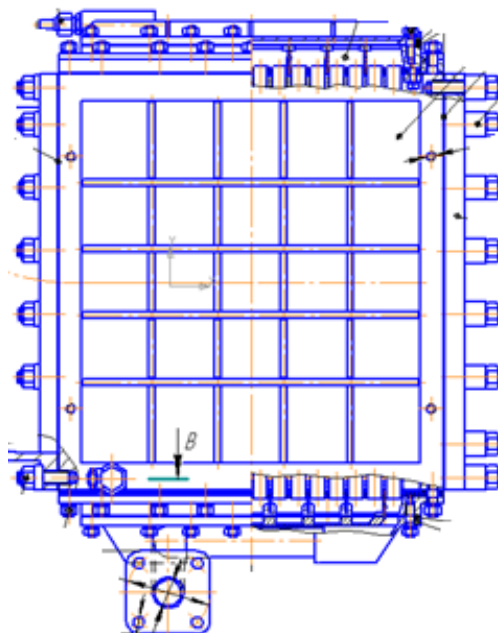


Рисунок 4.1 – Прототип охолоджувальної секції ОНП

В таблиці 4.1.1 наведено копії вхідних даних із розрахункового комплексу.

**Таблиця.4.1.1. Вхідні дані теплообмінника ОНП**

| Обозначення | Розмірність | Роз'яснення                      | Значення    | Параметр                      |
|-------------|-------------|----------------------------------|-------------|-------------------------------|
| $G_B$       | кг/с        |                                  | 0,618       | Витрата повітря               |
| $G_W$       | кг/с        |                                  | 0,239618138 | Витрата води                  |
| $t_{B1}$    | С           |                                  | 125,8       | Температура повітря на вході  |
| $T_{B1}$    | К           |                                  | 398,8       |                               |
| $t_{B2}$    | С           |                                  | 50,0        | Температура повітря на виході |
| $T_{B2}$    | К           |                                  | 323         |                               |
| $t_{w1}$    | С           |                                  | 38          | Температура води на вході     |
| $T_{w1}$    | К           |                                  | 311         |                               |
| $P_1$       | Па          |                                  | 200000      | Тиск повітря на вході         |
| $\Delta P$  | мм.в.ст     |                                  | 200         | Повітряний опір ОНВ           |
| $\Delta P$  | Па          | $\Delta P, \text{мм.в.ст} * 9,8$ | 1960        |                               |
| $w_W$       | м/с         |                                  | 0,65        | Швидкість води в трубках      |

Копія результатів розрахунку приведена у таблиці 4.1.2

**Таблиця.4.1.2. Результати розрахунку теплообмінника ОНП**

| № п/п | Пара-метр | Од. вимір            | 1          |
|-------|-----------|----------------------|------------|
| 7.1   | $G_B$     | кг/с                 | 0,618      |
| 7.2   | $G_W$     | кг/с                 | 0,240      |
| 7.3   | $T_{B1}$  | К                    | 398,784    |
| 7.4   | $T_{B2}$  | К                    | 314,1      |
| 7.5   | $t_{B1}$  | °С                   | 125,784    |
| 7.6   | $t_{B2}$  | °С                   | 41,099     |
| 7.7   | $T_{w1}$  | К                    | 311,000    |
| 7.8   | $T_{w2}$  | К                    | 363,387    |
| 7.9   | $t_{w1}$  | °С                   | 38,000     |
| 7.10  | $t_{w2}$  | °С                   | 90,387     |
| 7.11  | $P_1$     | Па                   | 200000,000 |
| 7.12  | $R_{CT}$  | м <sup>2</sup> ·К/Вт | 0,0015     |
| 7.13  | $L_{II}$  | м                    | 0,5750     |
| 7.14  | $B_{II}$  | м                    | 0,230      |
| 7.15  | $H_{II}$  | м                    | 0,249      |
| 7.16  | $b_{WT}$  |                      | 25,000     |

Продовження табл. 4.1.2

|      |                      |                       |            |
|------|----------------------|-----------------------|------------|
| 7.17 | $b_{\text{вГ}}$      |                       | 2,000      |
| 7.18 | $d_w$                | м                     | 0,0025     |
| 7.19 | $S_1$                | м                     | 0,0100     |
| 7.20 | $S_2$                | м                     | 0,0230     |
| 7.21 | $S_3$                | м                     | 0,017      |
| 7.22 | $S_4$                | м                     | 0,002      |
| 7.23 | $\delta_{\text{ст}}$ | м                     | 0,00025    |
| 7.24 | $\delta_{\text{пл}}$ | м                     | 0,00008    |
| 7.25 | $h_{\Gamma}$         | м                     | 0,003      |
| 7.26 | $e$                  | м                     | 0,0040     |
| 7.27 | $S$                  | м                     | 0,0230     |
| 7.28 | $Z_2'_{\Gamma}$      | шт                    | 2,000      |
| 7.29 | $Z_{\Gamma}$         | шт                    | 24,000     |
| 7.30 | $Z_1$                | шт                    | 23,000     |
| 7.31 | $Z_2$                | шт                    | 25,000     |
| 7.32 | $Z$                  | шт                    | 575,000    |
| 7.33 | Схема                |                       | 3,000      |
| 7.34 | $F$                  | м <sup>2</sup>        | 38,151     |
| 7.35 | $M_{\text{п}}$       | кг                    | 22,632     |
| 7.36 | $T_{\text{wf}}$      | К                     | 337,194    |
| 7.37 | $T_{\text{вf}}$      | К                     | 362,627    |
| 7.38 | $w_w$                | м/с                   | 0,648      |
| 7.39 | $Re_w$               |                       | 5097,959   |
| 7.40 | $Re$                 |                       | 1740,812   |
| 7.41 | $\Delta P$           | Па                    | 2031,223   |
| 7.42 | $\Delta P$           | мм.в.ст               | 207,268    |
| 7.43 | $\Delta P_w$         | кПа                   | 52,690     |
| 7.44 | $k$                  | Вт/(м <sup>2</sup> К) | 107,734    |
| 7.45 | $Kg$                 | Вт/кгК                | 181,609    |
| 7.46 | $K_v$                | Вт/м <sup>3</sup> К   | 124641,262 |
| 7.47 | $\bar{\rho}$         |                       | 1,2567     |
| 7.48 | $\eta$               |                       | 0,9647     |
| 7.49 | <b>Індикатор</b>     |                       | Вірно      |

У результаті виконаних розрахунків отримано теплообмінник із такими параметрами:  $L_{\text{п}} = 0,575$  м,  $B_{\text{п}} = 0,23$  м,  $H_{\text{п}} = 0,24934$  м,  $\Delta P_w = 52,69$  кПа,  $\eta = 0,9647$ .

|     |      |         |         |      |                        |      |
|-----|------|---------|---------|------|------------------------|------|
|     |      |         |         |      | КРМ.142.6221м.02.04.ПЗ | Лист |
|     |      |         |         |      |                        | 69   |
| Изм | Лист | № докум | Подпись | Дата |                        |      |

#### 4.1.2. Розрахунок теплообмінника МО

Охолоджувач мастила також характеризується на основі класифікації. Класифікацію можна виконати за такими пунктами:

1. За призначенням: маслоохолоджувач.
2. На вигляд теплоносіїв: рідинно – маслянні, повітрямаслянні
3. За конструкцією: кожухотрубний (близькі до ВВО), пакетно пластинчастий.
4. За схемою взаємної течії теплоносія: однократно реверсивний ток.

На рис. 4.2 показано прототип масляного охолоджувача, який може бути застосований за умови використання отриманих геометричних параметрів.

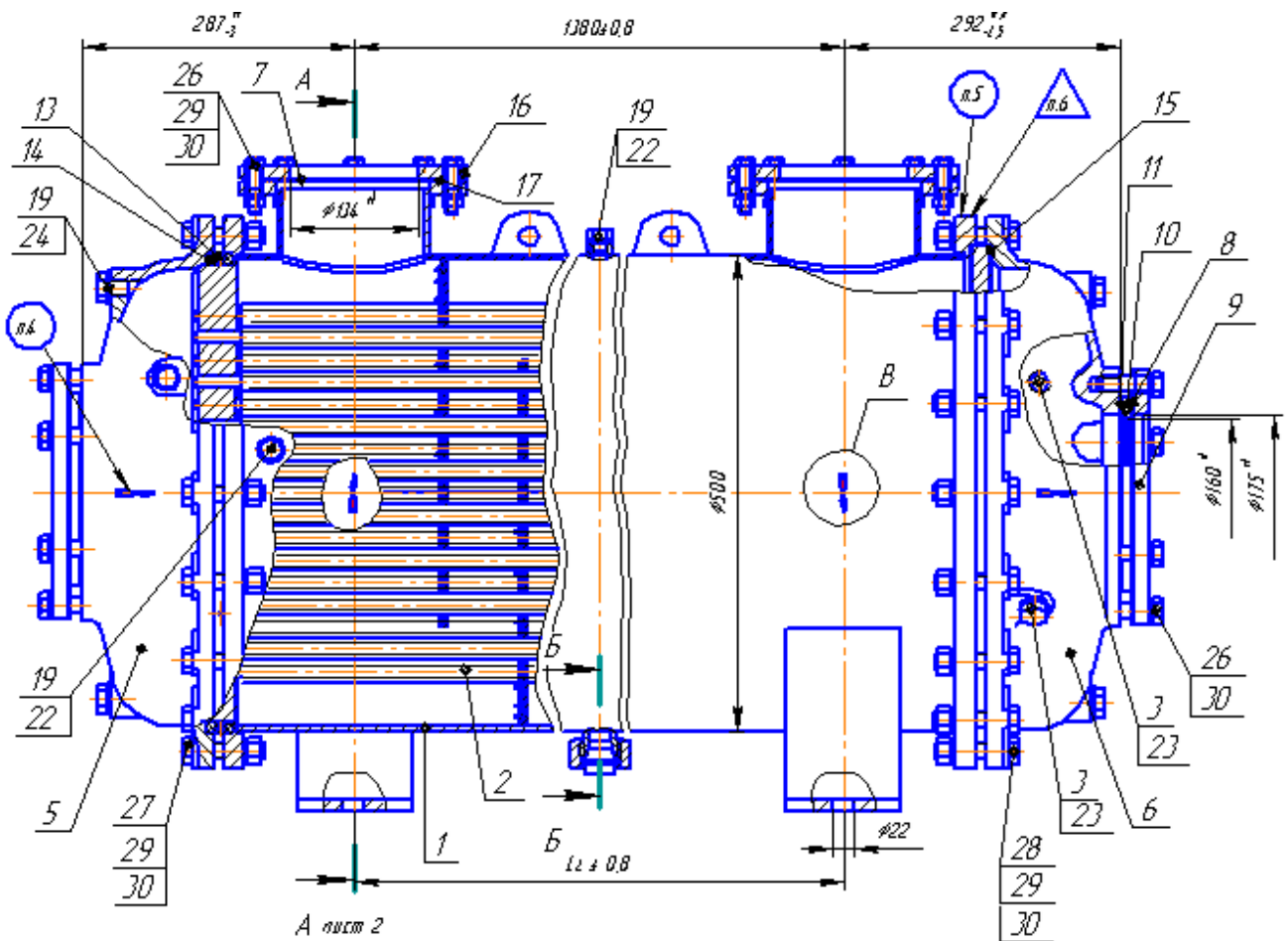


Рисунок 4.2 – Прототип кожухотрубного маслоохолоджувача

В таблиці 4.1.3 наведено копії вхідних даних із розрахункового комплексу.

Таблиця.4.1.3. Вхідні дані теплообмінника МО

| Позначення | Розмірність | Значення | Параметр                                          |
|------------|-------------|----------|---------------------------------------------------|
| $G_M$      | кг/с        | 5,82     | Витрата масла                                     |
| $t_{M1}$   | °C          | 90       | Температура масла на вході                        |
| $p_{M1}$   | кПа         | 439      | Тиск масла на вході                               |
| $t_{M2}$   | °C          | 82,27    |                                                   |
| $w_M$      | м/с         | 1,1      | Середня швидкість масла в стислому перерізі пучка |
| $G_W$      | кг/с        | 0,9      | Витрата води                                      |
| $t_{W1}$   | °C          | 43,6     | Температура води на вході                         |
| $P_W$      | кПа         | 180      | Тиск води на вході                                |
| $w_W$      | м/с         | 1,05     | Швидкість води в трубках                          |

Результат розрахунку показаний у таблиці 4.1.4

Таблиця.4.1.4. Результати розрахунку теплообмінника МО

| Позначення   | Розмірність          | Значення    |
|--------------|----------------------|-------------|
| $G$          | кг/с                 | 5,82        |
| $t_{M1}$     | °C                   | 90          |
| $p_{M1}$     | кПа                  | 439         |
| $t_{M2}$     | °C                   | 82,27       |
| $\eta$       |                      | 0,494       |
| $w_M$        | м/с                  | 1,11        |
| $\Delta P_M$ | кПа                  | 94,72       |
| $G_W$        | кг/с                 | 0,9         |
| $t_{W1}$     | °C                   | 43,59765626 |
| $t_{W2}$     | °C                   | 66,51       |
| $P_W$        | кПа                  | 180         |
| $w_W$        | м/с                  | 1,05        |
| $\Delta P_W$ | кПа                  | 23,78       |
| $R_{CT}$     | м <sup>2</sup> ·К/Вт | 0,00241     |
| $k_g$        | Вт/кгК               | 53,9        |
| $Q$          | кВт                  | 86,63248    |
|              |                      |             |
| Тип ПТ       |                      | монометалл. |
| $D$          | м                    | 0,0245      |
| $d_o$        | м                    | 0,0125      |
| $d_1$        | м                    | 0,0118      |

Продовження табл. 4.1.4

|            |                |         |
|------------|----------------|---------|
| $d_w$      | м              | 0,01    |
| $u$        | м              | 0,002   |
| $\delta_1$ | м              | 0,00055 |
| $\delta_2$ | м              | 0,0002  |
| $S_1$      | м              | 0,027   |
| $S_2$      | м              | 0,0234  |
| схема      |                | 4       |
| $b_p$      |                | 1       |
| $b_m$      |                | 15      |
| $b_w$      |                | 5       |
| $S_d$      | м              | 0,005   |
| $Z_d$      |                | 9       |
| $Z_2$      |                | 7       |
| $Z_{cv}$   |                | 0       |
| $Z$        |                | 56      |
| $H_{ст}$   | м              | 0,05    |
| $Do$       | м              | 0,246   |
| $D_T$      | м              | 0,265   |
| $D_{ду}$   | м              | 0,265   |
| $\delta_d$ | м              | 0,0002  |
| $L_{п}$    | м              | 0,165   |
| $Z_{дф}$   |                | 14      |
| $k_D$      |                | 0,25    |
| $L_1$      | м              | 0,062   |
| $L_2$      | м              | 0,062   |
| $L_3$      | м              | 0,062   |
| $L_T$      | м              | 1,0003  |
| $D_{пw}$   | мм             | 30      |
| $D_{опw}$  | мм             | 30      |
| $D_{п}$    | мм             | 58      |
| $D_{оп}$   | мм             | 58      |
| Мп         | кг             | 54,62   |
| $F$        | м <sup>2</sup> | 21,58   |
| Індикатор  |                | Вірно!  |

У результаті виконаних розрахунків отримано теплообмінник із такими параметрами:  $\Delta P_m = 94,72$  кПа,  $\Delta P_w = 23,78$  кПа,  $\eta = 0,494$ ,  $D_T = 0,265$  м,  $L_T = 1,0003$  м.

#### 4.1.3. Розрахунок теплообмінника Г

Охолоджувач гідравлічної рідини можна характеризувати аналогічно масляному охолоджувачу, що описаний вище. В якості прототипу охолоджувача

гідравлічної рідини можна використати прототип охолоджувача МО який показаний на рис.4.2.

В таблиці 4.1.5 наведено копії вхідних даних із розрахункового комплексу.

**Таблиця.4.1.5. Вхідні дані теплообмінника Г**

| Позначення | Розмірність | Значення | Параметр                                          |
|------------|-------------|----------|---------------------------------------------------|
| $G_M$      | кг/с        | 2        | Витрата масла                                     |
| $t_{M1}$   | $^{\circ}C$ | 90       | Температура масла на вході                        |
| $p_{M1}$   | кПа         | 439      | Тиск масла на вході                               |
| $t_{M2}$   | $^{\circ}C$ | 84,81    |                                                   |
| $w_M$      | м/с         | 1,1      | Середня швидкість масла в стислому перерізі пучка |
| $G_{WM}$   | кг/с        | 0,21     | Витрата води                                      |
| $t_{W1}$   | $^{\circ}C$ | 43,6     | Температура води на вході                         |
| $P_W$      | кПа         | 180      | Тиск води на вході                                |
| $w_W$      | м/с         | 1,16     | Швидкість води в трубках                          |

Результат розрахунку показаний у таблиці 4.1.6

**Таблиця.4.1.6. Результати розрахунку теплообмінника Г**

| Позначення   | Розмірність        | Значення    |
|--------------|--------------------|-------------|
| $G$          | кг/с               | 2           |
| $t_{M1}$     | $^{\circ}C$        | 90          |
| $p_{M1}$     | кПа                | 439         |
| $t_{M2}$     | $^{\circ}C$        | 84,81       |
| $\eta$       |                    | 0,494       |
| $w_M$        | м/с                | 1,01        |
| $\Delta P_M$ | кПа                | 71,30       |
| $G_W$        | кг/с               | 0,21        |
| $t_{W1}$     | $^{\circ}C$        | 43,59765626 |
| $t_{W2}$     | $^{\circ}C$        | 66,51       |
| $P_W$        | кПа                | 180         |
| $w_W$        | м/с                | 1,16        |
| $\Delta P_W$ | кПа                | 47,07       |
| $R_{ст}$     | $м^2 \cdot K / Вт$ | 0,00241     |
| $k_g$        | Вт/кгК             | 61,3        |

Продовження табл. 4.1.6

|            |     |             |
|------------|-----|-------------|
| Q          | кВт | 20,00750    |
| Тип ПТ     |     | монометалл. |
| D          | м   | 0,0245      |
| $d_o$      | м   | 0,0125      |
| $d_1$      | м   | 0,0118      |
| $d_w$      | м   | 0,01        |
| $u$        | м   | 0,002       |
| $\delta_1$ | м   | 0,00055     |
| $\delta_2$ | м   | 0,0002      |
| $S_1$      | м   | 0,027       |
| $S_2$      | м   | 0,0234      |
| схема      |     | 4           |
| $b_p$      |     | 1           |
| $b_m$      |     | 15          |
| $b_w$      |     | 6           |
| $S_d$      | м   | 0,005       |
| $Z_d$      |     | 5           |
| $Z_2$      |     | 3           |
| $Z_{cv}$   |     | 0           |
| $Z$        |     | 14          |
| $H_{ст}$   | м   | 0,041       |
| $Do$       | м   | 0,142       |
| $D_T$      | м   | 0,154       |
| $D_{ду}$   | м   | 0,154       |
| $\delta_d$ | м   | 0,0002      |
| $L_{п}$    | м   | 0,071       |
| $Z_{дф}$   |     | 14          |
| $k_D$      |     | 0,35        |
| $L_1$      | м   | 0,0470      |
| $L_2$      | м   | 0,0470      |
| $L_3$      | м   | 0,0470      |
| $L_T$      | м   | 0,7745      |
| $D_{пw}$   | мм  | 180         |
| $D_{опw}$  | мм  | 180         |
| $D_{п}$    | мм  | 180         |
| $Don$      | мм  | 180         |
| $Mn$       | кг  | 10,57       |
| $F$        | м2  | 4,18        |
| Індикатор  |     | Вірно!      |

У результаті виконаних розрахунків отримано теплообмінник із такими параметрами:  $\Delta P_m = 71,3$  кПа,  $\Delta P_w = 47,07$  кПа,  $\eta = 0,494$ ,  $D_T = 0,154$  м,  $L_T = 0,7745$  м.

#### 4.1.4. Розрахунок теплообмінника ВВО1,2

Охолоджувач води можна характеризувати на основі класифікації. Класифікацію можна виконати за такими пунктами:

1. За призначенням: охолоджувач води.
2. На вигляд теплоносіїв: водо – водяні, водо – повітряні.
3. За конструкцією: кожухотрубний, пакетнопластинчастий.
4. За схемою взаємної течії теплоносія: однократний реверсивний ток (для ВВО1), та ВВО2).

На рис. 4.3 показано прототип масляного охолоджувача, який може бути застосований за умови використання отриманих геометричних параметрів.

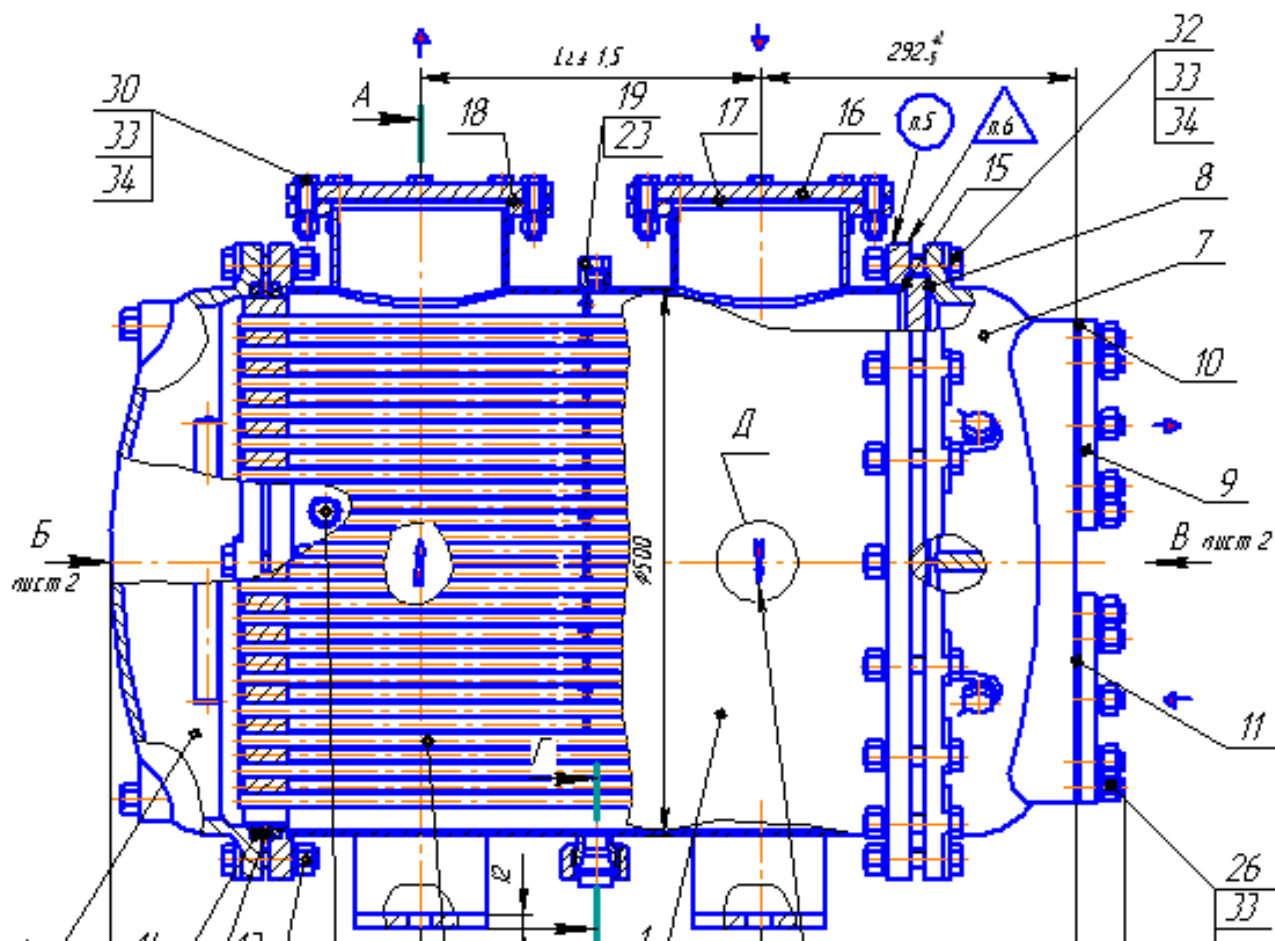


Рисунок 4.3 – Прототип кожухотрубного охолоджувача води

В таблиці 4.1.7 наведено копії вхідних даних із розрахункового комплексу

Таблиця.4.1.7. Вхідні дані теплообмінника ВВО1

| Позначення | Розмірність        | Значення | Параметр                                                             |
|------------|--------------------|----------|----------------------------------------------------------------------|
| $\Pi$      | %                  | 10       | Солоність заборотної води                                            |
| $G_w$      | кг/с               | 0,24     | Витрата прісної води                                                 |
| $t_{w1}$   | $^{\circ}\text{C}$ | 88       | Температура прісної води на вході                                    |
| $p_{w1}$   | кПа                | 200      | Тиск прісної води на вході                                           |
| $t_{w2}$   | $^{\circ}\text{C}$ | 38       | Температура прісної води за охолоджувачем                            |
| $w_{w1}$   | м/с                | 0,5      | Швидкість прісної води в стислому перерізі пучка в середніх відсіках |
| $G_{ww}$   | кг/с               | 5,83     | Витрата заборотної води                                              |
| $t_{ww1}$  | $^{\circ}\text{C}$ | 25,00    | Температура заборотної води на вході                                 |
| $P_{ww}$   | кПа                | 200      | Тиск заборотної води на вході                                        |
| $w_{ww}$   | м/с                | 2,047    | Швидкість заборотної води в трубах                                   |

Результат розрахунку показаний у таблиці 4.1.8

Таблиця.4.1.8. Результати розрахунку теплообмінника ВВО1

| Позначення         | Розмірність        | Значення    |
|--------------------|--------------------|-------------|
| $G_w$              | кг/с               | 0,24        |
| $t_{w1}$           | $^{\circ}\text{C}$ | 88          |
| $p_{w1}$           | кПа                | 200         |
| $t_{w2}$           | $^{\circ}\text{C}$ | 38          |
| $\eta$             |                    | 0,79        |
| $w_w$              | м/с                | 0,4         |
| $w_{w\text{под}}$  | м/с                | 1           |
| $w_{w\text{от}}$   | м/с                | 1           |
| $\Delta P_w$       | кПа                | 14,28       |
| $G_{ww}$           | кг/с               | 5,83        |
| $t_{ww1}$          | $^{\circ}\text{C}$ | 25          |
| $t_{ww2}$          | $^{\circ}\text{C}$ | 27,13       |
| $P_{ww}$           | кПа                | 200         |
| $w_{ww}$           | м/с                | 2,05        |
| $w_{ww\text{под}}$ | м/с                | 1           |
| $w_{ww\text{от}}$  | м/с                | 1           |
| $\Pi$              | %                  | 10          |
| $\Delta P_{ww}$    | кПа                | 8,99        |
| Мп                 | кг                 | 10,29124065 |

Продовження табл. 4.1.8

|                         |                                |             |
|-------------------------|--------------------------------|-------------|
| $R_{\Sigma}$            | $\text{м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ | 0,000392    |
| $k_g$                   | $\text{Вт/кгК}$                | 157,32      |
| $Q$                     | $\text{Вт}$                    | 50200,00    |
| Схема                   |                                | 1           |
| $bw$                    |                                | 36          |
| $bww$                   |                                | 1           |
| $bp$                    |                                | 1           |
| $d_0$                   | $\text{м}$                     | 0,012       |
| $d_w$                   | $\text{м}$                     | 0,010       |
| $S_1$                   | $\text{м}$                     | 0,016       |
| $S_2$                   | $\text{м}$                     | 0,014       |
| $S_{\Pi}$               | $\text{м}$                     | 0,007       |
| $S_{\Pi}$               | $\text{м}$                     | 0,002       |
| $\delta_{\text{д}}$     | $\text{м}$                     | 0,000       |
| $h_{\text{co}}$         |                                | 0,109       |
| $k_D$                   |                                | 0,2         |
| $S_{\text{д}}$          | $\text{м}$                     | 0,006       |
| $Z_{\text{д}}$          |                                | 7           |
| $Z_{\text{cv}}$         |                                | 0           |
| Так/Hi                  |                                | нет         |
| $Z_2$                   |                                | 6           |
| $Z_{\text{max}}$        |                                | 36          |
| $Z$                     |                                | 36          |
| $\phi_{\text{ao,град}}$ |                                | 77,031      |
| $\phi_{\text{at,град}}$ |                                | 78,445      |
| $H_{\text{co}}$         | $\text{м}$                     | 0,012       |
| $H_{\text{ст}}$         | $\text{м}$                     | 0,012       |
| $D_0$                   | $\text{м}$                     | 0,109       |
| $L_{\Pi}$               | $\text{м}$                     | 0,083       |
| $Z_{\text{дф}}$         |                                | 35          |
| $L_1$                   | $\text{м}$                     | 0,022       |
| $L_2$                   | $\text{м}$                     | 0,022       |
| $L_3$                   | $\text{м}$                     | 0,022       |
| $L_{\text{T}}$          | $\text{м}$                     | 0,995       |
| $D_{\text{T}}$          | $\text{м}$                     | 0,11        |
| $D_{\text{под}}$        | $\text{мм}$                    | 17,619      |
| $D_{\text{от}}$         | $\text{мм}$                    | 17,61887237 |
| $D_{\text{под}}$        | $\text{мм}$                    | 85,86866275 |

|     |      |         |         |      |                        |      |
|-----|------|---------|---------|------|------------------------|------|
|     |      |         |         |      | КРМ.142.6221м.02.04.ПЗ | Лист |
|     |      |         |         |      |                        | 77   |
| Изм | Лист | № докум | Подпись | Дата |                        |      |

Продовження табл. 4.1.8(1)

|           |                |             |
|-----------|----------------|-------------|
| $D_{от}$  | мм             | 85,86866275 |
| $F$       | м <sup>2</sup> | 1,350060382 |
| Індикатор |                | Вірно       |

У результаті виконаних розрахунків отримано теплообмінник із такими параметрами:  $\Delta P_{ww} = 8,99$  кПа,  $\Delta P_w = 14,28$  кПа,  $\eta = 0,79$ ,  $D_T = 0,11$  м,  $L_T = 0,995$  м.

В таблиці 4.1.9 наведено копії вхідних даних із розрахункового комплексу

**Таблиця.4.1.9. Вхідні дані теплообмінника ВВО2**

| Позначення | Розмірність | Значення    | Параметр                                                             |
|------------|-------------|-------------|----------------------------------------------------------------------|
| $\Pi$      | %           | 10          | Солоність заборотної води                                            |
| $G_w$      | кг/с        | 1.11        | Витрата прісної води                                                 |
| $t_{w1}$   | °C          | 105         | Температура прісної води на вході                                    |
| $p_{w1}$   | кПа         | 200         | Тиск прісної води на вході                                           |
| $t_{w2}$   | °C          | 43,59765626 | Температура прісної води за охолоджувачем                            |
| $w_{w1}$   | м/с         | 0,6         | Швидкість прісної води в стислому перерізі пучка в середніх відсіках |
| $G_{ww}$   | кг/с        | 5,83        | Витрата заборотної води                                              |
| $t_{ww1}$  | °C          | 27,13       | Температура заборотної води на вході                                 |
| $P_{ww}$   | кПа         | 200         | Тиск заборотної води на вході                                        |
| $w_{ww}$   | м/с         | 1,507       | Швидкість заборотної води в трубах                                   |

Результат розрахунку показаний у таблиці 4.1.10

**Таблиця.4.1.10. Результати розрахунку теплообмінника ВВО2**

| Позначення   | Розмірність | Значення |
|--------------|-------------|----------|
| $G_w$        | кг/с        | 1,11     |
| $t_{w1}$     | °C          | 105,00   |
| $p_{w1}$     | кПа         | 200,00   |
| $t_{w2}$     | °C          | 43,60    |
| $\eta$       |             | 0,79     |
| $w_w$        | м/с         | 0,60     |
| $w_{wпод}$   | м/с         | 1,00     |
| $w_{wот}$    | м/с         | 1,00     |
| $\Delta P_w$ | кПа         | 28,18    |
| $G_{ww}$     | кг/с        | 5,83     |

Продовження табл. 4.1.10

|                  |         |           |
|------------------|---------|-----------|
| $t_{ww1}$        | °C      | 27,13     |
| $t_{ww2}$        | °C      | 39,27     |
| $P_{ww}$         | кПа     | 200,00    |
| $w_{ww}$         | м/с     | 1,51      |
| $w_{wwпод}$      | м/с     | 1,00      |
| $w_{wwот}$       | м/с     | 1,00      |
| $\Pi$            | %       | 10,00     |
| $\Delta P_{ww}$  | кПа     | 25,40     |
| $R_{\Sigma}$     | м²·К/Вт | 0,000392  |
| $k_g$            | Вт/кгК  | 171,16    |
| $Q$              | Вт      | 285800,00 |
| Схема            |         | 4         |
| $bw$             |         | 38        |
| $b_{ww}$         |         | 2,000     |
| $bp$             |         | 2,000     |
| $d_0$            | м       | 0,012     |
| $d_w$            | м       | 0,010     |
| $S_1$            | м       | 0,016     |
| $S_2$            | м       | 0,014     |
| $S_{II}$         | м       | 0,007     |
| $S_{II}$         | м       | 0,002     |
| $\delta_d$       | м       | 0,000     |
| $h_{co}$         |         | 0,092     |
| $k_D$            |         | 0,250     |
| $S_d$            | м       | 0,006     |
| $Z_d$            |         | 11,000    |
| $Z_{cv}$         |         | 4,000     |
| Так/Hi           |         | нет       |
| $Z_2$            |         | 10,000    |
| $Z_{max}$        |         | 90,000    |
| $Z$              |         | 90,000    |
| $\phi_{ao,град}$ |         | 70,780    |
| $\phi_{at,град}$ |         | 72,362    |
| $H_{co}$         | м       | 0,016     |
| $H_{ст}$         | м       | 0,017     |
| $Do$             | м       | 0,173     |
| $L_{II}$         | м       | 0,139     |

Продовження табл. 4.1.10

|                  |                |             |
|------------------|----------------|-------------|
| $Z_{\text{дф}}$  |                | 37,000      |
| $L_1$            | м              | 0,043       |
| $L_2$            | м              | 0,043       |
| $L_3$            | м              | 0,043       |
| $L_T$            | м              | 1,862       |
| $D_T$            | м              | 0,174       |
| $D_{\text{под}}$ | мм             | 38,027      |
| $D_{\text{от}}$  | мм             | 38,0265138  |
| $D_{\text{под}}$ | мм             | 85,95572168 |
| $D_{\text{от}}$  | мм             | 85,95572168 |
| Мп               | кг             | 48,14989937 |
| $F$              | м <sup>2</sup> | 6,31656316  |
| Індикатор        |                | Вірно       |

В результаті виконаних розрахунків отримано теплообмінник із такими параметрами:  $\Delta P_{\text{ww}} = 25,4$  кПа,  $\Delta P_{\text{w}} = 28,18$  кПа,  $\eta = 0,79$ ,  $D_T = 0,174$  м,  $L_T = 1,862$  м.

Висновок: в результаті розрахунку теплообмінників ми отримали такі габаритні розміри:

ОНВ –  $L_{\text{п}} = 0,575$  м,  $B_{\text{п}} = 0,23$  м,  $H_{\text{п}} = 0,24934$  м.

МО –  $D_T = 0,265$  м,  $L_T = 1,0003$  м.

Г –  $D_T = 0,154$  м,  $L_T = 0,7745$  м.

ВВО1 –  $D_T = 0,11$  м,  $L_T = 0,995$  м.

ВВО2 –  $D_T = 0,174$  м,  $L_T = 1,862$  м.

## РОЗДІЛ №5.

### РОЗМІЩЕННЯ ТЕПЛООБМІННИКІВ НА СУДНІ ТА ДВИГУНІ.

Після розрахунку теплообмінників, були отримані габаритні розміри теплообмінників, які показані вище. На підставі отриманих даних з таблиць у розділі №4, кресляться зовнішнішні вигляди кожного теплообмінника. Кресляться усі теплообмінники в середовищі AutoCAD. Копія креслень показана на рис.5.1 – 5.6.

Накреслені теплообмінники розміщуються на судні та на двигуні у двох видах. На судні розміщуються теплообмінники на виді зверху та у продольному розрізі. На двигуні теплообмінники розміщуються на продольному та поперечному розрізах. Завдяки цьому ми можемо отримати повне уявлення того, як повинна компонуватися система на судні та двигуні.

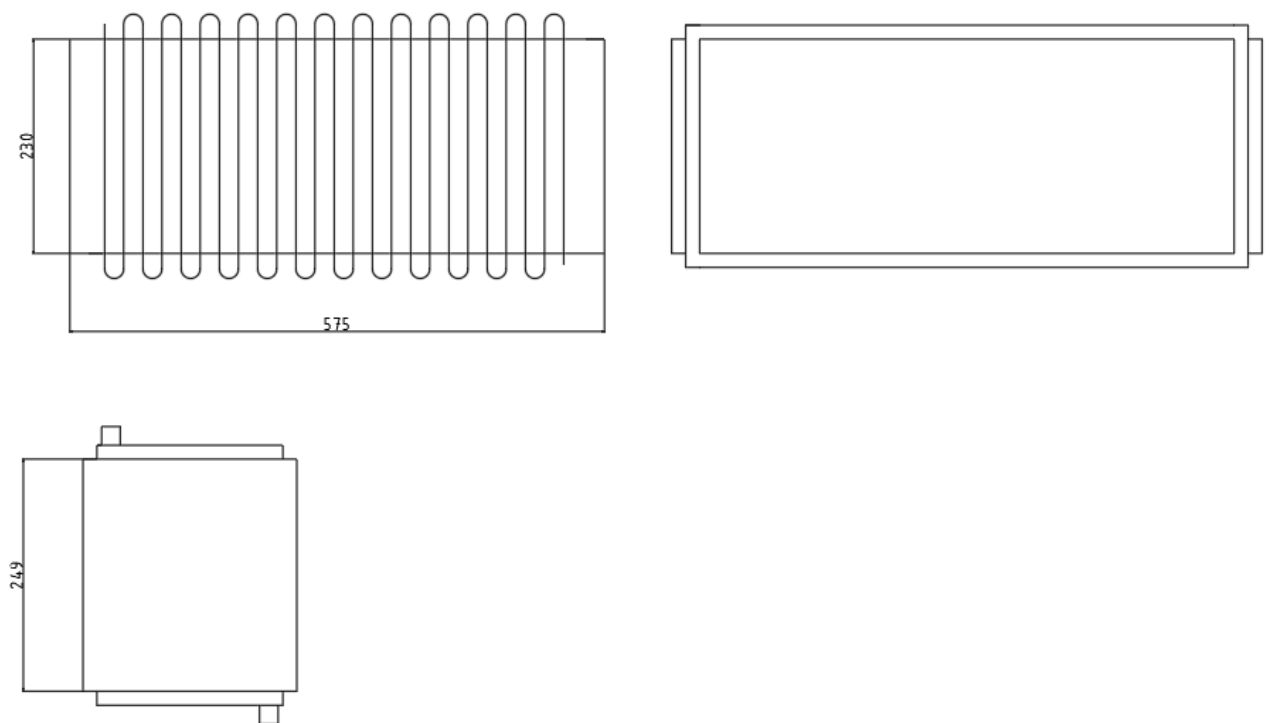


Рис.5.1. Зовнішній вид ОНП

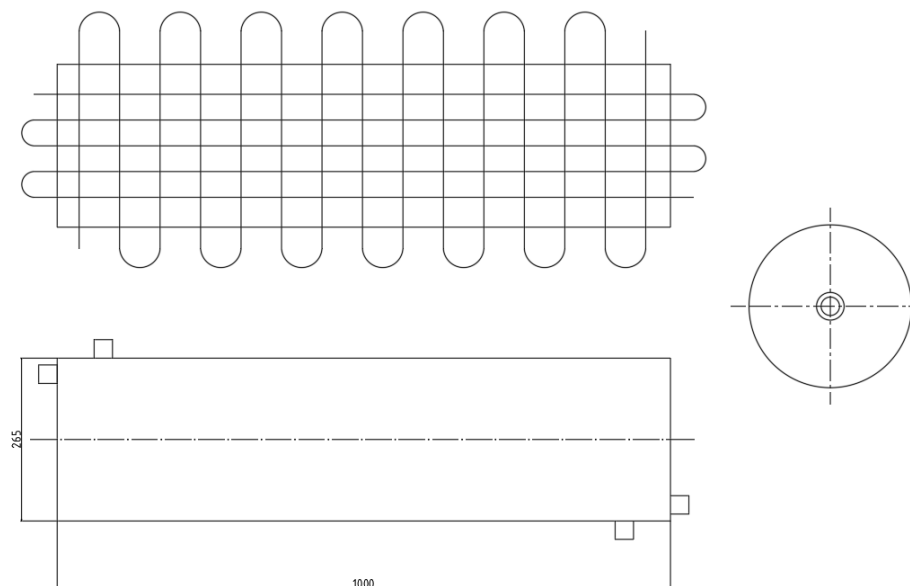


Рис.5.2. Зовнішній вид МО

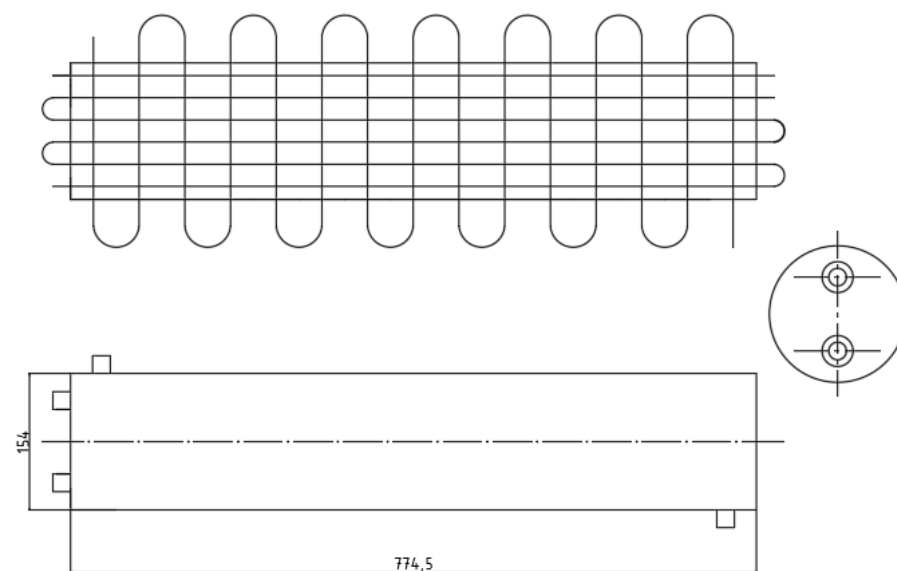


Рис.5.3. Зовнішній вид Г

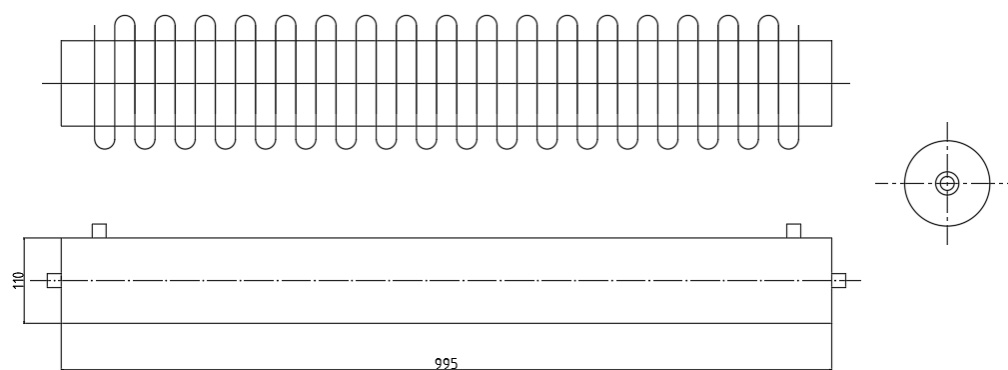


Рис.5.4. Зовнішній вид ВВО1

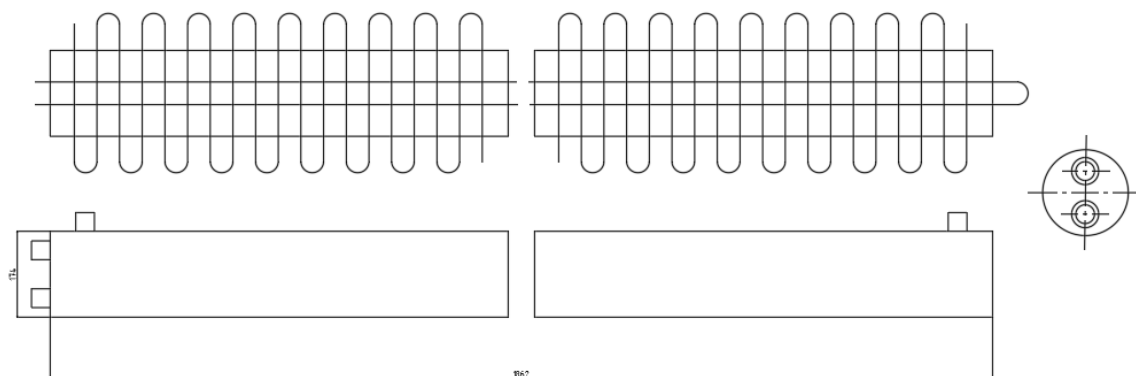


Рис.5.5. Зовнішній вид BBO2

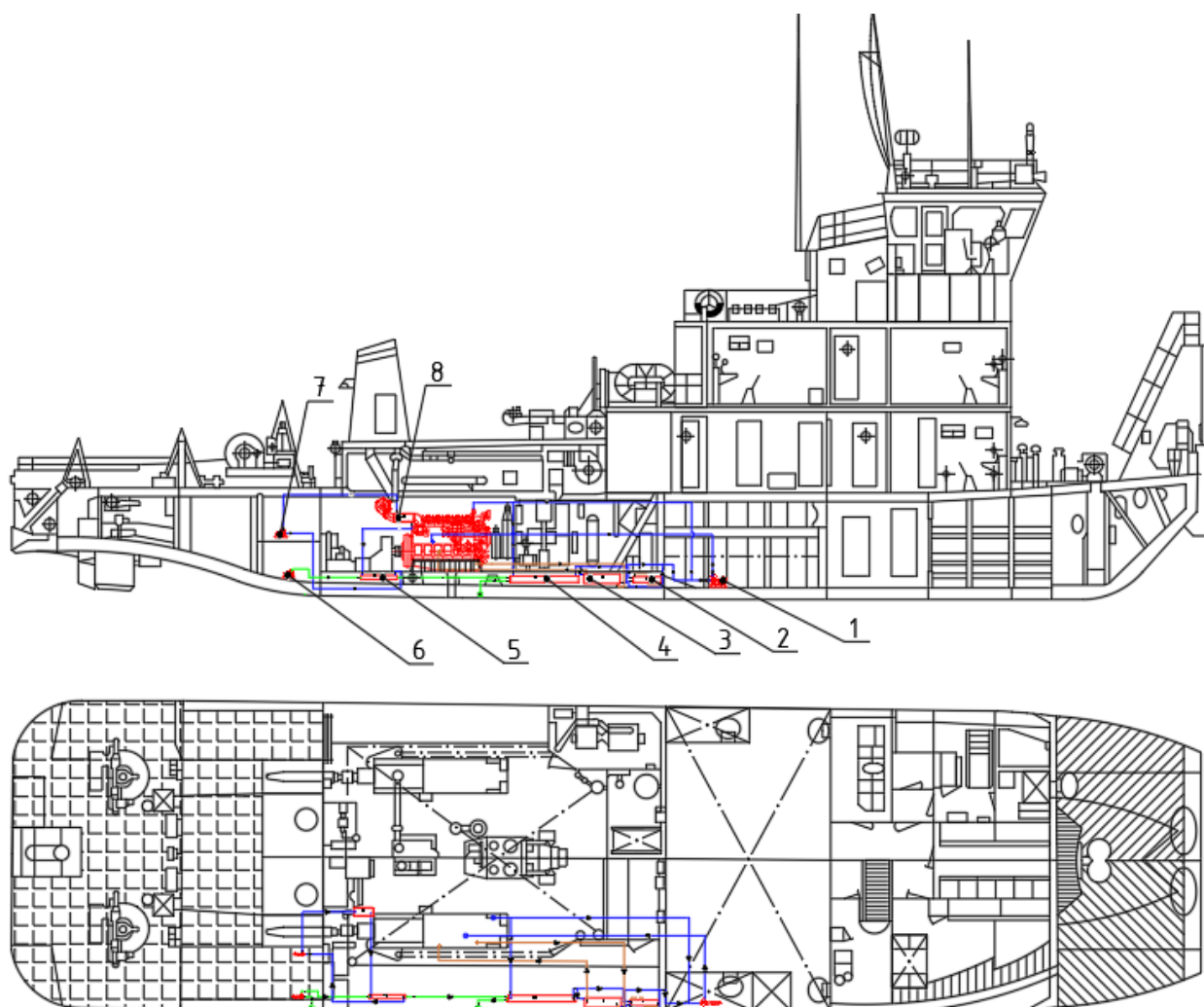


Рис.5.6. Трасування теплообмінників на судні

Позначення на кресленні: 1 – 2 насос для прісної води 2; охолоджувач гідралічної рідини; 3 - маслоохолджувач; 4 – водоводяний охолоджувач 2; 5 – водоводяний охолоджувач 1; 6 – 1 насос для прісної води; 7 – насос для забортої води; 8 – охолоджувач надувного повітря;

Роз'яснення що до кольору траси:

|     |      |         |         |      |                        |      |
|-----|------|---------|---------|------|------------------------|------|
|     |      |         |         |      | КРМ.142.6221м.02.05.ПЗ | Лист |
| Изм | Лист | № докум | Подпись | Дата |                        | 83   |

- Синім кольором позначена траса для прісної води;
- Зеленим кольором позначена траса для забортної води;
- Коричневим кольором позначена траса для масла та гідравлічної рідини.

|     |      |         |         |      |                        |      |
|-----|------|---------|---------|------|------------------------|------|
|     |      |         |         |      | КРМ.142.6221м.02.05.ПЗ | Лист |
|     |      |         |         |      |                        |      |
| Изм | Лист | № докум | Подпись | Дата |                        | 84   |

## РОЗДІЛ №6.

### ДЕТАЛЬНИЙ ОПИС МАСЛЯНОГО ОХОЛОДЖУВАЧА.

Згідно з завданням кафедри розроблено кожухотрубний маслоохолоджувач. Всі розміри та особливості конструкції зроблені у відповідності до розрахунків, які виконувалися для обраної системи та її теплообмінників (див. підрозд. 4.1.2). Далі розбирається його конструкція. Основні результати розрахунку показані у табл. 6.1.

**Таблиця 6.1. Основні результати розрахунку теплообмінника МО**

| Позначення       | Найменування                                                                     | Розмірність | Значення |
|------------------|----------------------------------------------------------------------------------|-------------|----------|
| $G$              | Розхід масла                                                                     | кг/с        | 5,82     |
| $\eta$           | ККД ОМ                                                                           |             | 0,494    |
| $\Delta P_M$     | Супротив по маслу                                                                | кПа         | 94,72    |
| $\Delta P_W$     | Супротив по воді                                                                 | кПа         | 23,78    |
| $b_M$            | Число ходів теплообмінника по маслу                                              |             | 15       |
| $b_W$            | Число ходів теплообмінника по воді                                               |             | 5        |
| $Z$              | Загальне число труб у пучку                                                      |             | 56       |
| $D_o$            | Діаметр кола, описаного навколо пучка                                            | м           | 0,246    |
| $D_T$            | Внутрішній діаметр кожуха                                                        | м           | 0,265    |
| $D_{\text{ду}}$  | Діаметр діафрагмового ущільнення                                                 | м           | 0,265    |
| $L_{\text{п}}$   | Довжина одного відсіку за ходом масла                                            | м           | 0,165    |
| $Z_{\text{дф}}$  | Загальне число діафрагм                                                          |             | 14       |
| $L_1$            | Відстань між діафрагмами                                                         | м           | 0,062    |
| $L_2$            | Відстань між діафрагмою і трубною дошкою в приймальному відсіку                  | м           | 0,062    |
| $L_3$            | Відстань між діафрагмою і трубною дошкою у вихідному відсіку                     | м           | 0,062    |
| $L_T$            | Довжина трубок теплообмінника з урахуванням затінення частини довжини дафрагмами | м           | 1,0003   |
| $D_{\text{пв}}$  | Внутрішній діаметр патрубка, що підводить воду                                   | мм          | 30       |
| $D_{\text{опв}}$ | Внутрішній діаметр патрубка, що відводить воду                                   | мм          | 30       |
| $D_{\text{п}}$   | Внутрішній діаметр підвідного маслорозподільного патрубка, що підводить          | мм          | 58       |
| $D_{\text{оп}}$  | Внутрішній діаметр маслорозподільного патрубка                                   | мм          | 58       |

*Продовження табл. 6.1*

|    |                                                   |                |       |
|----|---------------------------------------------------|----------------|-------|
| Мп | Маса пучка труб                                   | кг             | 54,62 |
| F  | Повна площа поверхні теплообміну з боку оребрення | м <sup>2</sup> | 21,58 |

### **6.1.Опис конструкції**

Теплообмінник можна класифікувати наступним чином:

За призначенням – охолоджувач масла двигуна.

За виглядом теплоносіїв – рідинно-рідинний.

За схемою взаємної течії теплообмінник є однократно реверсивним; він має 5 ходів по воді і 15 ходів по маслу.

За особливостями переміщення теплоносіїв у кожному наступному перерізі по ходу теплоносіїв – для даної схеми взаємної течії це не має значення.

По вигляду поверхні теплообміну – серцевина теплообмінника являє собою діагональний пучок труб з індивідуальним оребренням накаткою (трубчато-ребриста поверхня).

За загальною схемою конструкції теплообмінника – теплообмінник кожухотрубний. У корпусі трубчастої форми розміщується серцевина у вигляді пучка труб круглої у перетині форми. Серцевина розділена сегментними діафрагмами на відсіки для впорядження течії масла. Масло тече з боку оребрення, вода тече всередині трубок.

### **6.2. Схема, загальний вид і основні особливості конструкції.**

На рис. 6.1 зображена схема теплообмінника з показом основних розмірів. З зображеної схеми видно, що для непарної кількості ходів по воді патрубки підведення і відведення мають бути розташовані несиметрично з різних боків теплообмінника. Теж саме можна сказати про масло. На схемі зображено теплообмінник з 3-ма ходами по воді. Для іншої кількості непарних ходів по воді принципове розташування патрубків буде таке ж саме. Так само буде і по маслу.

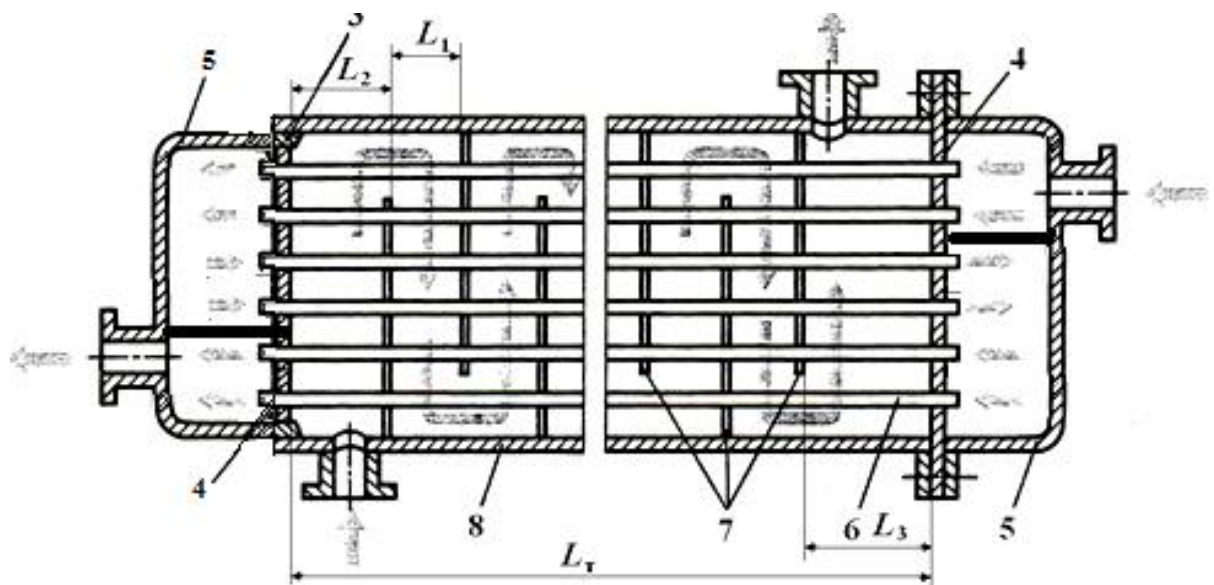


Рис.6.1. Схема конструкції однократно реверсивного кожухотрубного теплообмінника з непарною кількістю ходів по теплоносіям

Сегментні діафрагми можуть робити різну довжину відсіків  $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$ . Останні відсіки робляться з більшою довжиною для розміщення патрубків, якщо інакше неможна. У розробленого МО відсіки однакові, бо розміщення патрубків з такими розмірами можливе.

Одна з трубних дощок теплообмінника робиться рухомою для забезпечення переміщення дошки через термічне подовження трубок при роботі. У розробленому МО водяна кришка з боку рухомої дошки має кріпитися не до корпусу, а до дошки, бо тут є дві перемички, які розділяють простір під кришкою для організації п'ятикратного току. Ці перемички спираються на трубну дошку і герметизуються у місцях спирання прокладкою. Для забезпечення герметичності у місцях контакту перемичок і трубної дошки треба, щоб дошка і кришка пересувались разом. Звідси особливості кріплення кришки.

На рис. 6.2 дана копія розробленого креслення МО. Видно, що вказані особливості конструкції повторюють схему. Ущільнення рухомої трубної дошки і кріплення кришки до рухомої дошки детально показано на схемі рис.6.3. Згідно з цією схемою виконане креслення МО.



### 6.3. Деталі конструкції

Розглянемо основні деталі конструкції МО.

**Корпус теплообмінника.** На рисунку 6.4 у корпуса інше, ніж у розробленого МО, розміщення масляних патрубків. Якщо не брати до уваги розміщення масляних патрубків, то можна добре зрозуміти особливості конструкції корпусу: це відносно велика труба з фланцями і боковими патрубками.

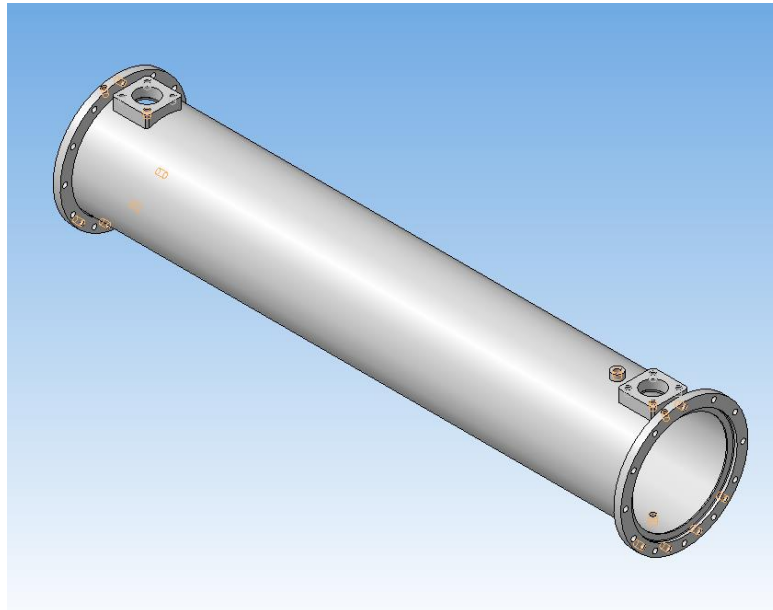


Рис.6.4. Принципова конструкція корпусу теплообмінника МО

**2. Трубний пучок.** На рис.6.5. зображений трубний пучок. Видно, що він поділяється на відсіки сегментними діафрагмами, які повертаються на 180° через кожен відсік.

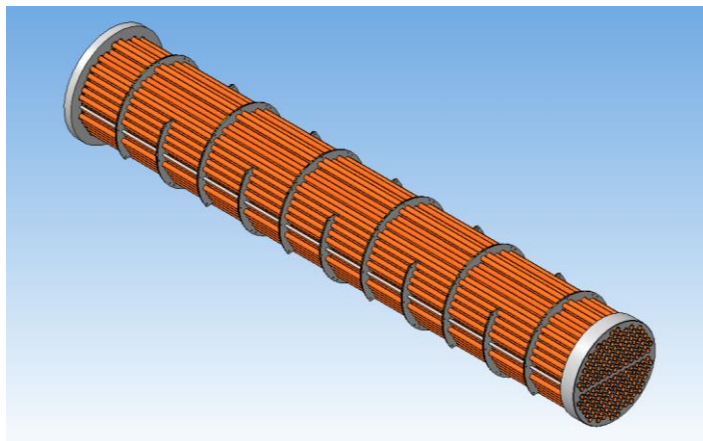


Рис.6.5. Принциповий вигляд трубного пучка

|     |      |         |         |      |                        |      |
|-----|------|---------|---------|------|------------------------|------|
|     |      |         |         |      | КРМ.142.6221м.02.06.ПЗ | Лист |
|     |      |         |         |      |                        | 89   |
| Изм | Лист | № докум | Подпись | Дата |                        |      |

**3. Сегментні діафрагми.** Принциповий вид сегментної діафрагми надано на рис. 6.6. Діафрагма оздоблена м'яким ущільненням на частині кола для протидії паразитному байпасному потоку, що йде вздовж корпусу МО. Отвори у діафрагмі робляться мінімально можливими, але враховується неминуча можливість просовувати крізь ці отвори трубки при збиранні теплообмінника. Проте, великі зазори у отворах ведуть до появи великого паразитного потоку протічок.

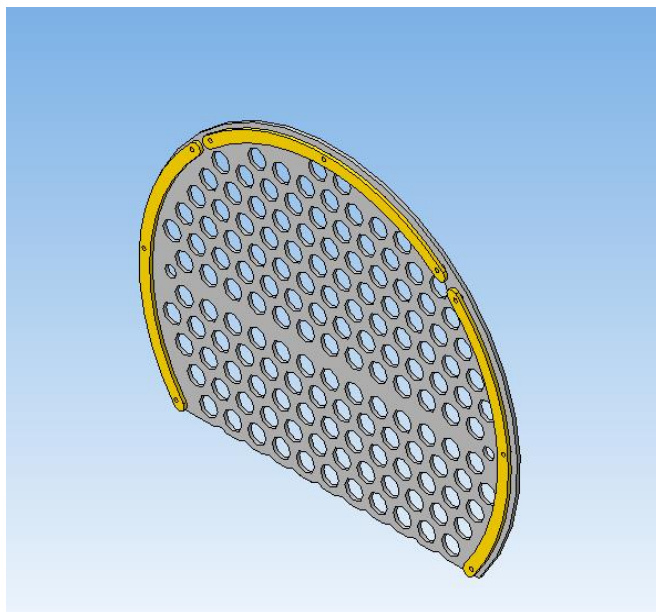


Рис.6.6. Принциповий вигляд сегментної діафрагми з еластичним ущільненням

**4. Витискувачі і схема потоків у МО.** Між діафрагмами закладають витискувачі (рис.6.7.) Витискувачі фіксуються спеціальними штирями. Вони протидіють паразитному обводному потоку, що йде по окружності пучка, між корпусом та пучком. Схема всіх потоків у МО показана на рис. 6.8.

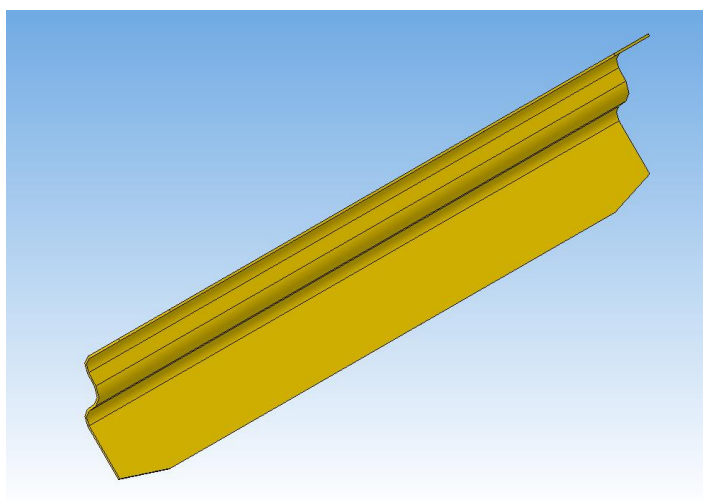


Рис.6.7. Принциповий вигляд витискувача

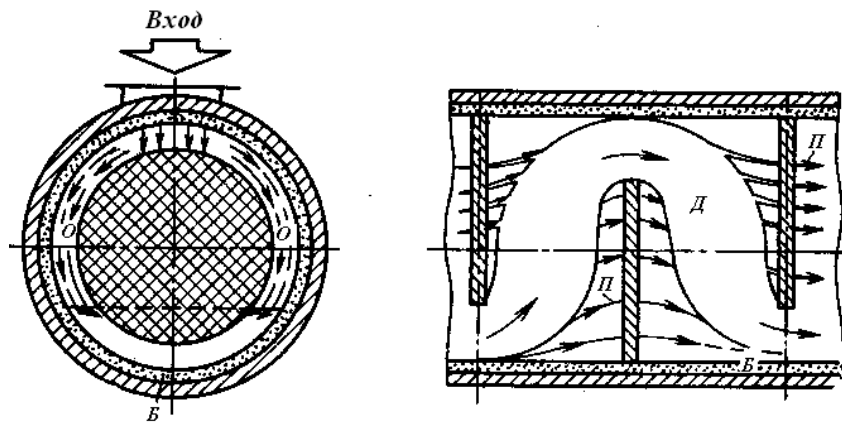


Рис.6.8. Схема всіх потоків МО: *Д* – основний потік, *П* – протічки в зазорах між діафрагмами та трубками, *Б* – байпасний потік між діафрагмами та корпусом, *О* – обвідний потік між корпусом та бічною поверхнею пучка

**5. Водяні кришки.** Принциповий вид водяних кришок показаний на рис. 6.9. Якщо не брати до уваги розташування водяних патрубків можна побачити, який вигляд мають водяні кришки. Особливість розробленої конструкції полягає не тільки у розташуванні патрубків, але і тому, що одна з кришок буде рухомою, тому кріпиться має до трубної дошки, а не до корпусу (схема кріплення показана на рис 6.3). Крім того кришки для розробленої конструкції мають по дві перегородки, розташовані згідно рис. 6.10 де показані схеми трубних дошок та їх поділ перегородками.

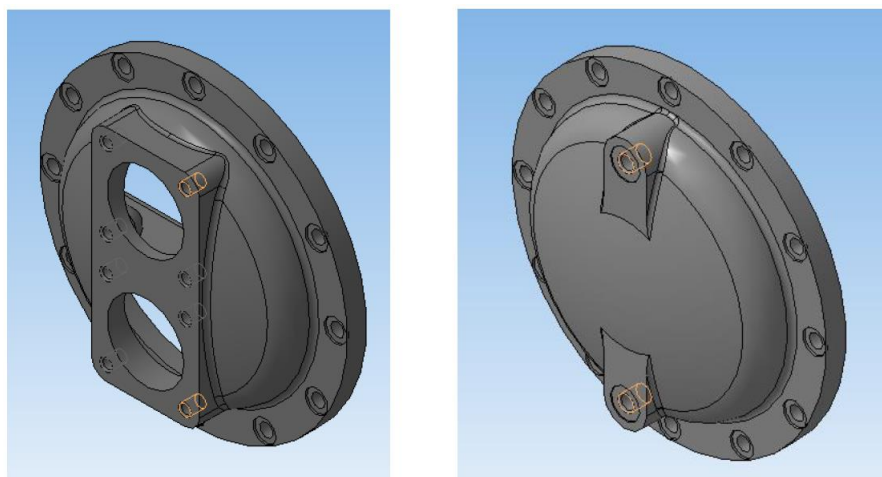


Рис.6.9. Водяні кришки

**6. Трубна дошка.** На рис. 6.10 показаний принциповий вигляд трубної дошки МО. На трубних дошках кріпляться кінці трубок. Одна з трубних дошок має

рухливість для забезпечення компенсації теплових розширень. Розміщення трубок у трубних дошках нашого теплообмінника виконано за системою діагональної розбивки. Схема розбивки дошки для розміщення трубок і схема розташування перегородок надана на рис. 4.19. Схема розташування трубок виконана за системою, яка використовувалася на БрМЗ. Поділ кришок і дощок перегородками зроблений згідно розрахунковій кількості ходів по воді (рис. 6.11). При поділі кількість трубок у ході забезпечувалася рівною 12 шт. Цим пояснюється форма перегородок.

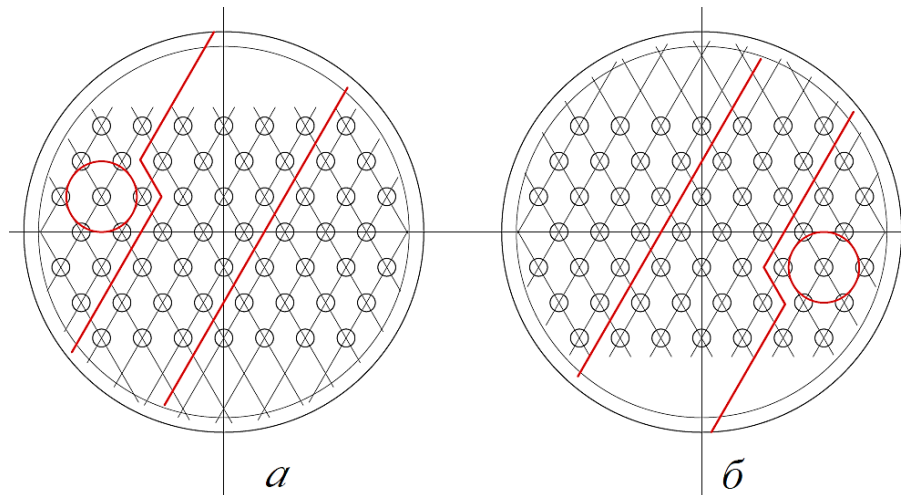


Рис.6.10. Вигляд трубних дощок і їх поділ перегородками: *а* – рухома трубна дошка з боку підведення води; на тлі дошки колом показане місце підведення води; *б* – нерухома дошка; тут теж показано колом місце відведення води

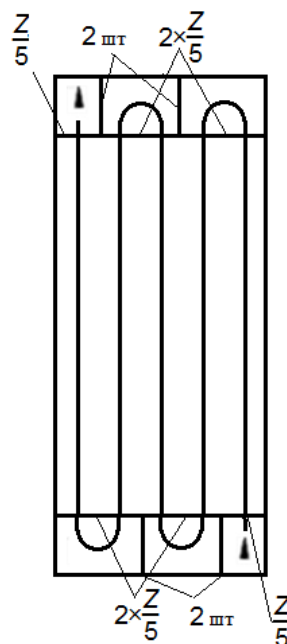


Рис. 6.11. Схема виконання ходів по воді

**7. Трубки.** На. рис. 6.12 показаний принциповий вигляд трубки з оребренням ззовні накаткою. Трубка має оребрення зі сторони масла, тому що коефіцієнт тепловіддачі масла набагато нижче, ніж у води. Кінці трубок обточуються для вальцювання у трубних дошках. При цьому товщина стінки трубки має бути не менше 1 мм. На рис 6.13 показано кріплення трубки у трубній дошці методом вальцювання.

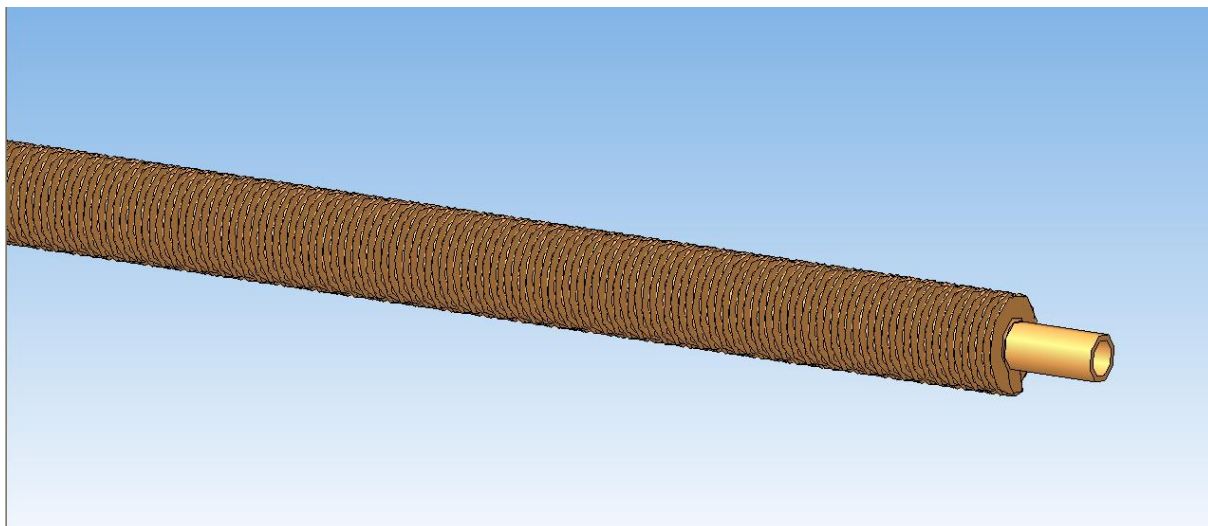


Рис.6.12. Принциповий вигляд трубки з оребренням ззовні накаткою



Рис.6.13. Кріплення трубки у трубній дошці методом вальцювання

|     |      |         |         |      |                        |      |
|-----|------|---------|---------|------|------------------------|------|
|     |      |         |         |      | КРМ.142.6221м.02.06.ПЗ | Лист |
|     |      |         |         |      |                        | 93   |
| Изм | Лист | № докум | Подпись | Дата |                        |      |

## РОЗДІЛ №7

### ОХОРОНА ПРАЦІ

#### *Розрахунок рівня шуму і вібрації в приміщенні машинного відділення штовхача – буксира*

Охорона праці – це система законів і норм, спрямованих на забезпечення безпеки праці і відповідних їм соціально – економічних, організаційних, технічних і санітарно – гігієнічних заходів.

Задачі охорони праці – звести до мінімуму можливі поранення і захворювання працюючих, з одночасним забезпеченням комфорту при максимальній продуктивності праці. Реальні виробничі умови характеризуються, як правило, наявністю деяких небезпечних і шкідливих виробничих факторів.

Небезпечним виробничим фактором називається такий виробничий фактор, вплив якого на працюючого у визначених умовах приведе до захворювання чи зниженню працездатності.

#### **Основні вимоги та заходи по експлуатації систем охолодження**

Основні вимоги, що пред'являються Правилами Регістру до систем охолодження прісної води:

- установка розширювальних цистерн вище рівня води в системах і під'єднання до прийомних труб насосів;
- відведення охолоджуючої води від двигунів з точок, розташованих вище верхнього рівня охолоджуваних порожнин;
- відведення повітря від циркуляційних систем;
- незалежність системи водяного охолодження форсунок від інших систем і обслуговування двома насосами;
- роздільні системи охолодження циліндрів і поршнів;
- прогрів головних дизелів перед пуском;

- обладнання системи охолодження оглядовими вікнами, термометрами, манометрами, терморегуляторами і вимірювачами рівня, що забезпечують автоматичну підтримку заданої температури охолоджуючої води і захист двигуна при падінні тиску.

### **Підготовка системи охолодження і попередній прогрів ГД перед пуском**

Підготовка системи охолодження і попередній прогрів ГД перед пуском – відповідальна операція. Для скорочення часу прогріву зазвичай передбачається прокачування головного дизеля на стоянці водою, що виходить із системи охолодження допоміжних дизелів (ДГ). Однак такого прогріву недостатньо. Додатково включають підігрівач води в контурі циркуляції системи охолодження головного дизеля, і при робочому тиску температуру води на виході поступово протягом 1-ої години підвищують до робочого значення.

В процесі прогрівання через повітряні крани на фільтрах, водоохолоджувачах, трубопроводах з системи видаляють повітря. При робочих тиску і температурі дизель прокачують водою також протягом всього часу підготовки до пуску. При температурі води на виході 60°C пуск дизеля і наступні маневрові режими зазвичай протікають без ускладнень. У виняткових випадках пуск дизеля допускається і при більш низькій температурі (до 20°C). Капітан повинен бути попереджений про обмежені можливості навантаження дизеля, прогрів якого триватиме в режимі малого ходу.

Паралельно з роботою системи охолодження головного дизеля перевіряють готовність системи забортної води (роботу насосів, повітроохолоджувачів, систем терморегулювання води, масла, повітря). Після перевірки насос забортної води зупиняють і пускають знову безпосередньо перед пуском дизеля.

### **Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів, що впливають на персонал по обслуговуванні дизеля.**

При роботі ДВЗ, а також різних систем і механізмів, що обслуговують дизель, виникає ряд виробничих факторів небезпечних для життя і здоров'я людей. Ці фактори регламентовані ДСТ 12.0.003 – 83.

|     |      |         |         |      |                        |      |
|-----|------|---------|---------|------|------------------------|------|
|     |      |         |         |      | КРМ.142.6221м.01.07.ПЗ | Лист |
|     |      |         |         |      |                        |      |
| Изм | Лист | № докум | Подпись | Дата |                        | 95   |

### **Пари палива та мастила.**

По СНіПу 245 – 71 величина припустимої границі концентрації оксиду вуглецю не повинна перевищувати 20 мг/м<sup>3</sup>.

Пари палива та мастила проникають в організм людини, подразнююче діють і можуть призвести до виникнення хронічних захворювань легких і дихальних шляхів.

За ДСТ 12.1.005 – 88 установлені припустимі границі концентрації пар дизельного палива – 100 мг/м<sup>3</sup> – у повітрі виробничих приміщень.

### **Пожежна безпека.**

Причиною пожеж у машинному відділенні є: несправні електроприлади, самозаймання промасленого дрантя, несправність запірної арматури, знос і корозія елементів паливної апаратури, застосування відкритого вогню, недотримання норм пожежної безпеки при роботі з легко займистими речовинами.

### **Вентиляція.**

Система вентиляції розроблена відповідно до вимог і норм СНіП.

Для ефективної роботи систем вентиляції важливо щоб були виконані наступні технічні і санітарно – гігієнічні вимоги:

1. Кількість приточного повітря повинне відповідати кількості вилученого, різниця між ними повинна бути мінімальною.
2. Система вентиляції не повинна створювати шум на робочих місцях, що перевищує припустимі норми.
3. Система вентиляції повинна бути електробезпечна, пожежобезпечна і вибухобезпечна, проста в пристрої, надійна в експлуатації й ефективна.

### **Шум.**

Шум значно погіршує продуктивність праці. Впливає на людину, при інтенсивному рівні шуму тривалий час спостерігається втома слухового апарату, що може привести до часткового чи навіть до повної втрати слуху.

|     |      |         |         |      |                        |      |
|-----|------|---------|---------|------|------------------------|------|
|     |      |         |         |      | КРМ.142.6221м.01.07.ПЗ | Лист |
|     |      |         |         |      |                        |      |
| Изм | Лист | № докум | Подпись | Дата |                        | 96   |

## Вібрація.

Вібрація виникає через динамічну невірноваженість мас кривошипно-шатунного механізму ДВЗ. Загальна вібрація з частотою 0,7 Гц викликає морську хворобу, з частотою 4 – 30 Гц може викликати ушкодження плечового пояса, більшості внутрішніх органів через резонансні явища.

## Розрахунок рівня шуму і вібрації в приміщенні машинного відділення.

Рівень шуму вироблений двигуном 6ЧН18/22 визначається по формулі:

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

$n_n$  – номінальна частота обертання,  $n_n = 1000$  об/хв;

$n$  – робоча частота обертання,  $n = 1000$  об/хв;

$N_e$  – номінальна потужність двигуна,  $N_e = 300$  кВт.

$$L = \left[ 54 + 10 \lg(1000 + 300^{0.55}) + 30 \lg\left(\frac{1000}{1000}\right) \right] = 123,305 \text{ Дб}$$

Рівень шуму має припустимі значення. Для зниження аеродинамічного шуму, створеного двигуном, використовуються глушники різних конструкцій. Використання глушників дозволяє знизити загальний рівень шуму на 10 – 12 Дб.

Для зниження повітряного шуму, випромінюваного зовнішніми поверхнями двигуна, використовуються звукоізолюючі чи кожухи бокси, що дозволяють знизити загальний рівень шуму на 10 – 15 Дб, а додатково на 20 Дб і вище.

Рівень вібрації для двигуна 6ЧН18/22 визначається по формулі:

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

де  $m$  – маса двигуна,  $m = 4750$  кг;

|     |      |         |         |      |                        |      |
|-----|------|---------|---------|------|------------------------|------|
|     |      |         |         |      | КРМ.142.6221м.01.07.ПЗ | Лист |
|     |      |         |         |      |                        | 97   |
| Изм | Лист | № докум | Подпись | Дата |                        |      |

$$L = 44 + 10 \lg \left( \frac{1000 \cdot 300^{0.55} \cdot \left( \frac{1+300}{4750} \right)}{1 + \left( \frac{1}{1500} \right)^3 \cdot \frac{4750}{300}} + 30 \lg \left( \frac{1000}{1000} \right) \right) = 116.86 \text{ Дб}$$

Рівень вібрації не перевищує норм.

***Розробка заходів щодо зменшення впливу небезпечних і шкідливих виробничих факторів що впливають на персонал***

До роботи на дизелі допускаються люди, що пройшли спеціальну технічну підготовку і мають посвідчення по техніці безпеки з правил експлуатації ДВЗ.

Перед пуском дизеля необхідно дотримувати наступні правила:

- перевірити колінчастий вал дизеля з відкритими газовими клапанами не менше двох обертів;
- попередити присутніх про запуск дизеля;
- за допомогою приладів визначити загазованість машинного відділення;
- при роботі в нічний час забезпечити нормальне освітлення машинного відділення;
- при роботі дизеля відкривати індикаторні крани без приєднаних до них вимірювальних пристосувань забороняється.

|     |      |         |         |      |                        |      |
|-----|------|---------|---------|------|------------------------|------|
|     |      |         |         |      | КРМ.142.6221м.01.07.ПЗ | Лист |
|     |      |         |         |      |                        |      |
| Изм | Лист | № докум | Подпись | Дата |                        | 98   |

## ЗАГАЛЬНИЙ ВИСНОВОК ПО ПРОЕКТУ

В кваліфікаційні роботі було проведено дослідження системи охолодження суднового двигуна типу 6ЧН 18/22. Основною ціллю даної роботи було дослідження трьох систем охолодження, які надала кафедра (2В2НД, 2В2НПР, 2ВНП), та вибору найкращої з них. В ході виконання дослідження було зроблено висновок, що система 2В2НПР є найбільш легкою, компактною та найдешевшою для даного двигуна.

В першому розділі було розглянуто двигун та судно, на якому буде працювати система охолодження.

В другому розділі був порахований цикл двигуна та тепловий баланс, без якого неможливо було виконати вибір системи охолодження. У табл. 7 та 8 показані результати основних параметрів двигуна та теплового балансу для розрахунку системи охолодження.

**Таблиця 7 Основні результати розрахунку параметрів двигуна**

|                  |       |                                       |
|------------------|-------|---------------------------------------|
| $D$ , м          | 0,18  | Діаметр циліндра                      |
| $S$ , м          | 0,22  | Хід поршня                            |
| $i$              | 6     | Число циліндрів                       |
| $Z$              | 0,5   | Коефіцієнт тактності                  |
| $Ne$ , кВт       | 300   | Ефективна потужність                  |
| $n$ , об/мин     | 1000  | Обороти колінчастого вала             |
| $P_k$            | 2,0   | Ступінь підвищення тиску в компресорі |
| $g_e$ , кг/кВт·ч | 0,2   | Питома витрата палива                 |
| $G$ , кг/с       | 0,618 | Масова витрата повітря                |
| $G_t$ , кг/с     | 0,618 | Масова витрата газів                  |

**Таблиця 8 Основні результати розрахунку теплового балансу**

|              |        |                                                     |
|--------------|--------|-----------------------------------------------------|
| $Q_w$ , кВт  | 179,21 | Тепловий потік від робочого тіла в зарубашечну воду |
| $Q_m$ , кВт  | 89,6   | Витрата тепла в масло                               |
| $G_w$ , кг/с | 5,83   | Витрата води насосом, кг/с                          |
| $G_m$ , кг/с | 5,82   | Витрата масла насосом                               |

В третьому розділі виконані розрахунок та оптимізація кожної системи охолодження для вибору найкращої. У табл. 9 показано результат оптимізації системи яка виявилася кращою за інших з представлених.

**Таблиця 9 Основні результати оптимізації системи типу 2В2ННР**

| Назва систем  | Параметр                                       | Позначення   | Розмірність | Значення |
|---------------|------------------------------------------------|--------------|-------------|----------|
| <b>2В2ННР</b> | Вода за ВВО1 та перед ОНП                      | $t_{w1}$     | °C          | 38       |
|               | Вода після МО                                  | $t_{wm2}$    | °C          | 66,5     |
|               | Вода за ОНП                                    | $t_{wn2}$    | °C          | 88       |
|               | Сума мас серцевин усіх теплообмінників системи | $M_{\Sigma}$ | Кг          | 130      |

В четвертому розділі зроблені розрахунки кожного теплообмінника обраної системи.

В п'ятому розділі побудовані ескізи порохованих теплообмінників, розроблене трасування труб цієї системи на судні.

В шостому розділі був детально описаний і побудований масляний охолоджувач по результатам розрахунку. В результаті маємо такі значення теплообмінників;

ОНП –  $L_{\Pi} = 0,575$  м,  $B_{\Pi} = 0,23$  м,  $H_{\Pi} = 0,24934$  м,  $\Delta P_w = 52,69$  кПа,  $\eta = 0,9647$ ;  
 МО –  $\Delta P_m = 94,72$  кПа,  $\Delta P_w = 23,78$  кПа,  $\eta = 0,494$ ,  $D_T = 0,265$  м,  $L_T = 1,0003$  м;  
 Г –  $\Delta P_m = 71,3$  кПа,  $\Delta P_w = 47,07$  кПа,  $\eta = 0,494$ ,  $D_T = 0,154$  м,  $L_T = 0,7745$  м;  
 ВВО1 –  $\Delta P_{ww} = 8,99$  кПа,  $\Delta P_w = 14,28$  кПа,  $\eta = 0,79$ ,  $D_T = 0,11$  м,  $L_T = 0,995$  м.;  
 ВВО2 –  $\Delta P_{ww} = 25,4$  кПа,  $\Delta P_w = 28,18$  кПа,  $\eta = 0,79$ ,  $D_T = 0,174$  м,  $L_T = 1,862$  м.

В сьомому розділі була розглянута техніка безпеки при обслуговуванні машинного відділення судна з розробленою системою охолодження.

На основі виконаного у роботі були зробленні 7 креслень у форматі А1: поперечний та продольний розріз двигуна, продольний розріз судна та його вид сверху, схеми систем охолодження які досліджувались, графіки результатів дослідження на двох листах, трасировка системи охолодження на судні та двигуні і детальне креслення масляного охолоджувача.

Розрахунково – пояснювальна записка складається із 101 сторінки. Таким чином, завдання кафедри виконано за змістом та об'ємом.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Eastwood, J. C. Liquid-Coupled Indirect-Transfer Exchanger Application to the Diesel Engine. *Journal of Engineering for Power*. **1979**, 101(4), pp. 516–523.
2. Jadeja, K. M., Bumataria, R., Chavda, N. Nanofluid as a coolant in internal combustion engine – a review. *International Journal of Ambient Energy*. **2023**, 44:1, pp. 363–380.
3. Mathur, G. D., Hara, J., Iwasaki, M., Meguriya, Y. Development of an innovative energy efficient compact cooling system "SLIM". SAE Technical Papers. 2012.
4. Zhang, B., Zhang, P., Zeng, F. Multiobjective optimization of the cooling system of a marine diesel engine. *Energy Science & Engineering*. **2021**, 9(10), pp. 1887–1907.
5. Che Sidik, N. A., Witri Mohd Yazid, M. N. A., Mamat, R. Recent advancement of nanofluids in engine cooling system. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2017, 75, pp. 137–144.
6. Gumus, M. Reducing cold-start emission from internal combustion engines by means of thermal energy storage system. *Appl. Therm. Eng.* 2009, 29, 652–660.
7. Tao, X.; Wagner, J.R. An Engine Thermal Management System Design for Military Ground Vehicle—Simultaneous Fan, Pump and Valve Control. *SAE Int. J. Passeng. Cars—Electron. Electr. Syst.* 2016, 9, 243–254.
8. Zhou, B.; Lan, X.D.; Xu, X.H.; Liang, X.G. Numerical model and control strategies for the advanced thermal management system of diesel engine. *Appl. Therm. Eng.* 2015, 82, 368–379.
9. Guojin C., Miaofen Z., Zhongmin L., Tingting L., Shaohui S., Yijiang C. Study on Air Intake and Cooling System for Marine Diesel Engine. *TELKOMNIKA Indonesian Journal of Electrical Engineering*. 2014;12(2):998–1004.
10. Stanivuk T., Lalić B., Mikuličić J. Ž., Šundov M. Simulation modelling of marine diesel engine cooling system. *Transactions on Maritime Science*. 2021;10(1):112–125.