

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 25/34

Спеціальність 142 – Енергетичне машинобудування
Освітня програма – Двигуни внутрішнього згоряння

Для здобуття другого (магістерського) рівня вищої освіти

Керівник роботи

Здобувач освіти



Ю. Л. Мошенцев

В. Ф. Лесиганич

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

Лесиганичу Віталію Федоровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження системи охолодження суднового двигуна типу
6ЧН 25/34

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 25/34, потужність двигуна – 560
кВт; частота обертання колінчатого валу – 500 хв⁻¹; ПК – 2,3; паливо – дизельне

5. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Опис двигуна 6ЧН 25/34 та штовхача – буксира; Розрахунок робочого
циклу двигуна 6ЧН 25/34 і його теплового балансу; Розрахунки систем охолодження
що порівнюються, і вибір найкращої; Розрахунок теплообмінних апаратів для
найкращої системи; Розміщення теплообмінників на судні та двигуні; Розрахунок
циркуляційного насосу повнопотокового контуру; Забезпечення вимог охорони праці

6. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Двигун 6ЧН 25/34; Штовхач – буксир; Схеми систем охолодження; Графіки змін
мас серцевин при змінах температур; Графіки змін розходу ТВК; Трасування
системи охолодження на судні; Детальне креслення насоса повнопотокового
контуру

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	канд. техн. н., проф. Мошенцев Ю. Л.	13.12.2024	13.12.2024

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	
8	Оформлення 8 розділу	15.12.2024	

Здобувач освіти

Керівник роботи

(підпис)

(прізвище та ініціали)

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Анотація

В кваліфікаційній роботі виконано дослідження системи охолодження для суднового двигуна типу 6ЧН 25/34, потужністю 560 кВт та 500 хв⁻¹.

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 насос повнопотокового контуру для обраної системи. Наведені заходи щодо забезпечення охорони праці.

Кваліфікаційна робота виконана українською мовою на 92 сторінках розрахунково-пояснювальної записки. Графічна частина представлена на 7 кресленнях формату А1. Використано 11 джерел.

Ключові слова: двигун внутрішнього згоряння, насос, малорозхідний контур, буксир – штовхач, теплообмінник

In the qualification work, a study of the cooling system for a ship engine type 6CHN 25/34, 560 kW and 500 min⁻¹ was performed.

The work includes calculations of the engine operating cycle, calculations of the engine heat balance. Three possible cooling systems for the engine were investigated and the best of the three provided was selected. The heat exchangers of the selected system were calculated and their placement on the vessel and the engine was developed. A full-flow pump for the selected system was designed. Measures to ensure labor protection are presented.

The qualification work is written in Ukrainian on 92 pages of a calculation and explanatory note. The graphic part is presented in 7 drawings of A1 format. 11 sources were used.

Keywords: internal combustion engine, pump, low-flow circuit, tug-pusher, heat exchanger

					КРМ.142.6221м.05.ПЗ	Лист
						2
Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата		

Зміст

Анотація.....	2
Вступ.....	5
Розділ 1. Опис судна на якому застосовується двигун з розробленою системою охолодження.....	6
Розділ 2. Опис головного двигуна 6ЧН 25/34.....	8
2.1. Особливості застосування системи охолодження двигуна.....	9
2.2. Обґрунтування параметрів режиму роботи двигуна.....	9
2.3. Особливості розміщення двигуна у машинному приміщенні буксира.....	10
Розділ 3. Розрахунок робочого циклу двигуна і його теплового балансу.....	11
3.1 Розрахунок робочого циклу.....	11
3.2. Розрахунок теплового балансу.....	15
Розділ 4. Розрахунки систем охолодження що порівнюються, і вибір найкращої.....	19
4.1 Системи охолодження, надані кафедрою для оптимізації та порівняння.....	20
4.1.1. Система 2В2НПР.....	20
4.1.2. Система типу В2НД.....	21
4.1.3. Система типу ВНП.....	22
4.2. Система типу 2В2НПР. Розрахунки системи, побудова графіків. Аналіз графіків.....	24
4.2.1. Розрахунки системи 2В2НПР.....	24
4.3. Система типу В2НД.....	36
4.3.1. Розрахунки системи В2НД.....	36
4.4. Система типу ВНП.....	45
4.4.1. Розрахунки системи ВНП.....	45
4.5. Побудова залежностей мас серцевин кожного теплообмінника в системі 2В2НПР.....	56
4.5.1. Побудова залежностей мас серцевин в ОНП від t_{w1} , t_{wm2} , t_{wn2}	56
4.5.2. Побудова залежностей мас серцевин в ВВО1 від t_{w1} , t_{wm2} , t_{wn2}	57
4.5.3. Побудова залежностей мас серцевин в ВВО2 від t_{w1} , t_{wm2} , t_{wn2}	58

					КРМ.142.6221м.05.ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата		3

4.5.4. Побудова залежностей мас серцевин в МО від t_{w1} , t_{wm2} , t_{wn2}	59
4.6. Побудова графіків витрат ТВК через кожний теплообмінник в системі 2В2НПР.....	60
4.7. Аналіз графіків системи типу 2В2НПР.....	61
Розділ 5. Розрахунок теплообмінних апаратів.....	64
5.1. Розрахунок теплообмінників в системі типу 2В2НПР.....	64
5.1.1. Розрахунок теплообмінника ОНП.....	64
5.1.2. Розрахунок теплообмінника МО.....	66
5.1.3. Розрахунок теплообмінника для оходження гідравлічної рідини.....	67
5.1.4. Розрахунок теплообмінника ВВО1.....	69
5.1.5. Розрахунок теплообмінника ВВО2.....	71
Розділ 6. Розміщення теплообмінників на судні та двигуні.....	73
Розділ 7. Циркуляційний насос повнопотокового контуру.....	75
7.1. Розрахунок основних параметрів та характеристик насосу.....	75
7.2 Мередіанний перетин робочого колеса.....	79
7.3 Профілювання спірально відвідного каналу трапецевидної форми.....	80
7.4 Опис конструкції спроектованого насосу.....	81
Розділ 8. Охорона праці.....	86
Загальні висновки по проекту.....	90
Література.....	92

Вступ

Згідно з завданням кафедри необхідно розробити найкращу систему охолодження двигуна типу 6ЧН 25/34. Цей двигун характеризується потужністю в 560 кВт при 500 об/хв колінчастого валу.

Мета кваліфікаційної роботи – дослідити три надані кафедрою системи охолодження і визначити найкращу. Основним критерієм вибору найкращої системи охолодження, при виконанні дослідження, є сумарна маса серцевин теплообмінників системи охолодження. Зв'язано це з постійним ростом вартості кольорових металів, цін на енергоресурси та ін. Як наслідок найбільш доцільним буде використання системи з найменш можливою сумарною масою серцевин теплообмінників і відповідно з меншою собівартістю.

Для досягнення цілі поставленої задачі необхідно провести певний комплекс дій. Виконати розрахунки систем за допомогою спеціалізованих програм наданих кафедрою. В процесі проведення роботи необхідно досягнути оптимальних параметрів для кожної системи. На основі отриманих даних буде можливо виконати побудову графіків та провести порівняльний аналіз систем. Як результати отримаємо найкращу систему з розглянутих у дослідженні.

У роботі було виконано розрахунки циклу та теплового балансу наданого двигуна 6ЧН 25/34. Результати були використані для подальшого розрахунку та оптимізації кожної з систем. На основі отриманих даних побудовані графіки, проведено порівняння та вибір найкращої з систем. Для обраної системи розроблено ряд креслень наприклад такого елемента системи як циркуляційний насос, виконано схематичне розміщення теплообмінників на судні з трасуванням контурів теплоносіїв, надано графіки необхідні для порівняння систем та графіки деяких характеристик обраної системи.

					КРМ.142.6221м.05.ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата		5

Розділ 1. Опис судна на якому застосовується двигун з розробленою системою охолодження.

Буксир-штовхач (рис. 1) має характеристики наближені до проекту 911Б. Це спеціалізоване судно, призначене для штовхання або буксирування інших суден, барж або платформ на внутрішніх водних шляхах (річках, озерах, каналах) та у портах. Завдяки своїм конструктивним особливостям, даний буксир-штовхач може забезпечити ефективне переміщення вантажів у складних умовах вузьких акваторій.

Корпус буксира виготовлений із сталевого кораблебудівного прокату, що забезпечує міцність, довговічність і стійкість до корозії. Товщина сталевих листів залежить від зони корпусу — надводна частина 6-8 мм., підводна частина: 8–10 мм (посилення для стійкості). Корпус покритий декількома шарами спеціальних ґрунтівок і фарб, які захищають метал від корозії в умовах прісної та солоної води. Ніс має плоску форму для штовхання барж і платформ, посилений додатковими ребрами жорсткості та гумовими амортизаторами.

Буксир-штовхач зазвичай обслуговується невеликим екіпажем у 3–5 осіб. Умови для екіпажу на борту представлені невеликою кают-компанією, каютами розрахованими на 3-5 осіб, камбузом та санвузлом, системою опалення та вентиляції.

Двигун 6ЧН 25/34 забезпечує достатню потужність (560 кВт) для виконання основних завдань: буксирування барж, платформ і виконання маневрових операцій у портових умовах. Двигун має низьку витрату палива, що знижує експлуатаційні витрати буксира. Для невеликих суден, таких як буксири штовхачі, це є важливим фактором, особливо при тривалій експлуатації.

Система охолодження: двоконтурна, замкнена, малорозхідна.

Паливна система: дизельна.

Важливм елементом валопроводу буксира є редуктор, який забезпечує передачу потужності від головного двигуна до гребного гвинта. Забезпечує можливість реверсу, що важливо для маневрування буксира.

					КРМ.142.6221м.05.01.ПЗ	Лист
						6
Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата		

З огляду на сказане вище, при розрахунку системи охолодження варто враховувати необхідність роботи двигуна тривалий час на номінальному режимі. Це спрощує виконання розрахунку та вибору вхідних даних для його проведення.

Основні параметри буксиру-штовхача:

Довжина: 24,2 метра

Ширина: 4,3 метра

Осадка: 1 метр

Водотонажність: 85 тон

Максимальна швидкість: 8 вузлів (14,8 км/год)

Екіпаж: 3-5 осіб

Тип двигуна: дизельний двигун 6ЧН 25/34

Потужність: 560 кВт при 500 об/хв

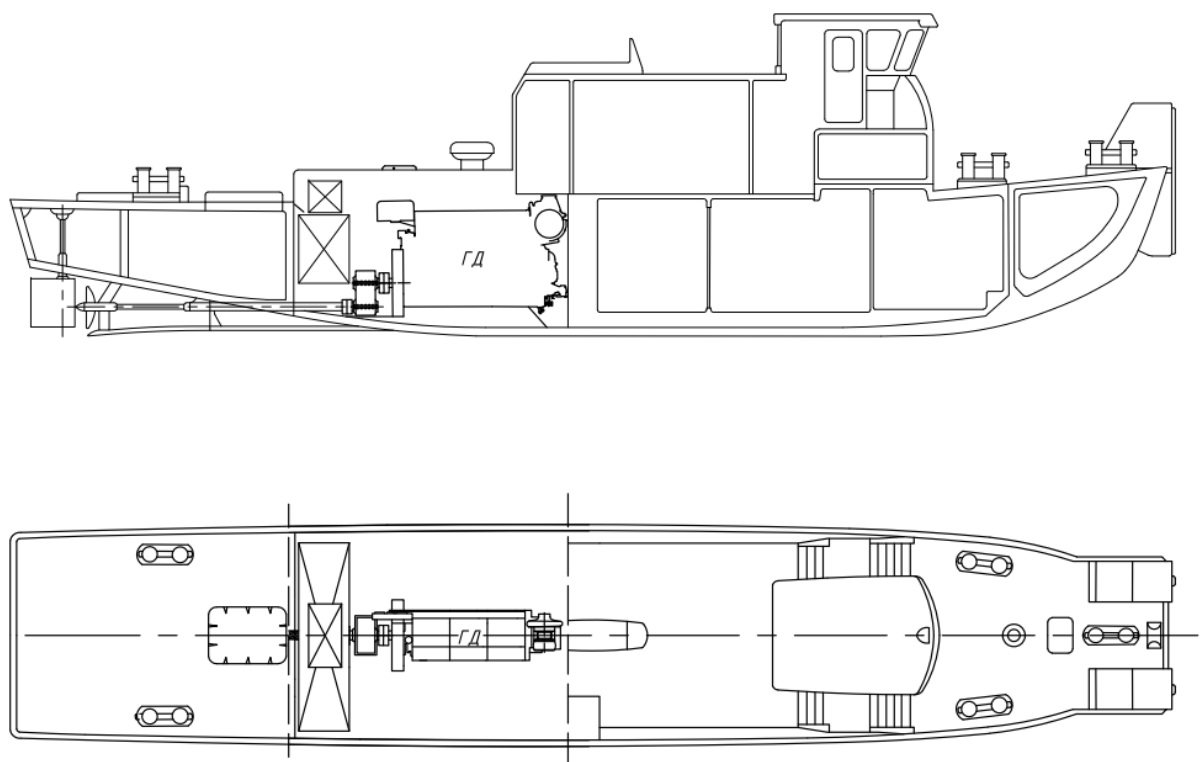


Рис. 1 Загальні види буксиру-штовхача

					КРМ.142.6221м.05.01.ПЗ	Лист
						7
Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата		

Розділ 2. Опис головного двигуна 6ЧН 25/34.

Головний двигун буксира-штовхача — це дизельний двигун типу 6ЧН 25/34 виробництва «Первомайськдизельмаш» (рис. 2). Двигун має потужність 560 кВт при 500 об/хв і відноситься до середньообертових двигунів. 6-циліндровий чотиритактний двигун характеризується надійністю, простотою конструкції та економічністю у витраті палива. Циліндри двигуна розташовані вертикально в ряд, що забезпечує компактність та легкість обслуговування. Завдяки значним робочим об'ємам (25 см діаметр циліндра, 34 см хід поршня) двигун розвиває високий крутний момент при відносно низьких обертах, що особливо важливо для буксирів-штовхачів, які працюють з великими навантаженнями.

Двигун 6ЧН 25/34 виготовлений з використанням міцних чавунних та сталевих сплавів, що забезпечує довговічність роботи у важких умовах експлуатації. Також він адаптований до тривалої роботи на номінальних режимах без зниження продуктивності.

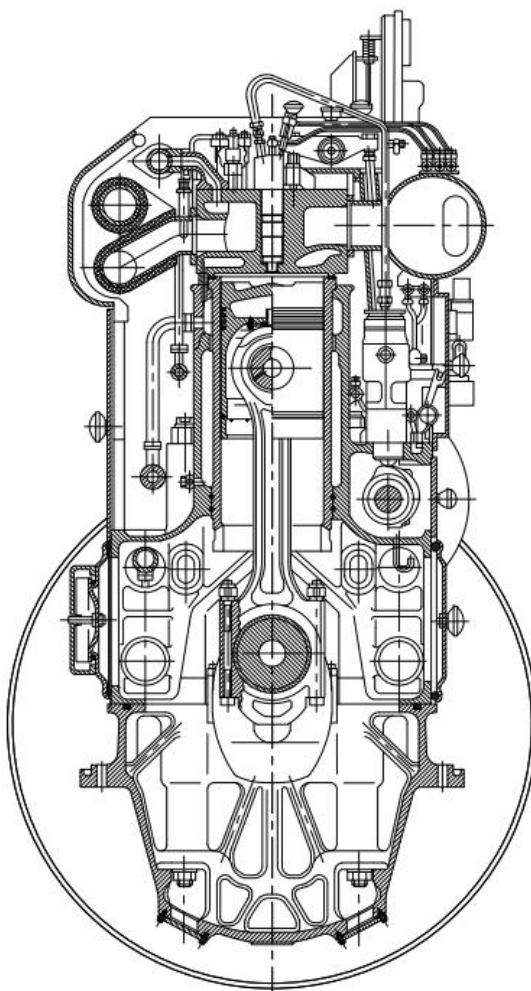


Рис. 2 Поперечний розріз двигуна типу 6ЧН 25/34

					КРМ.142.6221м.05.02.ПЗ	Лист
						8
Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата		

2.1 Особливості застосування системи охолодження двигуна.

Буксир-штовхач обладнаний системою рідинного охолодження, яка відповідає за підтримку робочої температури двигуна 6ЧН 25/34 у межах вказаних заводом-виробником. Оскільки буксири-штовхачі займаються переміщенням вантажів по річкам і каналах на великі відстані, необхідно забезпечити нормальні температури масла, наддувного повітря та іншого тривалий час. Сучасні системи охолодження представляють собою таку систему, яка має декілька контурів пов'язаних між собою але з можливістю контролю розходу ТВК на деяких ділянках системи. Зазвичай двигун знаходиться у повнопотоковому контурі а теплообмінники у малорозхідному, ТВК між контурами преміщується залежно від обраної схеми системи та з урахуванням підтримки необхідних температур на виході з теплообмінників, морська вода прокачується окремим контуром тільки через ВВО.

Для буксирів-штовхачів ключовим є забезпечення ефективного охолодження двигуна при великих навантаженнях і тривалій роботі у стаціонарному режимі.

2.2 Обґрунтування параметрів режиму роботи двигуна.

Використання буксирів-штовхачів передбачає переміщення вантажів на великі відстані у акваторіях річок та каналів. Судно при цьому, зазвичай рухається постійно з однаковою швидкістю. З огляду на це, при роботі, доцільно використовувати двигун 6ЧН 25/34 у номінальному режимі роботи.

Відповідно усі розрахунки системи охолодження виконуються для номінального режиму, оскільки це забезпечує оптимальне функціонування буксира-штовхача. Компактність елементів машинного відділення є важливою умовою для ефективного виконання судном своїх завдань. Крім того, виробнику необхідно мінімізувати вартість цих елементів, що сприятиме підвищенню прибутковості. Отже, система охолодження з найменшими габаритами та вартістю найкраще відповідатиме вимогам виробництва та експлуатації.

					КРМ.142.6221м.05.02.ПЗ	Лист
						9
Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата		

2.3 Особливості розміщення двигуна у машинному приміщенні буксира.

Машинне відділення буксира-штовхача є центральним відсіком судна, де розміщено головний двигун, а також допоміжні системи, необхідні для його роботи.

Основне обладнання машинного відділення:

- Головний двигун 6ЧН 25/34: встановлений на міцних амортизаційних фундаментах для зменшення вібрацій;
- Реверсивний редуктор: забезпечує зміну напрямку обертання гребного вала для руху вперед або назад;
- Система охолодження: теплообмінники та трубопроводи для циркуляції охолоджувальної рідини;
- Масляна система: забезпечує змащення двигуна і часткове охолодження його деталей;
- Валопровід: передає крутний момент від двигуна до гребного гвинта.

Вимоги до розміщення обладнання:

- Компактність: обладнання розташоване максимально ефективно для збереження робочого простору у машинному відділенні.
- Доступність: забезпечений зручний доступ до основних вузлів двигуна та допоміжних систем для обслуговування та ремонту.
- Безпека: система кріплень та розташування обладнання забезпечують стійкість до вібрацій та впливу морської води.
- Стійкість буксира: розташування двигуна в центральній частині судна дозволяє зберігати низький центр тяжіння, що забезпечує стійкість буксира на воді.

					КРМ.142.6221м.05.02.ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата		10

Розділ 3. Розрахунок робочого циклу двигуна і його теплового балансу.

3.1 Розрахунок робочого циклу

Розрахунок циклу за методикою Гріневецького-Мазінга, строго кажучи, слід назвати математичним моделюванням робочого циклу при використанні середніх значень коефіцієнтів для певних виразів. Цикл моделюється при відомих значеннях потужності двигуна, його обертах та деяких інших параметрів. При моделюванні накреслюється вірогідна діаграма циклу у P - V координатах. При цьому не повинні порушуватися можливі границі тисків, температур, витрат і т.п. Коли за цих умов цикл змодельовано, то можливо визначати вплив змін деяких параметрів на ККД циклу, максимальні температури та деякі інші величини які можуть цікавити дослідника. Вплив визначається зміною тих параметрів які цікавлять дослідника у можливих межах. Методика Гріневецького-Мазінга не виключає отримання таких параметрів циклу, які не можуть існувати якщо використовувати коефіцієнти циклу за межами дозволеного або вживати незвичайні сполуки зазначених коефіцієнтів. Тож моделюючи цикл за методикою Гріневецького-Мазінга, треба уважно стежити за нормованими параметрами які мають бути отримані під час моделювання. Такі параметри не повинні виходити за нормовані межі.

У нашому випадку, моделювання циклу робиться для отримання тих параметрів які необхідні при розрахунках систем охолодження, моделювання робиться в умовах відомої потужності та обертів двигуна і відомих границь основних параметрів які не мають бути порушеними.

Таким чином основна задача при моделюванні циклу — отримання параметрів необхідних для розрахунку систем охолодження двигуна при умові, що моделювання циклу виконане з дотриманням усіх можливих обмежень.

З урахуванням цілей та завдань цієї роботи для розрахунку циклу застосовано методику Гріневецького-Мазінга. Розрахунки виконані у програмному середовищі MathCAD. Вихідні дані, які були обрані для розрахунку циклу подані у таблиці 3.1., результати розрахунку подані у таблиці 3.2.

Таблиця 3.1. Вихідні дані

Параметр	Позначення	Розмірність	Значення	Примітки
Ефективна потужність	N_e	кВт	560	Задана
Частота обертання	n	хв ⁻¹	500	Задана
Тиск навколишнього середовища	P_0	МПа	0,1	Заданий
Температура навколишнього середовища	T_0	К	313	Задана
Коефіцієнт використання теплоти в точці z	ξ_z		0,946	Для середньообертних двигунів $\xi_z = 0,92 \dots 0,95$
Коефіцієнт використання теплоти в точці b	ξ_b		0,961	Для середньообертних двигунів $\xi_b = 0,95 \dots 0,97$
Ступінь стиснення	ε		15	$\varepsilon = 12 \dots 13$, залежно від діаметра циліндра і тиску наддуву
Ступінь підвищення тиску при згорянні	λ		1,5	$\lambda = 1,1 \dots 1,5$, залежно від типу двигунів і досягненого P_z
Підігрів заряду від стінок циліндру	ΔT_a	К	35	Для середньообертних двигунів з таким D , значення $\Delta T_a = 25 \dots 40$ К
Частка ходу поршня, втрачена на газообмін	ψ_n		0	Для чотирьохтакткових двигунів $\psi_n = 0$
Коефіцієнт заокруглення індикаторної діаграми	ζ		0,99	
Механічний ККД двигуна	η_m		0,91	По даним заводу-виробника
Адіабатний ККД компресора турбокомпресора	η_{kad}		0,8	Згідно параметрам типорозмірних ТК: для ТК 23 $\eta_{kad} = 0,75 \dots 0,81$
Втрата тиску в охолоджувачі повітря	ΔP_{ox}	Мпа	0,003	Згідно з ДСТУ на ОНП двигунів
ККД системи охолодження повітря	η_0		0,95	Згідно з курсом лекцій по системам охолодження двиунів

Продовження таблиці 3.1.

Температура залишкових газів	T_r	К	800	Для середньообертних чотиритактових двигунів 750...850 К
Масовий склад палива	$\begin{matrix} C \\ H \\ S \\ O \end{matrix}$	кг/кг	$\begin{matrix} 0,87 \\ 0,126 \\ 0 \\ 0,004 \end{matrix}$	Типовий для палива середнього складу
Нижча теплота згоряння палива	Q_H	кДж/кг	42700	Для палива середнього складу
Число циліндрів	i		6	
Діаметр циліндра	D	м	0,25	
Хід поршня	S	м	0,34	
Коефіцієнт тактності	z		0,5	
Коефіцієнт надлишку повітря при згорянні	α		2,19	Обирається залежно від досягнутого η_i і потужності двигуна
Показник адіабати для повітря	k		1,4	
Механічний ККД турбокомпресора	η_m		0,95	Згідно з ДСТУ на типорозмірні ряди ТК
Внутрішній ККД турбіни турбокомпресора	η_t		0,78	Згідно з ДСТУ на типорозмірні ряди ТК для ТК 23 $\eta_t = 0,76...0,81$
Коефіцієнт втрат тиску повітря на впуску двигуна	ξ_a		0,96	Для середньообертних двигунів $\xi_a = 0,95...0,98$
Відношення тиску перед турбиною до тиску за компресором	ψ_t		0,843	Згідно з діаграмою Рато, $\psi_t = 0,8...0,95$, для ізобарного наддуву СОД

Таблиця 3.2. Результати розрахунку

Параметр	Позначення	Розмірність	Значення
Температура повітря за компресором	T_k	К	418,238
Температура повітря в ресивері	T_s	К	318,262
Температура повітря в кінці наповнення	T_a	К	366,274

					КРМ.142.6221м.05.03.ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата		13

Продовження таблиці 3.2

Тиск повітря в ресивері двигуна	P_s	МПа	0,227
Тиск в кінці наповнення	P_a	МПа	0,209
Коефіцієнт наповнення	η_n	-	0,834
Показник політропи стиснення	n_1	-	1,367
Тиск у кінці стиснення	P_c	МПа	8,474
Температура в кінці стиснення	T_c	К	988,347
Дійсна кількість повітря для згоряння	L	кмоль/кг	1,083
Хімічний коефіцієнт молекулярної зміни	β_0	-	1,0292
Дійсний коефіцієнт молекулярної зміни	β	-	1,0283
Частка палива, що вигоріла до точки z	x_z	-	0,984
Коефіцієнт молекулярної зміни у точці z	β_z	-	1,028
Максимальна температура згоряння	T_z	К	1995,726
Максимальний тиск згоряння	P_z	МПа	12,711
Ступінь попереднього розширення	ρ	-	1,384
Ступінь подальшого розширення	δ	-	10,84
Показник політропи розширення	n_2	-	1,282
Температура в кінці процесу розширення	T_b	К	1018,492
Тиск у кінці процесу розширення	P_b	МПа	0,598
Теоретичний середній індикаторний тиск	P'_i	МПа	1,489
Дійсний середній індикаторний тиск	P_i	МПа	1,474
Питома індикаторна витрата пального	g_i	кг/(кВт*год)	0,161
Індикаторний ККД	η_i	-	0,523
Середній ефективний тиск	P_e	МПа	1,341
Ефективний ККД	η_e	-	0,476
Питома ефективна витрата пального	g_e	кг/(кВт*год)	0,177
Ефективна потужність двигуна	N_e	кВт	559,991
Витрата повітря через компресор	G	кг/год	0,882
Витрата газів через турбіну	G_t	кг/год	0,909
Тиск газів перед турбіною	P_r	МПа	0,194
Температура газів	T_t	К	794,729
Кількість робочого тіла	M_s	кмоль/кг	1,116
Універсальна газова стала для відпрацьованих газів	R_t	кДж/кг*К	287,403
Показник адіабати розширення газу в турбіні	k_t	-	1,374
Дійсна степінь підвищення тиску у компресорі	Π_k	-	2,301
Розрахунковий тиск надуву	P_{kd}	МПа	0,2301

Висновок: у ході розрахунку циклу двигуна отримані основні параметри циклу, які при заданій потужності і обертах не порушують дозволених кордонів.

					КРМ.142.6221м.05.03.ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата		14

Отримані параметри дозволяють обчислити тепловий баланс двигуна. Для цього використовують розхід повітря G , температури повітря перед і після охолоджувача наддувного повітря, тиск повітря, температуру газів за двигуном.

3.2. Розрахунок теплового балансу.

Тепловий баланс двигуна сьогодні визначається здебільшого складними розрахунками і доповнюється експериментально. У нашому випадку, розрахунок теплового балансу робиться приблизно бо це достатньо для цілі даної роботи. Приблизний розрахунок необхідно зробити щоб був певний баланс між тепловими потоками який певною мірою відповідає дійсності якщо вказаної відповідності не буде, то розрахунки системи охолодження двигуна будуть неможливі бо вони робляться для нормального співвідношення між тепловими потоками.

Програма розрахунку балансу двигуна була надана кафедрою в середовищі Microsoft Excel. Результат розрахунку показаний в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3. Розрахунок теплового балансу

№ п/п	Обозначение	Способ определения или формула	Значение
1.1.	D , м	Згідно завдання на проектування	0,25
1.2.	S , м		0,34
	i		6
	Z		0,5
	Ne , кВт		560
1.3.	n , об/мин		500
	P_k		2,3
1.5.	g_e , кг/кВт·ч		0,177
	η_e		0,467
	$g_{w, кг/кВт·ч}$		53,57
	T_o , К		313
	P_o , МПа		0,1
	T_{w1} , К		323
	ψ		0,843
1.17.	$\eta_{ад}$		0,800
	$\eta_{адт}$		0,780
1.18.	$\eta_{ох}$		0,95
	P_k , МПа		0,23
1.19.	P_s , МПа		0,227
1.22.	T_s , К		318,33

Продовження таблиці 3.3.

1.21.	T_k, K		418,24
	T_t, K		794,78
	k_t		1,374
	R_t		287,40

1.25.	$G, \text{кг/с}$		0,882
-------	------------------	--	-------

	$G_t, \text{кг/с}$		0,91
	$\Delta T_{мд}, K$		8,00
	a		0,20
	Q_{Σ}	$Q_{\Sigma} = \frac{N_e}{\eta_e}$	1199,14
	$C_{pr}, \text{Дж/кгК}$	$C_{pr} = \frac{k_t}{k_t - 1} R_t$	1055,86

Продовження таблиці 3.3. (1)

	T_{tt}	$T_{tt} = T_t \cdot \left[\frac{1}{\frac{k_t - 1}{\left(\frac{\psi \cdot P_k}{P_0} \right)^{k_t}}} \right]$	663,70
	$T_{зт}, K$	$T_{зт} = T_t - \eta_{адт} (T_t - T_{tt})$	692,54
	$Q_{г}, кВт$	$Q_{г} = I_{г} - I_{в} = G_{г} C_{pг} T_{зт} - G_{в} C_{p} T_0$	387,24
	$Q_w, кВт$	$Q_w = Q_{\Sigma} - Q_{г} - N_e - Q_{нб} - Q_{пм} =$ $Q_{\Sigma} - Q_{г} - N_e - Q_{нб} - a Q_w$	
	$Q_{нб}, кВт$	$Q_{H.B} \approx 0,01 Q_{\Sigma}$	11,99
	$Q_w, кВт$	$Q_w = (Q_{\Sigma} - Q_{г} - N_e - Q_{нб}) / (1 + a)$	199,93
	$Q_{пм}, кВт$	$Q_{пм} = a Q_w$	39,99
	$Q_M, кВт$	$Q_M \approx 0,5 Q_w$	99,96
	$G_w, т/час$	$G_{wт} = N_e g_w / 1000$	30,00

Продовження таблиці 3.3.(2)

G_w , кг/с	$G_w = G_{wT} / 3,6$	8,33
ΔT_{wd} , К	$\Delta T_{wd} = \frac{Q_w}{c_{p_w} G_w}$	5,73
G_m , кг/с	$G_m = \frac{Q_m}{c_{p_m} \Delta T}$	5,68
Q_Σ , кВт	$Q_\Sigma = Q_\Gamma + Q_w + Q_{\text{пм}} + Q_{\text{нб}} + Ne$	1199,14

Висновок: в результаті розрахунку теплового балансу отримані такі параметри:

$$G_w = 8,33 \text{ кг/с};$$

$$G_m = 5,68 \text{ кг/с};$$

$$T_k = 418,24 \text{ К};$$

$$T_s = 318,33 \text{ К};$$

$$\Delta T_{wd} = 5,73 \text{ К};$$

$$\Delta T_{md} = 8 \text{ К};$$

$$Q_m = 99,96 \text{ кВт};$$

$$Q_w = 199,93 \text{ кВт}.$$

Ці параметри дозволяють рахувати системи охолодження.

Розділ 4. Розрахунки систем охолодження, що порівнюються, і вибір найкращої.

Відповідно до завдання, поставленого кафедрою, необхідно обрати найкращу систему з трьох запропонованих. Критерієм вибору є мінімальна сумарна маса серцевин, яка відповідає оптимальному рішенню для кожної системи. Найкраща система визначається шляхом аналізу результатів розрахунків, проведених для всіх варіантів.

Для досягнення мінімальної маси серцевин слід провести детальні розрахунки параметрів кожної системи та побудувати відповідні графічні залежності. Розрахунки виконуються за допомогою програм прямих обчислень, де частина параметрів є фіксованою, а інша частина змінюється для отримання необхідного діапазону значень.

Зміна параметрів відбувається через варіацію температур води на виході з теплообмінників. Це, у свою чергу, впливає на розподіл витрати води у різних гілках системи. Такий метод зміни витрат шляхом завдання температур був розроблений кафедрою для підвищення ефективності математичного моделювання та спрощення процесу розв'язання задачі. Температурні значення коригуються поступово, з невеликим кроком, що дозволяє побудувати криві залежностей для кожного варіанта системи.

Побудовані криві наочно продемонструють, як змінюється сумарна маса серцевин системи в залежності від температури. Пошук оптимального значення температури здійснюється через ітераційні наближення, оскільки мінімальні значення маси повинні бути близькими для всіх кривих, що належать до однієї системи.

В результаті аналізу кожна система матиме своє мінімальне значення сумарної маси серцевин. Найкращою буде та система, для якої це значення є найменшим серед усіх трьох варіантів. Крім того, обрана система повинна відповідати вимогам щодо габаритів і вартості, що робить її найефективнішим і найраціональнішим рішенням.

4.1 Система охолодження, надані кафедрою для оптимізації та порівняння.

4.1.1. Система 2В2НПР

Схема системи надана на рисунку 3.

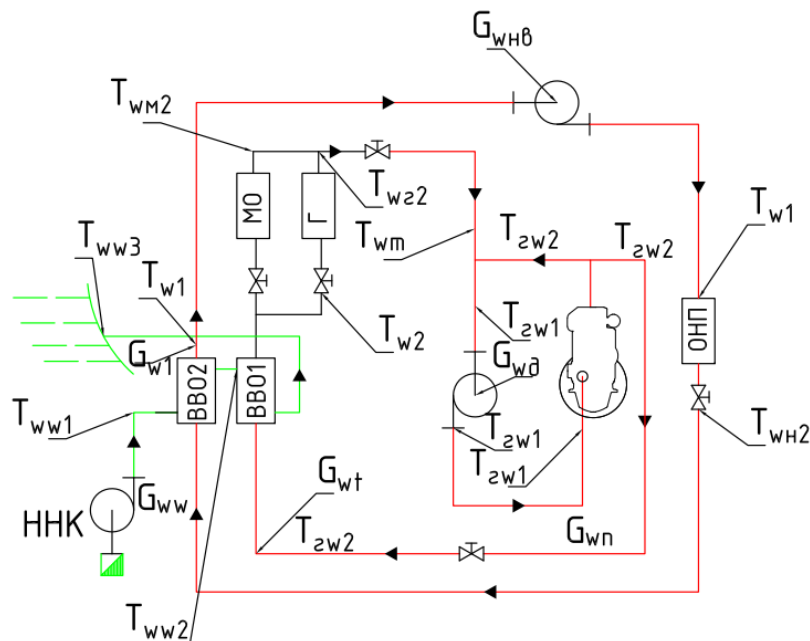


Рис. 3. Схема системи охолодження типу 2В2НПР: 2 ВВО, 2 Насоси ТВК, скидання гарячого ТВК на охолодження після двигуна, з відокремленням контуру ОНП

На рисунку застосовані такі позначки: ОНП – охолоджувач наддувного повітря; МО – охолоджувач циркуляційного масла; Г – охолоджувач гідравлічної рідини; ВВО – охолоджувач ТВК; НВК1,2 – насос ТВК; ННК – насос ТНК (забортної води); T_{w3} - температура ТВК перед ВВО $T_{wm, n, t2}$ – 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 повнопотоковому контурі до та після двигуна; T_{wwi} – температури ТНК; $G_{wd, n, v, m, n}$ - витрати ТВК через двигун, перепад, ВВО, МО, ОНВ; G_{ww} – витрата ТВК через ВВО.

Контур, в якому встановлений головний двигун, можна назвати повнопотоковим. Цей контур об'єднаний з іншим циркуляційним контуром який включає теплообмінники ВВО1, МО і Г. Останній контур можна назвати малорозхідним. Розхід охолоджуючої рідини ТВК в повнопотоковому контурі відповідає вимогам інструкції з експлуатації двигуна. Він працює наступним чином. Після двигуна частина гарячої охолоджуючої рідини (гарячого ТВК)

спрямовується до ВВО1, де відбувається її охолодження. Після цього охолоджена рідина направляється для охолодження масла в Г і МО. Після проходження через Г та МО, рідина повертається до повнопотокового контуру, де змішується з рідиною, що надходить після двигуна. Це забезпечує зниження температури ТВК, з якою теплоносії направляється до насоса, а потім до двигуна. Зазначений вище цикл повторюється, забезпечуючи стабільну температуру в системі.

В іншому контурі охолодження, який можна назвати малорозхідним, в якому знаходиться другий охолоджувальний насос, той забирає охолоджений ТВК з ВВО2 і подає його до ОНП. Підігрітий ТВК після ОНП направляється знов до ВВО2, де охолоджується, а потім повертається до насоса та знову до ОНП. Охолодження ВВО1 та ВВО2 забезпечується за рахунок прокачування заборотної води через них відповідним насосом послідовно.

4.1.2. Система В2НД

Схема системи надана на рисунку 4.

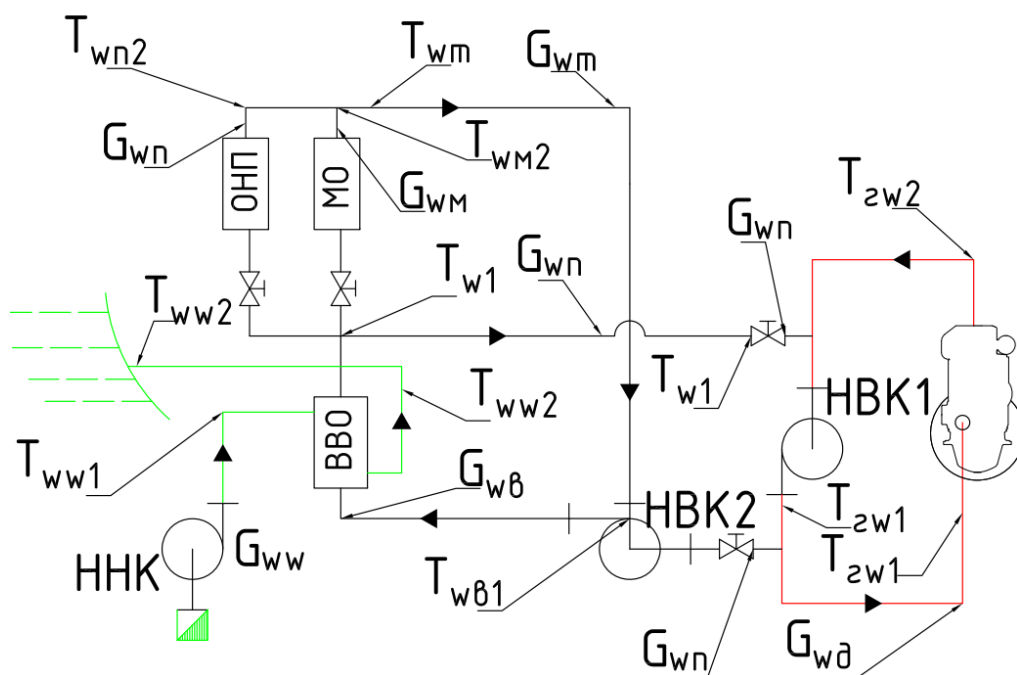


Рис. 4. Схема системи типу В2НД: ВВО, 2 Насоса ТВК, а скидання гарячого ТВК на охолодження виконується до двигуна. T_{w3} - температура ТВК перед ВВО

Система складається з двох взаємопов'язаних циркуляційних контурів: повнопотокового контуру, що включає двигун та циркуляційний насос НВК1, і малорозхідного контуру, до якого підключені всі теплообмінники та насос НВК2.

Робота схеми відбувається наступним чином. Невелика частина ТВК з повнопотокового контуру, що охолоджує двигун, подається на вхід насоса НВК2. Далі ТВК проходить через охолоджувач ВВО, де відбувається його охолодження, після чого потік спрямовується до теплообмінників ОНП і МО. Одночасно охолоджений ТВК надходить назад у повнопотоковий контур, де відбувається його змішування з ТВК, що виходить із двигуна. Це змішування дозволяє підтримувати температуру T_{gw1} , оптимальну для входу в двигун. Після проходження теплообмінників ОНП та МО ТВК знову потрапляє на вхід насоса НВК2, де змішується з потоком ТВК, що частково скидається з повнопотокового контуру.

4.1.2. Система 2В2НД

Схема системи надана на рисунку 5.

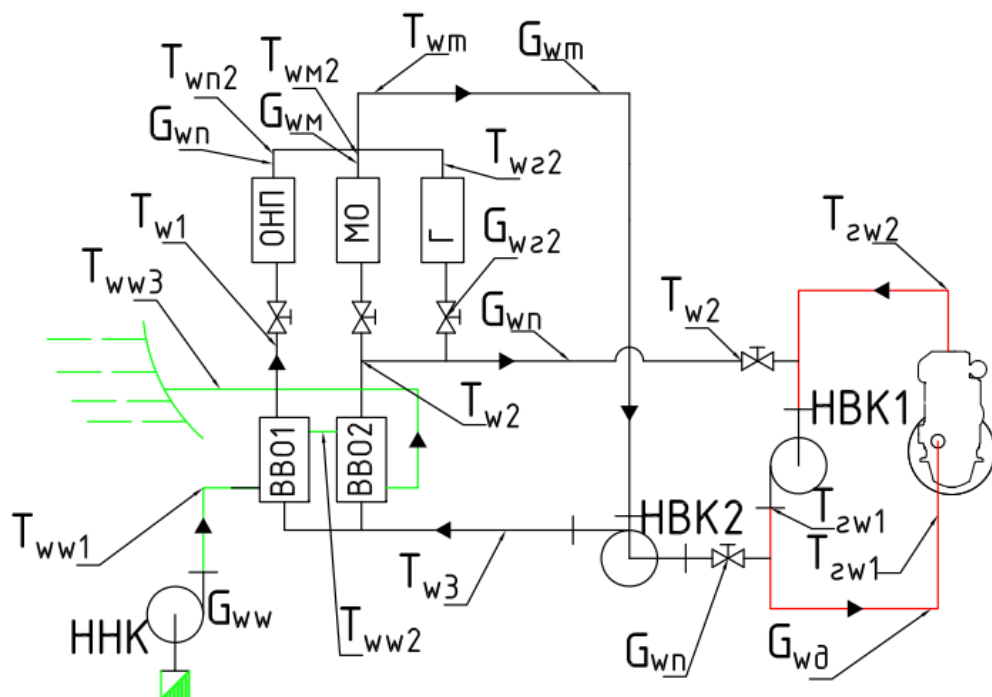


Рис. 5. Схема системи охолодження типу 2В2НД, 2 ВВО, 2 насоси ТВК, скидання гарячого ТВК на охолодження виконується до двигуна

Контур, в якому розташований головний двигун, називається повнопотоковим, а контур, де знаходяться всі теплообмінники, — малорозхідним. Під час роботи двигуна весь потік ТВК, після проходження через двигун, подається на насос НВК1 звідки він і частково надходить до малорозхідного контуру через НВК2, а частково повертається на охолодження двигуна. В насос НВК1 потрапляє не тільки ТВК з двигуна а й ТВК з малорозхідного контуру після ВВО2. В наслідок змішування цих двох потоків, температура ТВК за насосом НВК1 знижується. Після НВК1 частина ТВК йде на охолодження двигуна, а частина йде до НВК2 звідки вона йде на охолодження у ВВО1 і ВВО2. Після проходження ВВО1 ТВК йде на охолодження ОНП, після проходження ВВО2 ТВК йде на охолодження МО і Г та частково на повернення до повнопотокового контуру. Далі зазначений вище цикл роботи системи повторюється. Налаштування подачі потоків ТВК до НВК1 і НВК2 здійснюється за допомогою клапанів. Теж саме робиться для налаштування розходів через теплообмінники.

Охолоджений ТВК після проходження через ВВО1 та ВВО2 надходить до ОНП, МО та Г. Розхід ТВК через кожен теплообмінник налаштовується за допомогою клапанів. Після проходження через теплообмінники частина ТВК повертається до насосу НВК2 і знову направляється через ВВО1 та ВВО2. Після проходження через ВВО1 та ВВО2 потік ТВК з ВВО2 спрямовується до насосу НВК1, де змішується з другою частиною потоку, що не охолоджена, і надходить до двигуна.

Потік, що йде з ВВО2, регулюється клапаном. Потік з пониженою температурою, що виходить з двигуна, подається до насосу НВК1, де весь процес повторюється.

4.2. Система типу 2В2НПР. Розрахунки системи, побудова графіків. Аналіз графіків

4.2.1. Розрахунок системи 2В2НПР

Копія таблиці з вхідними даними приведена у табл. 4.1.

Таблиця 4.1. Незмінні вхідні дані для розрахунків теплової схеми системи

Обозначення	Розмірність		Формула	Значення		Параметр
n	об/мин			500		Частота обертання колінвалу
Ne	кВт			560		Потужність ГД
T_0	К	°C		313	40	Повітря перед компресором
P_0	Па			100000		Повітря перед компресором
T_{ww1}	К	°C		303	30	Заб. вода перед ВВО
$\eta_{ад1}$				0,800		
P_1	Па			230000,000		Тиск повітря після компресора
$T_{к1}$	К	°C	$T_{к1} = T_{в1} \left(1 + \frac{P_{к1}^{0,286} - 1}{\eta_{ад1}} \right)$	418,238	145,238	T1 або Tk, повітря за компресором
T_s	К	°C		318,000	45,0	T2 або температура повітря за ОНВ
$T_{гw2}$	К	°C		378	105	Температура води за головним двигуном
$T_{вw2}$	К	°C		368	95	Температура води за допоміжними двигунами
$T_{гг1}$	К	°C		368	95	Гідравл. масло на виході із системи
$T_{гм1}$	К	°C		363	90	Масло на виході з двигуна або вході в МО
$Q_{гw}$	кВт	476	Заданы	199,9		Тепловідведення в зарубашечну воду
$Q_{гм}$	кВт	122		100,0		Тепловідведення в масло
$Q_{гг}$	кВт			40,0		Тепловідведення в гідросуміш
$Q_{гн}$	кВт			88,9		Теплопідвід від ОНВ
$G_{гwd}$	кг/с		$Q_{гн} = W_n (T_1 - T_2)$	8,33		Витрата води через двигун
$G_{гн}$	кг/с			0,882		Витрата наддувного повітря
$G_{гм}$	кг/с			5,68		Витрата масла
$G_{гг}$				4		Витрата гідравлічної рідини
G_{ww}	кг/с			8,33		Витрата заб. води через ВВО
Z_n	шт			1		Число ОНВ

Продовження таблиці 4.1.

Обозначення	Розмірність	Значення		Параметр
ОНВ				
схема		3	3	
Z		1	1	
b_{WT}		15	15	
b_{WT}		1	1	
k_{qHB}	Вт/кг·К	221,37	221,37	
ВВО1		4040,00	4040	
схема		1	1	
b_w		63	63	
b_{ww}		1	1	
bp		2	2	
k_{qB}	Вт/кг·К	179,29	179,29	
ВВО2		4040,00	4040	C_{pww}
схема		4	4	Імовірна схема 4
b_w		27	27	Число ходів прісною водою
b_{ww}		3	3	Число ходів по забортній воді
bp		2	2	Число протитечієвих реверсивних елементів
k_{qB}	Вт/кг·К	182,45	182,45	Коефіцієнт використання маси пучка
Г		1925,00	1925,72	
схема		4,00	4,00	
b_M		16,00	16,00	
b_w		2,00	2,00	
b_p		4,00	4,00	
k_{qMO}	Вт/кг·К	46,26	46,26	
МО		1925	1925,72205	C_{pm}
схема		4	4	Імовірна схема 4
b_M		21	21	Число ходів по маслу
b_w		2	2	Число ходів прісною водою
b_p		4	4	Число протитечієвих реверсивних елементів
k_{qMO}	Вт/кг·К	49,38	49,38	Коефіцієнт використання маси пучка

Таблиця. 4.1.1 Змінні вхідні дані для розрахунків теплової схеми системи

Обозначення	Розмірність		Значення		Параметр
T_{WM2}	К	°C	345	72,00	Вода за МО
T_{WT2}	К	°C	345	72,00	Вода за Г
T_{WH2}	К	°C	355,00	82,00	Вода за ОНВ
T_{W1}	К	°C	312,000	39,000	Вода за В1 та перед ОНВ

Таблиця.4.1.2. Розрахунок впливу t_{w1} на M_{Σ} при постійних t_{wm2} , t_{wn2}

Q_w	кВт		199,93		199,93		199,93		199,93	
Q_m	кВт		99,96		99,96		99,96		99,96	
Q_H	кВт		88,851718		88,851718		88,851718		88,851718	
G_{wD}	кг/с		8,33		8,33		8,33		8,33	
G_H	кг/с		0,882		0,882		0,882		0,882	
G_m	кг/с		5,68		5,68		5,68		5,68	
G_{Γ}	кг/с		4		4		4		4	
G_{ww}	кг/с		8,33		8,33		8,33		8,33	
G_{wH}	кг/с		0,4001068		0,4157973		0,4327686		0,4511843	
G_{wB1}	кг/с		0,4001068		0,4157973		0,4327686		0,4511843	
G_{wB2}	кг/с		1,7671251		1,7671251		1,7671251		1,7671251	
G_{wm}	кг/с		1,2620879		1,2620879		1,2620879		1,2620879	
$G_{w\Gamma}$	кг/с		0,5050372		0,5050372		0,5050372		0,5050372	
Z	шт		1		1		1		1	
T_0	К	°C	313	40	313	40	313	40	313	40
P_0	Па		100000		100000		100000		100000	
P_1	Па		230000		230000		230000		230000	
T_{ww1}	К	°C	303	30	303	30	303	30	303	30
T_{ww2}	К	°C	305,64022	32,640216	305,64022	32,640216	305,64022	32,640216	305,64022	32,640216
T_{ww3}	К	°C	315,74	42,739999	315,74	42,739999	315,74	42,739999	315,74	42,739999
$T_1 (T_K)$	К	°C	418,23772	145,23772	418,23772	145,23772	418,23772	145,23772	418,23772	145,23772
$T_2 (T_S)$	К	°C	318	45	318	45	318	45	318	45
$T_{\Gamma w1}$	К	°C	372,27179	99,27179	372,27179	99,27179	372,27179	99,27179	372,27179	99,27179
$T_{\Gamma w2}$	К	°C	378	105	378	105	378	105	378	105
T_{w1}	К	°C	308	35	310	37	312	39	314	41
T_{w2}	К	°C	324,09735	51,097354	324,09735	51,097354	324,09735	51,097354	324,09735	51,097354
T_{wH2}	К	°C	355	82	355	82	355	82	355	82
T_{wm2}	К	°C	345	72	345	72	345	72	345	72
$T_{w\Gamma2}$	К	°C	345	72	345	72	345	72	345	72
$T_{w\Gamma}$	К	°C	345	72	345	72	345	72	345	72
T_{m1}	К	°C	363	90	363	90	363	90	363	90
T_{m2}	К	°C	353,85787	80,857875	353,85787	80,857875	353,85787	80,857875	353,85787	80,857875
$T_{\Gamma1}$	К	°C	368	95	368	95	368	95	368	95
$T_{\Gamma2}$	К	°C	362,80519	89,805195	362,80519	89,805195	362,80519	89,805195	362,80519	89,805195

Продовження таблиці 4.1.2. (1)

ОНВ										
<i>схема</i>			3	3	3	3	3	3	3	3
<i>Z</i>			1	1	1	1	1	1	1	1
<i>b_{WT}</i>			14	14	14	14	14	14	14	14
<i>b_{WT}</i>			1	1	1	1	1	1	1	1
<i>k_{гНВ}</i>	ВТ/кг·К		113,87738	113,87738	113,87738	113,87738	113,87738	113,87738	113,87738	113,87738
<i>η_{НВ}</i>			0,9092869	0,9469612	0,9260886	0,9469612	0,9435229	0,9469612	0,9616262	0,9469612
<i>Δp_{НВ}</i>	ММ.В.СТ.		129,48655		129,48655		129,48655		129,48655	
<i>Δp_{WНВ}</i>	кПа		16,244967		16,244967		16,244967		16,244967	
<i>S_{НВ}</i>			0,5287431	0,3740356	0,5087905	0,3740356	0,4888379	0,3740356	0,4688854	0,3740356
<i>M_{НВ}</i>	кг		16,03561	16,215073	16,690307	16,587152	18,545877	18,211593	21,97637	21,926983
BBO1										
<i>схема</i>			4	1	4	1	4	1	4	1
<i>b_w</i>			74	74	66	66	60	60	55	55
<i>b_{ww}</i>			2	1	2	1	2	1	2	1
<i>b_p</i>			2	2	2	2	2	2	2	2
<i>k_{гВ}</i>	ВТ/кг·К		176,80345	172,74792	176,80345	173,52504	176,80345	174,96389	176,80345	177,49086
<i>η_{В1}</i>			0,9137931	0,9137931	0,8793103	0,8793103	0,8448276	0,8448276	0,8103448	0,8103448
<i>Δp_{WB1}</i>	кПа			37,018863		37,018863		37,018863		37,018863
<i>Δp_{wwB1}</i>	кПа			54,19129		54,19129		54,19129		54,19129
<i>S_{В1}</i>			0,0498154	0,0498154	0,0517689	0,0517689	0,053882	0,053882	0,0561748	0,0561748
<i>k_{D1}</i>			0,24		0,24		0,24		0,24	
<i>M_{В1}</i>	0		24,557427	24,557427	21,895859	21,895859	19,899684	19,899684	18,236204	18,236204
BBO2										
<i>схема</i>			4	4	4	4	4	4	4	4
<i>b_w</i>			21	21	21	21	21	21	21	21
<i>b_{ww}</i>			3	3	3	3	3	3	3	3
<i>b_p</i>			4	4	4	4	4	4	4	4
<i>k_{гВ}</i>	ВТ/кг·К		53,90092	53,90092	53,90092	53,90092	53,90092	53,90092	53,90092	53,90092
<i>η_{В2}</i>			0,6343951	0,7449255	0,6343951	0,7449255	0,6343951	0,7449255	0,6343951	0,7449255
<i>Δp_{WB2}</i>	кПа			37,018863		37,018863		37,018863		37,018863
<i>Δp_{wwB2}</i>	кПа			54,19129		54,19129		54,19129		54,19129
<i>S_{В2}</i>			46,475343	0,0498154	46,475343	0,0517689	46,475343	0,053882	46,475343	0,0561748
<i>k_{D2}</i>			0,24		0,24		0,24		0,24	
<i>M_{В2}</i>	0		65,17694	65,176938	65,17694	65,176938	65,17694	65,176938	65,17694	65,176938

Продовження таблиці 4.1.2. (2)

Г										
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	
η_Γ			0,4305582	0,4307197	0,4305582	0,4307197	0,4305582	0,4307197	0,4305582	0,4307197
Δp_Γ	кПа									
Δp_{wg}	кПа									
S_Γ			0,549018		0,549018		0,5		0,549018	
k_D			0,25		0,25		0,25		0,25	
M_Γ	кг		25,734021	25,74718	25,734021	25,74718	25,734021	25,74718	25,734021	25,74718
МО										
Схема	кг		4	4	4	4	4	4	4	4
b_m			21	21	21	21	21	21	21	21
b_w			3	3	3	3	3	3	3	3
b_p			4	4	4	4	4	4	4	4
k_{gmo}	ВТ/кг·К		53,90092	53,90092	53,90092	53,90092	53,90092	53,90092	53,90092	53,90092
η_{mo}			0,4858962	0,4860784	0,4858962	0,4860784	0,4858962	0,4860784	0,4858962	0,4860784
Δp_m	кПа			129,02387		129,02387		129,02387		129,02387
Δp_{wm}	кПа			26,117279		26,117279		26,117279		26,117279
S_m			0,4836426	0,4834613	0,4836426	0,4834613	0,4836426	0,4834613	0,4836426	0,4834613
k_D			0,25		0,25		0,25		0,25	
M_{mo}	кг		75,742575	75,783693	75,742575	75,783693	75,742575	75,783693	75,742575	75,783693
η_o			0,8698343		0,8698343		0,8698343		0,8698343	
M_Σ	кг		207,9213	207,48031	206,1309	205,19082	205,4697	204,81909	206,1379	206,871
Індикатор			Вірно		Вірно		Вірно		Вірно	

Таблиця.4.1.3. Розрахунок впливу t_{wn2} на M_{Σ} при постійних t_{w1} , t_{wm2}

Результати			Залежність t_{wn2}							
Параметри			1		2		3		4	
Q_W	кВт		199,93		199,93		199,93		199,93	
Q_M	кВт		99,96		99,96		99,96		99,96	
Q_H	кВт		88,851718		88,851718		88,851718		88,851718	
G_{WD}	кг/с		8,33		8,33		8,33		8,33	
G_H	кг/с		0,882		0,882		0,882		0,882	
G_M	кг/с		5,68		5,68		5,68		5,68	
G_{Γ}	кг/с		4		4		4		4	
G_{WW}	кг/с		8,33		8,33		8,33		8,33	
G_{WH}	кг/с		0,5437349		0,5172112		0,4931549		0,4712369	
G_{WB1}	кг/с		0,5437349		0,5172112		0,4931549		0,4712369	
G_{WB2}	кг/с		1,7671251		1,7671251		1,7671251		1,7671251	
G_{WM}	кг/с		1,2620879		1,2620879		1,2620879		1,2620879	
G_{WT}	кг/с		0,5050372		0,5050372		0,5050372		0,5050372	
Z	шт		1		1		1		1	
T_0	К	°C	313	40	313	40	313	40	313	40
P_0	Па		100000		100000		100000		100000	
P_1	Па		230000		230000		230000		230000	
T_{ww1}	К	°C	303	30	303	30	303	30	303	30
T_{ww2}	К	°C	305,64022	32,640216	305,64022	32,640216	305,64022	32,640216	305,64022	32,640216
T_{ww3}	К	°C	315,74	42,739999	315,74	42,739999	315,74	42,739999	315,74	42,739999
$T_1 (T_K)$	К	°C	418,23772	145,23772	418,23772	145,23772	418,23772	145,23772	418,23772	145,23772
$T_2 (T_S)$	К	°C	318	45	318	45	318	45	318	45
$T_{\Gamma W1}$	К	°C	372,27179	99,27179	372,27179	99,27179	372,27179	99,27179	372,27179	99,27179
$T_{\Gamma W2}$	К	°C	378	105	378	105	378	105	378	105
T_{w1}	К	°C	312	39	312	39	312	39	312	39
T_{w2}	К	°C	324,09735	51,097354	324,09735	51,097354	324,09735	51,097354	324,09735	51,097354
T_{wn2}	К	°C	351	78	353	80	355	82	357	84
T_{wm2}	К	°C	345	72	345	72	345	72	345	72
T_{wt2}	К	°C	345	72	345	72	345	72	345	72
T_{WT}	К	°C	345	72	345	72	345	72	345	72
T_{m1}	К	°C	363	90	363	90	363	90	363	90
T_{m2}	К	°C	353,85787	80,857875	353,85787	80,857875	353,85787	80,857875	353,85787	80,857875
$T_{\Gamma 1}$	К	°C	368	95	368	95	368	95	368	95
$T_{\Gamma 2}$	К	°C	362,80519	89,805195	362,80519	89,805195	362,80519	89,805195	362,80519	89,805195

Продовження таблиці 4.1.3. (1)

ОНВ										
<i>схема</i>			3	3	3	3	3	3	3	3
<i>Z</i>			1	1	1	1	1	1	1	1
<i>b_{WT}</i>			14	14	14	14	14	14	14	14
<i>b_{WT}</i>			1	1	1	1	1	1	1	1
<i>k_{гнв}</i>	ВТ/кг·К		113,87738	113,87738	113,87738	113,87738	113,87738	113,87738	113,87738	113,87738
<i>η_{нв}</i>			0,9435229	0,9469612	0,9435229	0,9469612	0,9435229	0,9469612	0,9435229	0,9469612
<i>Δp_{нв}</i>	ММ.В.СТ.		129,48655		129,48655		129,48655		129,48655	
<i>Δp_{wnв}</i>	кПа		16,244967		16,244967		16,244967		16,244967	
<i>S_{нв}</i>			0,3890751	0,3740356	0,4090277	0,3740356	0,4289802	0,3740356	0,4489328	0,3740356
<i>M_{нв}</i>	кг		15,278927	14,998361	16,005953	16,277242	16,402427	16,411677	17,563805	17,830591
ВВО1										
<i>схема</i>			4	1	4	1	4	1	4	1
<i>b_w</i>			48	48	65	65	63	63	62	62
<i>b_{ww}</i>			2	1	2	1	2	1	2	1
<i>bp</i>			2	2	2	2	2	2	2	2
<i>k_{гв}</i>	ВТ/кг·К		176,80345	166,56101	176,80345	178,37431	176,80345	179,29065	176,80345	177,64036
<i>η_{Б1}</i>			0,8125	0,8125	0,82	0,82	0,8269231	0,8269231	0,8333333	0,8333333
<i>Δp_{wb1}</i>	кПа			37,018863		37,018863		37,018863		37,018863
<i>Δp_{wwb1}</i>	кПа			54,19129		54,19129		54,19129		54,19129
<i>S_{Б1}</i>			0,0676978	0,0676978	0,0643955	0,0643955	0,0614004	0,0614004	0,0586715	0,0586715
<i>k_{D1}</i>			0,24		0,24		0,24		0,24	
<i>M_{Б1}</i>	0		23,729868	23,729868	21,563163	21,563163	20,897771	20,897771	20,565075	20,565075
ВВО2										
<i>схема</i>			4	4	4	4	4	4	4	4
<i>b_w</i>			21	21	21	21	21	21	21	21
<i>b_{ww}</i>			3	3	3	3	3	3	3	3
<i>bp</i>			4	4	4	4	4	4	4	4
<i>k_{гв}</i>	ВТ/кг·К		53,90092	53,90092	53,90092	53,90092	53,90092	53,90092	53,90092	53,90092
<i>η_{Б2}</i>			0,6343951	0,7449255	0,6343951	0,7449255	0,6343951	0,7449255	0,6343951	0,7449255
<i>Δp_{wb2}</i>	кПа			37,018863		37,018863		37,018863		37,018863
<i>Δp_{wwb2}</i>	кПа			54,19129		54,19129		54,19129		54,19129
<i>S_{Б2}</i>			46,475343	0,0676978	46,475343	0,0643955	46,475343	0,0614004	46,475343	0,0586715
<i>k_{D2}</i>			0,24		0,24		0,24		0,24	
<i>M_{Б2}</i>	0		67,1769	67,1769	67,1769	67,1769	67,1769	67,1769	67,1769	67,1769

Продовження таблиці 4.1.3. (2)

Г										
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	
η_{Γ}			0,4305582	0,4307197	0,4305582	0,4307197	0,4305582	0,4307197	0,4305582	0,4307197
Δp_{Γ}	кПа									
Δp_{wg}	кПа									
S_{Γ}			0,549018		0,549018		0,5		0,549018	
k_D			0,25		0,25		0,25		0,25	
M_{Γ}	кг		25,734021	25,74718	25,734021	25,74718	25,734021	25,74718	25,734021	25,74718
МО										
Схема	кг		4	4	4	4	4	4	4	4
b_m			21	21	21	21	21	21	21	21
b_w			3	3	3	3	3	3	3	3
b_p			4	4	4	4	4	4	4	4
k_{gmo}	ВТ/кг·К		53,90092	53,90092	53,90092	53,90092	53,90092	53,90092	53,90092	53,90092
η_{mo}			0,4858962	0,4860784	0,4858962	0,4860784	0,4858962	0,4860784	0,4858962	0,4860784
Δp_m	кПа			129,02387		129,02387		129,02387		129,02387
Δp_{wm}	кПа			26,117279		26,117279		26,117279		26,117279
S_m			0,4836426	0,4834613	0,4836426	0,4834613	0,4836426	0,4834613	0,4836426	0,4834613
k_D			0,25		0,25		0,25		0,25	
M_{mo}	кг		75,742575	75,783693	75,742575	75,783693	75,742575	75,783693	75,742575	75,783693
η_o			0,8698343		0,8698343		0,8698343		0,8698343	
M_{Σ}	кг		205,578	205,43604	207,975	204,54822	204,563	204,01726	205,648	205,10348
Індикатор			Вірно		Вірно		Вірно		Вірно	

Таблиця 4.1.4. Розрахунок впливу t_{wm2} на M_{Σ} при постійних t_{w1} , t_{wh2}

Результати			Залежність від t_{wm2}							
Параметри			1		2		3		4	
Q_W	кВт		199,93		199,93		199,93		199,93	
Q_M	кВт		99,96		99,96		99,96		99,96	
Q_H	кВт		88,851718		88,851718		88,851718		88,851718	
G_{WD}	кг/с		8,33		8,33		8,33		8,33	
G_H	кг/с		0,882		0,882		0,882		0,882	
G_M	кг/с		5,68		5,68		5,68		5,68	
G_{Γ}	кг/с		4		4		4		4	
G_{WW}	кг/с		8,33		8,33		8,33		8,33	
G_{WH}	кг/с		0,4931549		0,4931549		0,4931549		0,4931549	
G_{WB1}	кг/с		0,4931549		0,4931549		0,4931549		0,4931549	
G_{WB2}	кг/с		2,2414369		1,9762196		1,7671251		1,5980436	
G_{WM}	кг/с		1,6008433		1,4114241		1,2620879		1,1413293	
$G_{W\Gamma}$	кг/с		0,6405936		0,5647955		0,5050372		0,4567144	
Z	шт		1		1		1		1	
T_0	К	°C	313	40	313	40	313	40	313	40
P_0	Па		100000		100000		100000		100000	
P_1	Па		230000		230000		230000		230000	
T_{ww1}	К	°C	303	30	303	30	303	30	303	30
T_{ww2}	К	°C	305,64022	32,640216	305,64022	32,640216	305,64022	32,640216	305,64022	32,640216
T_{ww3}	К	°C	315,74	42,739999	315,74	42,739999	315,74	42,739999	315,74	42,739999
$T_1 (T_K)$	К	°C	418,23772	145,23772	418,23772	145,23772	418,23772	145,23772	418,23772	145,23772
$T_2 (T_S)$	К	°C	318	45	318	45	318	45	318	45
$T_{\Gamma w1}$	К	°C	372,27179	99,27179	372,27179	99,27179	372,27179	99,27179	372,27179	99,27179
$T_{\Gamma w2}$	К	°C	378	105	378	105	378	105	378	105
T_{w1}	К	°C	312	39	312	39	312	39	312	39
T_{w2}	К	°C	324,09735	51,097354	324,09735	51,097354	324,09735	51,097354	324,09735	51,097354
T_{wh2}	К	°C	355	82	355	82	355	82	355	82
T_{wm2}	К	°C	339	66	341	68	343	70	345	72
$T_{w\Gamma 2}$	К	°C	339	66	341	68	343	70	345	72
$T_{w\Gamma}$	К	°C	339	66	341	68	343	70	345	72
T_{m1}	К	°C	363	90	363	90	363	90	363	90
T_{m2}	К	°C	353,85787	80,857875	353,85787	80,857875	353,85787	80,857875	353,85787	80,857875
$T_{\Gamma 1}$	К	°C	368	95	368	95	368	95	368	95
$T_{\Gamma 2}$	К	°C	362,80519	89,805195	362,80519	89,805195	362,80519	89,805195	362,80519	89,805195

Продовження таблиці 4.1.4. (1)

ОНВ										
<i>схема</i>			3	3	3	3	3	3	3	3
<i>Z</i>			1	1	1	1	1	1	1	1
<i>b_{WT}</i>			14	14	14	14	14	14	14	14
<i>b_{WT}</i>			1	1	1	1	1	1	1	1
<i>k_{гНВ}</i>	ВТ/кг·К		113,87738	113,87738	113,87738	113,87738	113,87738	113,87738	113,87738	113,87738
<i>η_{НВ}</i>			0,9435229	0,9469612	0,9435229	0,9469612	0,9435229	0,9469612	0,9435229	0,9469612
<i>Δp_{НВ}</i>	ММ.В.СТ.		129,48655		129,48655		129,48655		129,48655	
<i>Δp_{WНВ}</i>	кПа		16,244967		16,244967		16,244967		16,244967	
<i>S_{НВ}</i>			0,4289802	0,3740356	0,4289802	0,3740356	0,4289802	0,3740356	0,4289802	0,3740356
<i>M_{НВ}</i>	кг		16,937503	16,570803	16,937503	16,570803	16,937503	16,570803	16,937503	16,570803
BBO1										
<i>схема</i>			4	1	4	1	4	1	4	1
<i>b_w</i>			63	63	63	63	63	63	63	63
<i>b_{ww}</i>			3	1	3	1	2	1	2	1
<i>b_p</i>			2	2	2	2	2	2	2	2
<i>k_{гВ}</i>	ВТ/кг·К		182,44693	179,29065	180,21569	179,29065	176,8031	179,29065	179,48735	179,29065
<i>η_{В1}</i>			0,8269231	0,8269231	0,8269231	0,8269231	0,8269231	0,8269231	0,8269231	0,8269231
<i>Δp_{WB1}</i>	кПа			37,018863		37,018863		37,018863		37,018863
<i>Δp_{wwB1}</i>	кПа			54,19129		54,19129		54,19129		54,19129
<i>S_{В1}</i>			0,0614004	0,0614004	0,0614004	0,0614004	0,0614004	0,0614004	0,0614004	0,0614004
<i>k_{D1}</i>			0,24		0,24		0,24		0,24	
<i>M_{В1}</i>	0		20,897771	20,897771	20,897771	20,897771	20,897771	20,897771	20,897771	20,897771
BBO2										
<i>схема</i>			4	4	4	4	4	4	4	4
<i>b_w</i>			21	21	20	20	20	20	21	21
<i>b_{ww}</i>			2	2	3	3	4	4	4	4
<i>b_p</i>			4	4	4	4	4	4	4	4
<i>k_{гВ}</i>	ВТ/кг·К		49,381296	49,381296	54,090886	54,090886	56,606613	56,606613	56,633032	56,633032
<i>η_{В2}</i>			0,5001504	0,7449255	0,5672727	0,7449255	0,6343951	0,7449255	0,7015174	0,7449255
<i>Δp_{WB2}</i>	кПа			37,018863		37,018863		37,018863		37,018863
<i>Δp_{wwB2}</i>	кПа			54,19129		54,19129		54,19129		54,19129
<i>S_{В2}</i>			39,039779	0,0614004	42,250943	0,0614004	46,47557	0,0614004	50,049548	0,0614004
<i>k_{D2}</i>			0,24		0,24		0,24		0,24	
<i>M_{В2}</i>	0		83,404517	83,404517	72,765142	72,765142	65,176938	65,176938	57,267604	57,267604

Продовження таблиці 4.1.4. (2)

Г										
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	
η_Γ			0,3394476	0,3395749	0,3850029	0,3851473	0,4305582	0,4307197	0,4761136	0,4762922
Δp_Γ	кПа									
$\Delta p_{w\Gamma}$	кПа									
S_Γ			0,549018		0,549018		0,5		0,549018	
k_D			0,25		0,25		0,25		0,25	
M_Γ	кг		25,53189	25,74718	24,01686	24,12823	25,34867	25,68135	27,15687	27,366129
МО										
Схема	кг		4	4	4	4	4	4	4	4
b_m			21	21	20	20	20	20	21	21
b_w			2	2	3	3	4	4	4	4
b_p			4	4	4	4	4	4	4	4
k_{gMO}	Вт/кг·К		49,381296	49,381296	54,090886	54,090886	56,606613	56,606613	56,633032	56,633032
η_{MO}			0,3830754	0,3832191	0,4344858	0,4346487	0,4858962	0,4860784	0,5373065	0,5375081
Δp_m	кПа			129,02387		122,65095		122,65095		129,02387
Δp_{wm}	кПа			6,3485628		31,865918		144,01621		119,00367
S_m			0,6134565	0,6132265	0,5408695	0,5406667	0,4836426	0,4834613	0,4373669	0,4372029
k_D			0,25		0,25		0,25		0,25	
M_{MO}	кг		75,74668	75,783693	72,1249	72,161944	72,122792	72,161944	75,739939	75,783693
η_o			0,8698343		0,8698343		0,8698343		0,8698343	
M_Σ	кг		222,63315	222,40396	206,17281	206,52389	200,1678	200,55464	197,42328	197,886
Індикатор			Вірно		Вірно		Вірно		Вірно	

Відповідно до таблиць 4.1.2. — 4.1.4. побудовано графік залежностей рис. 6...8

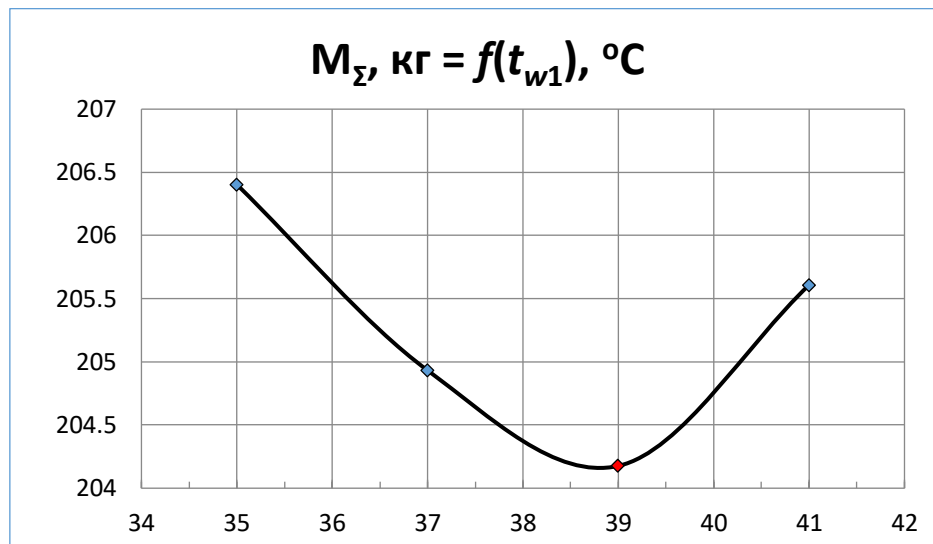


Рисунок 6. Залежність M_{Σ} від зміни температури t_{w1} при постійних значеннях інших температур: $t_{wm2} = 72^\circ\text{C}$, $t_{wn2} = 82^\circ\text{C}$

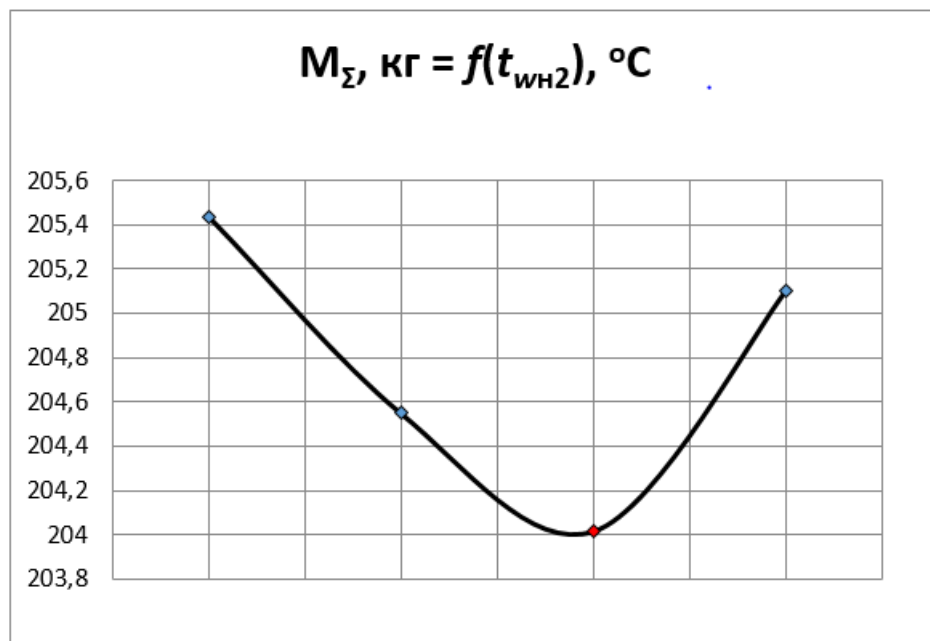


Рисунок 7. Залежність M_{Σ} від зміни температури t_{wn2} при постійних значеннях інших температур: $t_{w1} = 39^\circ\text{C}$, $t_{wm2} = 72^\circ\text{C}$

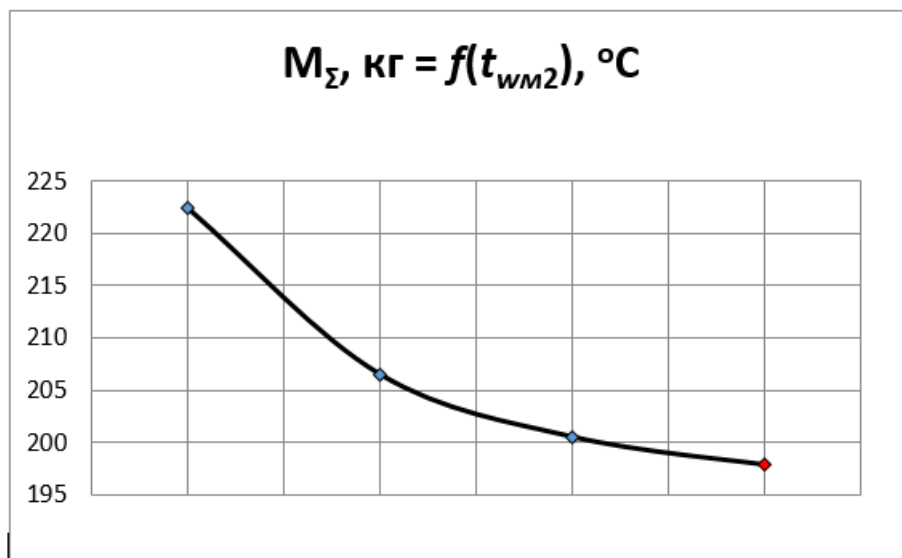


Рисунок 8. Залежність M_{Σ} від зміни температури t_{wn2} при постійних значеннях інших температур: $t_{w1} = 39^\circ\text{C}$, $t_{wm2} = 82^\circ\text{C}$

Відповідно до графіків вище було заповнено таблицю 4.1.5. згідно з цією таблицею, у точці оптимуму, сумарна маса серцевин системи 2В2НПР складатиме близько 198 кг.

Таблиця 4.1.5. Оптимальні температури та сумарна маса

M_{Σ}	197,886	кг
T_{w1}	39	$^\circ\text{C}$
T_{wm2}	72	$^\circ\text{C}$
T_{wn2}	82	$^\circ\text{C}$

4.3. Система типу В2НД. Розрахунки системи, побудова графіків. Аналіз графіків

4.3.1. Розрахунки системи В2НД

Копія таблиці з вхідними даними приведена у табл. 4.2.

Таблиця. 4.2. Незмінні вхідні дані для розрахунків теплової схеми системи

Обозначення	Розмірність		Формула	Значення		Параметр
n	об/мин			500		Частота обертання колінвалу
Ne	кВт			560		Потужність ГД
T_0	К	$^\circ\text{C}$		313	40	Повітря перед компресором
P_0	Па			100000		Повітря перед компресором
T_{ww1}	К	$^\circ\text{C}$		303	30	Заб. вода перед ВВО
$\eta_{ад1}$				0,800		

Продовження таблиці 4.2.

$T_{к1}$	$К$	$^{\circ}C$	$T_{к1} = T_{в1} \left(1 + \frac{\Pi_{к1}^{0,286} - 1}{\eta_{ад1}}\right)$	418,238	145,238	T1 або Tк, повітря за компресором
T_s	$К$	$^{\circ}C$		318,000	45,0	T2 або температура повітря за ОНВ
$T_{гв2}$	$К$	$^{\circ}C$		378	105	Температура води за головним двигуном
$T_{вв2}$	$К$	$^{\circ}C$		368	95	Температура води за допоміжними двигунами
$T_{гг1}$	$К$	$^{\circ}C$		368	95	Гідравл. масло на виході із системи
$T_{гм1}$	$К$	$^{\circ}C$		363	90	Масло на виході з двигуна або вході в МО
$Q_{гв}$	$кВт$	476	Задані	199,9		Тепловідведення в зарубашечну воду
$Q_{гм}$	$кВт$	122		100,0		Тепловідведення в масло
$Q_{гг}$	$кВт$			40,0		Тепловідведення в гідросуміш
$Q_{гн}$	$кВт$			88,9		Теплопідвід від ОНВ
$G_{гвд}$	$кг/с$		$Q_{гн} = W_n (T_1 - T_2)$	8,33		Витрата води через двигун
$G_{гн}$	$кг/с$			0,882		Витрата наддувного повітря
$G_{гм}$	$кг/с$			5,68		Витрата масла
$G_{гг}$				4		Витрата гідравлічної рідини
G_{ww}	$кг/с$			8,33		Витрата заб. води через ВВО
Z_n	шт			1		Число ОНВ
P_1	Па			230000,000		Тиск повітря після компресора

Продовження таблиці 4.2.

Обозначення	Розмірність	Значення		Параметр
ОНВ		84419,6678 1		
схема		3	3	Імовірна схема 3
Z		1	1	Число парал. роб. ОНВ
$b_{вт}$		24	24	Число термодинамічних ходів по воді
$b_{вг}$		2	2	Число гідравлічних ходів по воді
$k_{гнв}$	Вт/кг·К	120,42	120,42	Коефіцієнт використання маси пучка
ВВО		4040	4040	$C_{рww}$
схема		4	4	Імовірна схема 4
b_w		20	20	Число ходів прісною водою
b_{ww}		3	3	Число ходів по забортній воді

Продовження таблиці 4.2.

<i>bp</i>		2	2	Число протитечієвих реверсивних елементів
<i>kgv</i>	Вт/кг·К	174,72	174,72	Коефіцієнт використання маси пучка
МО		1925	1925,72205	Срм
<i>схема</i>		4	4	Імовірна схема 4
<i>bm</i>		37	37	Число ходів по маслу
<i>bw</i>		2	2	Число ходів прісною водою
<i>bp</i>		4	4	Число протитечієвих реверсивних елементів
<i>kgmo</i>	Вт/кг·К	49,28	49,28	Коефіцієнт використання маси пучка

Таблиця. 4.2.1 Змінні вхідні дані для розрахунків теплової схеми системи

Обозначення	Розмірність		Значення		Параметр
$T_{гwm2}$	К	°C	332	59,00	Вода за МО
$T_{гwn2}$	К	°C	361,00	88,00	Вода за ОНВ
T_{w1}	К	°C	317,000	44,000	Вода перед теплообмінниками ГД.

Таблиця.4.2.2. Розрахунок впливу t_{wm2} на M_{Σ} при постійних t_{w1} , t_{wn2}

Результати			Вплив t_{wm2}							
Параметри			1	2	3	4	5			
$Q_{гw}$	кВт		199,93	199,93	199,93	199,93	199,93			
$Q_{гм}$	кВт		99,96	99,96	99,96	99,96	99,96			
$Q_{гн}$	кВт		84,419668	84,419668	84,419668	84,41967	84,4196678			
$G_{гwd}$	кг/с		8,33	8,33	8,33	8,33	8,33			
$G_{гн}$	кг/с		0,882	0,882	0,882	0,882	0,882			
$G_{гм}$	кг/с		5,68	5,68	5,68	5,68	5,68			
G_{ww}	кг/с		8,33	8,33	8,33	8,33	8,33			
$G_{гwn}$			0,4477309	0,4477309	0,4477309	0,447731	0,44773094			
$G_{гwm}$			1,7040573	1,5904535	1,4910501	1,403341	1,32537788			
G_{wov}			3,0150856	2,9014818	2,8020784	2,71437	2,63640618			
$G_{гwp}$	кг/с		0,8632974	0,8632974	0,8632974	0,863297	0,86329736			
$G_{гw\Sigma}$	кг/с		3,0150856	2,9014818	2,8020784	2,71437	2,63640618			
Z	шт		1	1	1	1	1			
$G_{гwn}$	кг/с		0,4477309	0,4477309	0,4477309	0,447731	0,44773094			
$G_{гwm}$	кг/с		1,7040573	1,5904535	1,4910501	1,403341	1,32537788			
G_{wov}	кг/с		3,0150856	2,9014818	2,8020784	2,71437	2,63640618			
T_0	К	°C	313	40	313	40	313	40	313	40
P_0	Па		100000		100000		100000		100000	
P_1	Па		230000		230000		230000		230000	

Продовження таблиці 4.2.2.

T_{ww1}	К	°C	298	25	298	25	298	25	298	25	298	25
T_{ww2}	К	°C	320,89903	47,899033	320,03623	47,036232	319,28128	46,281282	318,6151	45,61515	318,023031	45,02303
$T_1(T_k)$	К	°C	418,23772	145,23772	418,23772	145,23772	418,23772	145,23772	418,2377	145,2377	418,23772	145,2377
$T_2(T_s)$	К	°C	323	50	323	50	323	50	323	50	323	50
$T_{гw1}$	К	°C	372,27179	99,27179	372,27179	99,27179	372,27179	99,27179	372,2718	99,27179	372,27179	99,27179
$T_{гw2}$	К	°C	378	105	378	105	378	105	378	105	378	105
T_{w3}			347,42059	74,420591	348,61167	75,61167	349,73309	76,73309	350,7908	77,79079	351,790043	78,79004
T_{w1}	К	°C	317	44	317	44	317	44	317	44	317	44
T_{wh2}	К	°C	361	88	361	88	361	88	361	88	361	88
T_{wm2}	К	°C	331	58	332	59	333	60	334	61	335	62
T_{w4}	К	°C	337,45029	64,45029	338,59014	65,590144	339,69709	66,697093	340,7725	67,77254	341,817819	68,81782
T_{m1}	К	°C	363	90	363	90	363	90	363	90	363	90
T_{m2}	К	°C	353,85787	80,857875	353,85787	80,857875	353,85787	80,857875	353,8579	80,85787	353,857875	80,85787
ОНВ												
<i>схема</i>			3		3		3		3		3	
Z			1		1		1		1		1	
b_{wt}			24		24		24		24		24	
b_{wt}			2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
k_{ghb}	Вт/кг·К		120,50308	117,53774	120,50308	117,53774	120,50308	117,53774	120,5031	117,5377	120,50308	117,5377
η_{hb}			0,9407336	0,9326753	0,9407336	0,9326753	0,9407336	0,9326753	0,940734	0,932675	0,94073355	0,932675
Δp_{hb}	мм.в.ст.			150,77322		150,77322		150,77322		150,7732		150,7732
Δp_{whb}	кПа			30,032847		30,032847		30,032847		30,03285		30,03285
S_{hb}			0,4725019	0,4725019	0,4725019	0,4725019	0,4725019	0,4725019	0,472502	0,472502	0,47250186	0,472502
M_{hb}	кг		31,91206	30,173107	31,91206	30,173107	31,91206	30,173107	31,91206	30,17311	31,9120603	30,17311
ВВО												
<i>схема</i>			4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
b_w			19	19	20	20	20	20	20	20	25	25
b_{ww}			3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
b_p			2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
k_{gb}	Вт/кг·К		162,52322	162,52322	174,44274	174,44274	171,71712	171,71712	169,2416	169,2416	174,304553	174,3046
η_b			0,6155449	0,6155449	0,6245925	0,6245925	0,6327302	0,6327302	0,640089	0,640089	0,64677478	0,646775
Δp_{wb}	кПа			14,319942		18,130805		17,010387		16,05073		19,72344
Δp_{wwb}	кПа			25,248742		28,555536		28,555536		28,55554		43,61882
S_b			0,375394	0,375394	0,3612497	0,3612497	0,3488735	0,3488735	0,337953	0,337953	0,3282464	0,328246
k_D			0,24		0,24		0,24		0,24		0,24	
M_b	кг		87,997386	87,997386	80,590752	80,590752	80,590752	80,590752	80,59075	80,59075	77,2057734	77,20571
МО												
<i>схема</i>			4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
b_m			36	36	37	37	38	38	39	39	40	40
b_w			2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
b_p			4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
k_{gmo}	Вт/кг·К		49,874388	49,874388	49,285182	49,285182	48,759753	48,759753	48,29484	48,29484	47,8893316	47,88933
η_{mo}			0,3043478	0,304462	0,326087	0,326093	0,3478261	0,3479566	0,369565	0,369704	0,39130435	0,391451
Δp_m	кПа			179,22013		184,4202		189,61993		194,8193		200,0185
Δp_{wm}	кПа			32,664204		29,128926		26,193348		23,72556		21,62843
S_m			0,653009	0,6527641	0,609475	0,6092465	0,5713828	0,5711686	0,537772	0,53757	0,50789586	0,507705
k_D			0,2		0,2		0,2		0,2		0,2	
M_{mo}	кг		58,376442	58,403053	60,001855	60,029693	61,627214	61,656334	63,25251	63,28297	64,8780907	64,90962
η_o			0,7920786		0,7920786		0,7920786		0,792079		0,79207856	
M_{Σ}	кг		178,28589	176,57355	172,50467	170,79355	174,13003	172,42019	175,7553	174,0468	173,995924	172,2884
Індикатор			Вірно		Вірно		Вірно		Вірно		Вірно	

Таблиця.4.2.3 Розрахунок впливу t_{wn2} на M_{Σ} при постійних t_{w1} , t_{wm2}

Результати			Вплив t_{wn2}									
Параметри			1		2		3		4		5	
$Q_{ГВ}$	кВт		199,93		199,93		199,93		199,93		199,93	
$Q_{ГМ}$	кВт		99,96		99,96		99,96		99,96		99,96	
$Q_{ГН}$	кВт		84,419668		84,419668		84,419668		84,41967		84,4196678	
$G_{ГВД}$	кг/с		8,33		8,33		8,33		8,33		8,33	
$G_{ГН}$	кг/с		0,882		0,882		0,882		0,882		0,882	
$G_{ГМ}$	кг/с		5,68		5,68		5,68		5,68		5,68	
$G_{ИВ}$	кг/с		8,33		8,33		8,33		8,33		8,33	
$G_{ГВН}$			0,491412		0,4797117		0,4685556		0,457907		0,44773094	
$G_{ГВМ}$			1,5904535		1,5904535		1,5904535		1,590453		1,32537788	
$G_{ВОВ}$			2,9451628		2,9334625		2,9223065		2,911657		2,63640618	
$G_{ГВП}$	кг/с		0,8632974		0,8632974		0,8632974		0,863297		0,86329736	
$G_{ГВ\Sigma}$	кг/с		2,9451628		2,9334625		2,9223065		2,911657		2,63640618	
Z	шт		1		1		1		1		1	
$G_{ГВН}$	кг/с		0,491412		0,4797117		0,4685556		0,457907		0,44773094	
$G_{ГВМ}$	кг/с		1,5904535		1,5904535		1,5904535		1,590453		1,32537788	
$G_{ВОВ}$	кг/с		2,9451628		2,9334625		2,9223065		2,911657		2,63640618	
T_0	К	°C	313	40	313	40	313	40	313	40	313	40
P_0	Па		100000		100000		100000		100000		100000	
P_1	Па		230000		230000		230000		230000		230000	
$T_{ИВ1}$	К	°C	298	25	298	25	298	25	298	25	298	25
$T_{ИВ2}$	К	°C	320,36798	47,367982	320,27912	47,27912	320,19439	47,194392	320,1135	47,11351	318,023031	45,02303
$T_1 (T_k)$	К	°C	418,23772	145,23772	418,23772	145,23772	418,23772	145,23772	418,2377	145,2377	418,23772	145,2377
$T_2 (T_s)$	К	°C	323	50	323	50	323	50	323	50	323	50
$T_{ГВ1}$	К	°C	372,27179	99,27179	372,27179	99,27179	372,27179	99,27179	372,2718	99,27179	372,27179	99,27179
$T_{ГВ2}$	К	°C	378	105	378	105	378	105	378	105	378	105
T_{w3}			348,14282	75,142823	348,26704	75,267038	348,3864	75,386402	348,5012	75,50119	351,790043	78,79004
T_{w1}	К	°C	317	44	317	44	317	44	317	44	317	44
$T_{ИВ2}$	К	°C	358	85	359	86	360	87	361	88	362	89
T_{WM2}	К	°C	332	59	332	59	332	59	332	59	332	59
T_{w4}	К	°C	338,13715	65,137146	338,25661	65,25661	338,37178	65,371782	338,4829	65,48289	341,817819	68,81782
T_{M1}	К	°C	363	90	363	90	363	90	363	90	363	90
T_{M2}	К	°C	353,85787	80,857875	353,85787	80,857875	353,85787	80,857875	353,8579	80,85787	353,857875	80,85787
ОНВ												
схема			3		3		3		3		3	
Z			1		1		1		1		1	
b_{WT}			24		24		24		24		24	
b_{WT}			2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
$k_{гнв}$	Вт/кг·К		120,25269	117,24957	120,29795	117,30466	120,35492	117,37119	120,4234	117,449	120,50308	117,5377
$\eta_{нв}$			0,9407336	0,9399752	0,9407336	0,9381856	0,9407336	0,9363724	0,940734	0,934536	0,94073355	0,932675
$\Delta p_{нв}$	мм.в.ст.			150,77322		150,77322		150,77322		150,7732		150,7732
$\Delta p_{нв}$	кПа			30,032847		30,032847		30,032847		30,03285		30,03285
$S_{нв}$			0,4305017	0,4305017	0,4410017	0,4410017	0,4515018	0,4515018	0,462002	0,462002	0,47250186	0,472502
$M_{нв}$	кг		30,453235	30,29104	30,807383	30,261417	31,168327	30,231888	31,53646	30,20245	31,9120603	30,17311
ВВО												
схема			4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
b_w			20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
b_{ww}			3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

Продовження таблиці 4.2.3.

b_p			2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
k_{gb}	Вт/кг·К		175,61481	175,61481	175,30235	175,30235	175,00341	175,00341	174,7173	174,7173	174,304553	174,3046
η_B			0,6210824	0,6210824	0,6220187	0,6220187	0,6229141	0,6229141	0,623771	0,623771	0,64677478	0,646775
Δp_{wb}	кПа			18,634146		18,498666		18,369934		18,24746		18,24746
Δp_{wwb}	кПа			28,555536		28,555536		28,555536		28,55554		28,55554
S_B			0,3666882	0,3666882	0,3652315	0,3652315	0,3638425	0,3638425	0,362517	0,362517	0,36251663	0,362517
k_D			0,24		0,24		0,24		0,24		0,24	
M_B	кг		80,590752	80,590752	80,590752	80,590752	80,590752	80,590752	80,59075	80,59075	80,5907524	80,59075
МО												
$схема$			4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
b_m			37	37	37	37	37	37	37	37	37	37
b_w			2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
b_p			4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
k_{gmo}	Вт/кг·К		49,285588	49,285588	49,285588	49,285588	49,285588	49,285588	49,28559	49,28559	49,2855878	49,28559
η_{mo}			0,326087	0,3262093	0,326087	0,3262093	0,326087	0,3262093	0,326087	0,326209	0,32608696	0,326209
Δp_m	кПа			184,4202		184,4202		184,4202		184,4202		184,4202
Δp_{wm}	кПа			29,128926		29,128926		29,128926		29,12893		29,12893
S_m			0,609475	0,6092465	0,609475	0,6092465	0,609475	0,6092465	0,609475	0,609247	0,60947503	0,609247
k_D			0,2		0,2		0,2		0,2		0,2	
M_{mo}	кг		60,001855	60,029693	60,001855	60,029693	60,001855	60,029693	60,00186	60,02969	60,0018552	60,02969
η_o			0,7920786		0,7920786		0,7920786		0,792079		0,79207856	
M_Σ	кг		171,04584	170,91149	171,39999	170,88186	171,76093	170,85233	172,1291	170,8229	173,995521	172,2884
Індикатор			Вірно		Вірно		Вірно		Вірно		Вірно	

Таблиця.4.2.4 Розрахунок впливу t_{w1} на M_Σ при постійних t_{wn2} , t_{wm2}

Результати			Вплив t_{w1}							
Параметри			1		2		3		4	
Q_{GW}	кВт		199,93		199,93		199,93		199,93	
Q_{GM}	кВт		99,96		99,96		99,96		99,96	
Q_{GH}	кВт		84,419668		84,419668		84,419668		84,41967	
$G_{гвд}$	кг/с		8,33		8,33		8,33		8,33	
G_{GH}	кг/с		0,882		0,882		0,882		0,882	
G_{GM}	кг/с		5,68		5,68		5,68		5,68	
G_{ww}	кг/с		8,33		8,33		8,33		8,33	
$G_{гвн}$			0,4685556		0,4797117		0,4579066		0,503697	
$G_{гвм}$			1,4033413		1,4910501		1,5904535		1,704057	
G_{woB}			2,7050469		2,8187176		2,9116575		3,086959	
$G_{гвп}$	кг/с		0,83315		0,8479558		0,8632974		0,879204	
$G_{гв\Sigma}$	кг/с		2,7050469		2,8187176		2,9116575		3,086959	
Z	шт		1		1		1		1	

Продовження таблиці 4.2.4.

$G_{ГВН}$	кг/с		0,4685556		0,4797117		0,4579066		0,503697	
$G_{ГВМ}$	кг/с		1,4033413		1,4910501		1,5904535		1,704057	
$G_{ВОВ}$	кг/с		2,7050469		2,8187176		2,9116575		3,086959	
T_0	К	°C	313	40	313	40	313	40	313	40
P_0	Па		100000		100000		100000		100000	
P_1	Па		230000		230000		230000		230000	
T_{ww1}	К	°C	298	25	298	25	298	25	298	25
T_{ww2}	К	°C	319,21793	46,21793	319,7586	46,758598	320,11351	47,113515	321,0606	48,06055
$T_1(T_K)$	К	°C	418,23772	145,23772	418,23772	145,23772	418,23772	145,23772	418,2377	145,2377
$T_2(T_S)$	К	°C	323	50	323	50	323	50	323	50
$T_{ГW1}$	К	°C	372,27179	99,27179	372,27179	99,27179	372,27179	99,27179	372,2718	99,27179
$T_{ГW2}$	К	°C	378	105	378	105	378	105	378	105
T_{W3}			348,90724	75,907244	348,53986	75,539863	348,50119	75,501193	347,7123	74,71231
T_{W1}	К	°C	315	42	316	43	317	44	318	45
T_{WH2}	К	°C	361	88	361	88	361	88	361	88
T_{WM2}	К	°C	332	59	332	59	332	59	332	59
T_{W4}	К	°C	338,50808	65,508075	338,32877	65,328773	338,48289	65,48289	337,9319	64,93188
T_{M1}	К	°C	363	90	363	90	363	90	363	90
T_{M2}	К	°C	353,85787	80,857875	353,85787	80,857875	353,85787	80,857875	353,8579	80,85787
ОНВ										
схема			3		3		3		3	
Z			1		1		1		1	
b_{WT}			24		24		24		24	
b_{WG}			2	2	2	2	2	2	2	2
$k_{гНВ}$	Вт/кг·К		119,93033	116,95955	120,08508	117,09832	120,42337	117,44896	120,2004	117,1748
$\eta_{НВ}$			0,9225089	0,936486	0,9315321	0,9382412	0,9407336	0,9345356	0,950119	0,941401
$\Delta p_{НВ}$	мм.в.ст.			150,77322		150,77322		150,77322		150,7732
$\Delta p_{WНВ}$	кПа			30,032847		30,032847		30,032847		30,03285
$S_{НВ}$			0,4515018	0,4515018	0,4410017	0,4410017	0,4620018	0,4620018	0,420002	0,420002
$M_{НВ}$	кг		27,750274	30,36252	28,991801	30,326733	31,536456	30,202451	32,28198	30,25245
ВВО										
схема			4	4	4	4	4	4	4	4
b_w			20	20	20	20	20	20	20	20
b_{ww}			3	3	3	3	3	3	3	3

Продовження таблиці 4.2.4.(1)

b_p			2	2	2	2	2	2	2	2
k_{gB}	Вт/кг·К		174,23098	174,23098	170,54805	170,54805	174,7173	174,7173	166,7576	166,7576
η_B			0,6660593	0,6660593	0,6438455	0,6438455	0,6237713	0,6237713	0,597685	0,597685
Δp_{WB}	кПа			16,763506		18,042883		18,247463		14,17701
Δp_{wWB}	кПа			29,697936		29,697936		28,555536		24,17678
S_B			0,3367925	0,3367925	0,3509451	0,3509451	0,3625166	0,3625166	0,384343	0,384343
k_D			0,24		0,24		0,24		0,24	
M_B	кг		80,590752	80,590752	80,590752	80,590752	80,590752	80,590752	80,59075	80,59075
МО										
<i>схема</i>			4	4	4	4	4	4	4	4
b_m			37	37	37	37	37	37	37	37
b_w			2	2	2	2	2	2	2	2
b_p			4	4	4	4	4	4	4	4
k_{gMO}	Вт/кг·К		47,96289	47,96289	48,612228	48,612228	49,285588	49,285588	49,98319	49,98319
η_{MO}			0,3541667	0,3542995	0,3404255	0,3405532	0,326087	0,3262093	0,311111	0,311228
Δp_m	кПа			184,4202		184,4202		184,4202		184,4202
Δp_{wm}	кПа			22,771977		25,655283		29,128926		33,36656
S_m			0,5377721	0,5375704	0,5713828	0,5711686	0,609475	0,6092465	0,653009	0,652764
k_D			0,2		0,2		0,2		0,2	
M_{MO}	кг		60,0012	60,029693	60,001526	60,029693	60,001855	60,029693	60,00219	60,02969
η_o			0,7920786		0,7920786		0,7920786		0,792079	
M_Σ	кг		172,38901	175,02975	173,63086	174,99396	172,12906	170,8229	175,6303	173,6283
Індикатор			Вірно		Вірно		Вірно		Вірно	

Відповідно до таблиць 4.2.2. — 4.2.4. побудовано графік залежностей рис. 9...11

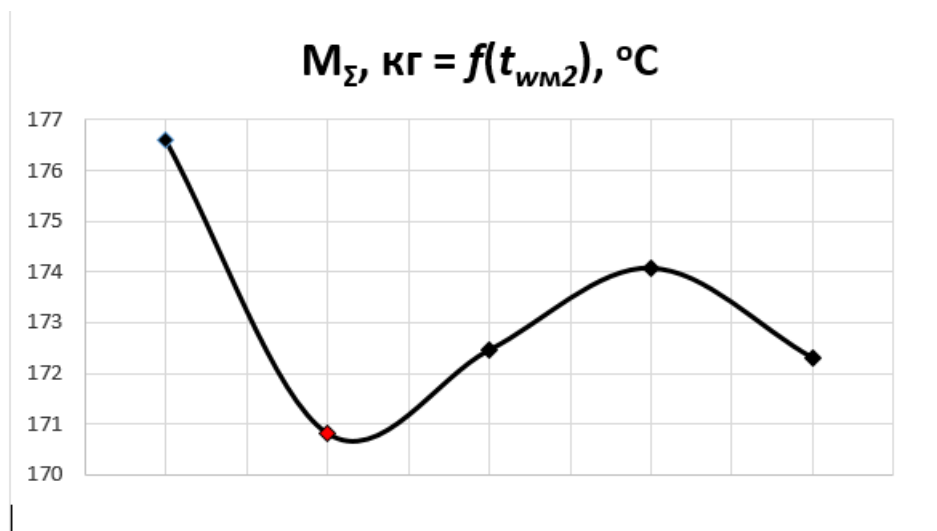


Рисунок 9. Залежність M_Σ від зміни температури t_{wm2} при постійних значеннях інших температур: $t_{wI} = 44^\circ\text{C}$, $t_{wH2} = 88^\circ\text{C}$

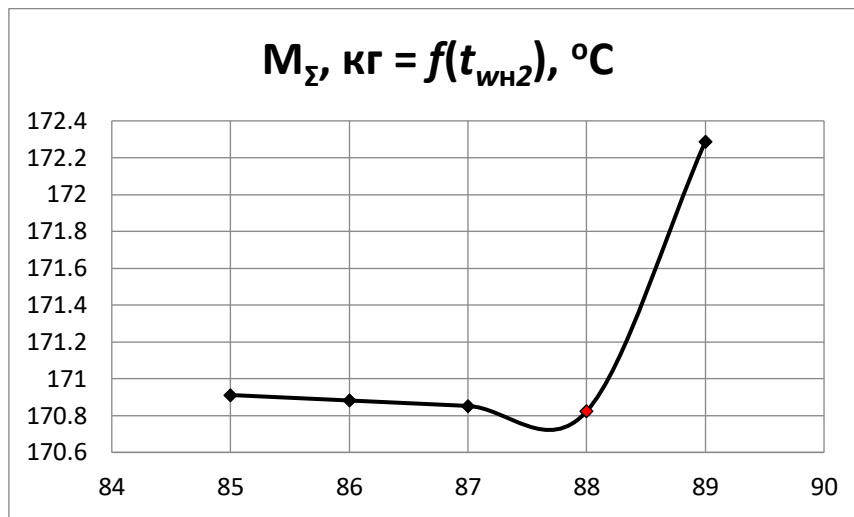


Рисунок 10. Залежність M_{Σ} від зміни температури t_{wn2} при постійних значеннях інших температур: $t_{w1} = 44^{\circ}\text{C}$, $t_{wm2} = 59^{\circ}\text{C}$

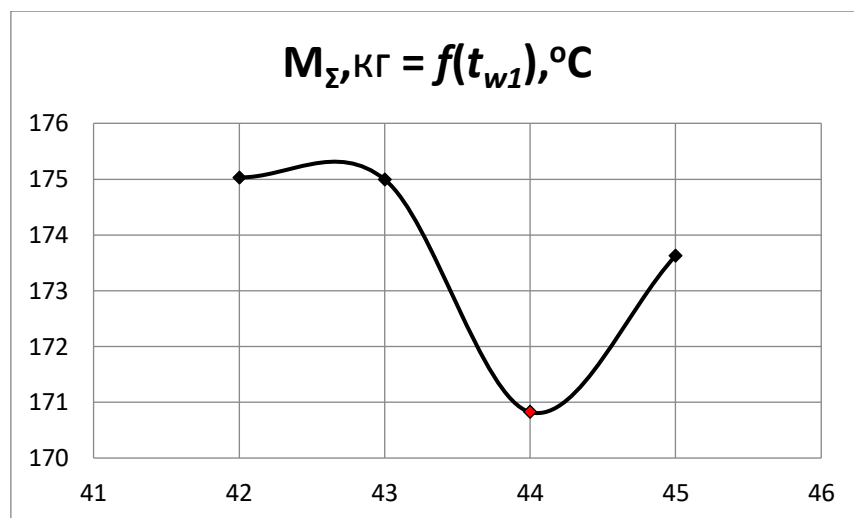


Рисунок 11. Залежність M_{Σ} від зміни температури t_{w1} при постійних значеннях інших температур: $t_{wm2} = 59^{\circ}\text{C}$, $t_{wn2} = 88^{\circ}\text{C}$

Відповідно до графіків вище було заповнено таблицю 4.1.5. згідно з цією таблицею, у точці оптимуму, сумарна маса серцевин системи 2В2НПР складатиме близько 171 кг.

Таблиця 4.2.5. Оптимальні температури та сумарна маса

M_{Σ}	171,8	кг
T_{w1}	44	°C
T_{wm2}	59	°C
T_{wn2}	88	°C

4.4. Система типу 2В2НД. Розрахунки системи, побудова графіків. Аналіз графіків

4.4.1. Розрахунки системи 2В2НД

Копія таблиці з вхідними даними приведена у табл. 4.3.

Таблиця. 4.3. Незмінні вхідні дані для розрахунків теплової схеми системи

Обозначення	Розмірність		Формула	Значення		Параметр
n	об/мин			500		Частота обертання колінвалу
Ne	кВт			560		Потужність ГД
T_0	К	°C		313	40	Повітря перед компресором
P_0	Па			100000		Повітря перед компресором
T_{ww1}	К	°C		303	30	Заб. вода перед ВВО
$\eta_{ад1}$				0,800		
P_1	Па			230000,000		Тиск повітря після компресора
$T_{к1}$	К	°C	$T_{к1} = T_{в1} \left(1 + \frac{P_{к1}^{0,286} - 1}{\eta_{ад1}} \right)$	18,238	145,238	T1 або Tk, повітря за компресором
T_s	К	°C		318,000	45,0	T2 або температура повітря за ОНВ
$T_{гw2}$	К	°C		378	105	Температура води за головним двигуном
T_{bw2}	К	°C		368	95	Температура води за допоміжними двигунами
$T_{гг1}$	К	°C		368	95	Гідравл. масло на виході із системи
$T_{гм1}$	К	°C		363	90	Масло на виході з двигуна або вході в МО
$Q_{гw}$	кВт	476	Заданы	199,9		Тепловідведення в зарубашечну воду
$Q_{гм}$	кВт	122		100,0		Тепловідведення в масло
$Q_{гг}$	кВт			40,0		Тепловідведення в гідросуміш
$Q_{гн}$	кВт			88,9		Теплопідвід від ОНВ
$G_{гwд}$	кг/с		$Q_{гн} = W_n(T_1 - T_2)$	8,33		Витрата води через двигун
$G_{гн}$	кг/с			0,882		Витрата наддувного повітря
$G_{гм}$	кг/с			5,68		Витрата масла
$G_{гг}$				4		Витрата гідравлічної рідини
G_{ww}	кг/с			8,33		Витрата заб. води через ВВО
Z_n	шт			1		Число ОНВ

Продовження таблиці 4.3.

Обозначення	Розмірність	Значення		Параметр
ОНВ				
<i>схема</i>		3	3	
Z		1	1	
b_{WT}		1	1	
b_{WT}		0	0	
k_{qHB}	Вт/кг·К	289,77	289,7747	
ВВО1		4040,00	4040	
<i>схема</i>		1	1	
b_w		38	38	
b_{ww}		1	1	
bp		2	2	
k_{qB}	Вт/кг·К	171,92	171,92	
ВВО2		4040,00	4040	C_{pww}
<i>схема</i>		4	4	Імовірна схема 4
b_w		22	22	Число ходів прісною водою
b_{ww}		2	2	Число ходів по забортній воді
bp		2	2	Число протитечієвих реверсивних елементів
k_{qB}	Вт/кг·К	169,6	169,6	Коефіцієнт використання маси пучка
Г		1925,00	1925,72	
<i>схема</i>		4,00	4,00	
b_M		3	3	
b_w		23	23	
b_p		4,00	4,00	
k_{qMO}	Вт/кг·К	46,26	46,26	
МО		1925	1925,72205	C_{pM}
<i>схема</i>		4	4	Імовірна схема 4
b_M		14	14	Число ходів по маслу
b_w		8	8	Число ходів прісною водою
b_p		4	4	Число протитечієвих реверсивних елементів
k_{qMO}	Вт/кг·К	49,38	49,38	Коефіцієнт використання маси пучка

Таблиця. 4.3.1 Змінні вхідні дані для розрахунків теплової схеми системи

Обозначення	Розмірність		Значення		Параметр
T_{WM2}	К	°C	345	73,00	Вода за МО
T_{WT2}	К	°C	345	73,00	Вода за Г
T_{WH2}	К	°C	355,00	89,00	Вода за ОНВ
T_{W1}	К	°C	312,000	44,000	Вода за В1 та перед ОНВ

Таблиця. 4.3.2. Розрахунок впливу $tw1$ на $M\Sigma$ при постійних $twm2$, $twn2$

	Результати		Вплив tw1							
Параметри			1		2		3		4	
$Q_{гв}$	кВт		199,93		199,93		199,93		199,93	
$Q_{м}$	кВт		99,96		99,96		99,96		99,96	
$Q_{гг}$	кВт		40		40		40		40	
$Q_{н}$	кВт		88,85172		88,85172		88,85172		88,85172	
$G_{н}$	кг/с		0,882		0,882		0,882		0,882	
$G_{м}$	кг/с		5,68		5,68		5,68		5,68	
$G_{гг}$	кг/с		4		4		4		4	
G_{ww}	кг/с		8,33		8,33		8,33		8,33	
$G_{гвд}$	кг/с		8,33		8,33		8,33		8,33	
G_{wn}	кг/с		0,558044		0,573126		0,589046		0,605876	
G_{wm}	кг/с		2,1688		2,1688		2,1688		2,1688	
$G_{ггг}$	кг/с		1,363791		1,363791		1,363791		1,363791	
G_{wb1}	кг/с		0,558044		0,573126		0,589046		0,605876	
G_{wb2}	кг/с		4,688732		4,688732		4,688732		4,688732	
G_{wp}	кг/с		1,156141		1,156141		1,156141		1,156141	
T_0	K	$^{\circ}C$	313	40	313	40	313	40	313	40
P_o	Па		100000		100000		100000		100000	
P_1	Па		230000		230000		230000		230000	
T_{ww1}	K	$^{\circ}C$	303	30	303	30	303	30	303	30
T_{ww2}	K	$^{\circ}C$	305,4105	32,41054	305,405	32,40501	305,3992	32,39921	305,3931	32,39311
T_{ww3}	K	$^{\circ}C$	315,74	42,74	315,74	42,74	315,74	42,74	315,74	42,74
$T_1(T_k)$	K	$^{\circ}C$	418,2377	145,2377	418,2377	145,2377	418,2377	145,2377	418,2377	145,2377
$T_2(T_s)$	K	$^{\circ}C$	318	45	318	45	318	45	318	45
$T_{гв1}$	K	$^{\circ}C$	372,2718	99,27179	372,2718	99,27179	372,2718	99,27179	372,2718	99,27179
$T_{гв2}$	K	$^{\circ}C$	378	105	378	105	378	105	378	105
T_{w1}			314	41	315	42	316	43	317	44
T_{w2}	K	$^{\circ}C$	331	58	331	58	331	58	331	58
T_{wn2}	K	$^{\circ}C$	352	79	352	79	352	79	352	79
T_{wm2}	K	$^{\circ}C$	346	73	346	73	346	73	346	73
$T_{гг2}$	K	$^{\circ}C$	346	73	346	73	346	73	346	73
T_{w3}	K	$^{\circ}C$	348,6943	75,69434	348,7038	75,70382	348,7138	75,71376	348,7242	75,72421
$T_{ггг}$	K	$^{\circ}C$	342,0306	69,03062	342,0672	69,06725	342,1056	69,10561	342,1458	69,14585
$T_{м1}$	K	$^{\circ}C$	363	90	363	90	363	90	363	90
$T_{м2}$	K	$^{\circ}C$	354,4918	81,49176	354,4918	81,49176	354,4918	81,49176	354,4918	81,49176
$T_{г1}$	K	$^{\circ}C$	363	90	363	90	363	90	363	90
$T_{г2}$	K	$^{\circ}C$	358,1812	85,18117	358,1812	85,18117	358,1812	85,18117	358,1812	85,18117

Продовження таблиці 4.3.2.

ОНВ										
схема			3	3	3	3	3	3	3	
Z			1	1	1	1	1	1	1	
b_{WT}			1	1	1	1	1	1	1	
b_{WF}			0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025
k_{gHB}	ВТ/кг·К		302,8304	203,0993	304,3377	203,0993	308,6606	203,0993	310,0336	203,0993
η_{HB}			0,961626	0,96285	0,970941	0,96285	0,980438	0,96285	0,990122	0,96285
Δp_{HB}	ММ.В.СТ.			153,1721		153,1721		153,1721		153,1721
Δp_{WHB}	кПа			32,55166		32,55166		32,55166		32,55166
S_{HB}			0,379099	0,330031	0,369123	0,330031	0,359146	0,330031	0,34917	0,330031
M_{HB}	кг		10,67324	11,79442	10,24389	11,73044	10,33929	11,03275	10,41102	10,98856
ВВО1										
схема			1	1	1	1	1	1	1	
b_w			42	40	38	37	37	37	37	
b_{ww}			1	1	1	1	1	1	1	
b_p			2	2	2	2	2	2	2	
k_D	ВТ/кг·К		0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	
η_{B1}			0,75927	0,73744	0,715622	0,693816	0,693816	0,693816	0,693816	
Δp_{WB}	кПа		35,31815	35,4035	35,45206	36,42645	36,42645	36,42645	36,42645	
Δp_{WWB}	кПа		12,9985	12,4295	11,86048	11,57626	11,57626	11,57626	11,57626	
S_B			0,069479	0,071357	0,073339	0,075435	0,075435	0,075435	0,075435	
k_D			0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	
w_w			0,591525	0,607741	0,62485	0,64293	0,64293	0,64293	0,64293	
M_{B1}	0,5580437		20,75329	20,75329	19,7611	19,7611	18,7689	18,7689	18,27281	18,27281
ВВО2										
схема			1	1	1	1	1	1	1	1
b_w			42	42	40	40	38	38	37	37
b_{ww}			1	1	1	1	1	1	1	1
b_p			2	2	2	2	2	2	2	2
k_D	ВТ/кг·К		165,8666	165,8666	167,9233	167,9233	170,793	170,793	169,7726	169,7726
η_{B2}			0,408798	0,75927	0,408875	0,73744	0,408956	0,715622	0,409041	0,693816
Δp_{WB}	кПа		34,78707	37,01886	34,78696	37,01886	34,78683	37,01886	34,78671	37,01886
Δp_{WWB}	кПа		22,21386	54,19129	22,21462	54,19129	22,21541	54,19129	22,21624	54,19129
S_{B2}			0,583772	0,069479	0,583772	0,071357	0,583772	0,073339	0,583772	0,075435
k_D			0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	
w_w			1,093788	1,09379	1,09379	1,09379	1,093792	1,093795	1,093795	
M_{B2}	0,5580437		63,82173	64,40363	63,82151	64,40363	63,82132	64,40363	63,82104	64,40363
МО										
схема			4	4	4	4	4	4	4	
b_m			12	12	12	12	12	12	12	
b_w			10	10	10	10	10	10	10	
b_p			4	4	4	4	4	4	4	
η_{MO}			0,34375	0,34375	0,34375	0,34375	0,34375	0,34375	0,34375	
Δp_m	кПа									
Δp_{wm}	кПа									
S_m			0,34375	0,34375	0,34375	0,34375	0,34375	0,34375	0,34375	
k_D			0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	
w_m			1,357079	1,357079	1,357079	1,357079	1,357079	1,357079	1,357079	
M_{MO}	кг		22,27109	23,65481	22,27109	23,65481	22,27109	23,65481	22,27109	23,65481

Продовження таблиці 4.3.2.(1)

Г										
схема			4	4	4	4	4	4	4	4
b_m			7	12	7	12	7	12	7	12
b_w			58	10	58	10	58	10	58	10
b_p			4	4	4	4	4	4	4	4
η_r			0,34375	0,343879	0,34375	0,343879	0,34375	0,343879	0,34375	0,343879
Δp_m	кПа			181,1356		181,1356		181,1356		181,1356
Δp_{wm}	кПа			54,60277		54,60277		54,60277		54,60277
S_r			0,688404	0,943091	0,688404	0,943091	0,688404	0,943091	0,688404	0,943091
k_D										
w_m										
M_r	кг		13,8298	14,31711	13,8298	14,31711	13,8298	14,31711	13,8298	14,31711
η_o			0,869834		0,869834		0,869834		0,869834	
M_Σ	кг		140,3492	142,3483	139,9274	141,2922	138,0304	139,6023	137,6058	139,062
Індикатор		Верно		Верно		Верно		Верно		

Таблиця. 4.3.3. Розрахунок впливу $twm2$ на M_Σ при постійних $tw1$, $twn2$

Результати			Вплив $twm1$							
Параметри			1	2	3	4				
$Q_{гв}$	кВт		199,93	199,93	199,93	199,93				
Q_m	кВт		99,96	99,96	99,96	99,96				
$Q_{гг}$	кВт		40	40	40	40				
Q_n	кВт		88,85172	88,85172	88,85172	88,85172				
G_n	кг/с		0,882	0,882	0,882	0,882				
G_m	кг/с		5,68	5,68	5,68	5,68				
$G_{гг}$	кг/с		4	4	4	4				
G_{ww}	кг/с		8,33	8,33	8,33	8,33				
$G_{гвд}$	кг/с		8,33	8,33	8,33	8,33				
G_{wn}	кг/с		0,605876	0,605876	0,605876	0,605876				
G_{wm}	кг/с		1,704057	1,590453	1,49105	1,403341				
$G_{ггг}$	кг/с		1,363791	1,363791	1,363791	1,363791				
G_{wb1}	кг/с		0,605876	0,605876	0,605876	0,605876				
G_{wb2}	кг/с		4,223989	4,110385	4,010982	3,923273				
G_{wn}	кг/с		1,156141	1,156141	1,156141	1,156141				
T_o	К	°C	313	40	313	40	313	40	313	40
P_o	Па		100000	100000	100000	100000				
P_1	Па		230000	230000	230000	230000				
T_{ww1}	К	°C	303	30	303	30	303	30	303	30
T_{ww2}	К	°C	305,5218	32,52176	305,5571	32,55706	305,5894	32,58938	305,6191	32,61907

Продовження таблиці 4.3.3.

T_{ww3}	К	°C	315,74	42,74	315,74	42,74	315,74	42,74	315,74	42,74
$T_1 (T_K)$	К	°C	418,2377	145,2377	418,2377	145,2377	418,2377	145,2377	418,2377	145,2377
$T_2 (T_S)$	К	°C	318	45	318	45	318	45	318	45
$T_{гw1}$	К	°C	372,2718	99,27179	372,2718	99,27179	372,2718	99,27179	372,2718	99,27179
$T_{гw2}$	К	°C	378	105	378	105	378	105	378	105
T_{w1}			317	44	317	44	317	44	317	44
T_{w2}	К	°C	331	58	331	58	331	58	331	58
T_{wh2}	К	°C	352	79	352	79	352	79	352	79
T_{wm2}	К	°C	345	72	346	73	347	74	348	75
T_{wg2}	К	°C	345	72	346	73	347	74	348	75
T_{w3}	К	°C	350,4297	77,42968	350,8977	77,89769	351,3261	78,3261	351,7197	78,71973
T_{wt}	К	°C	343,5559	70,55585	343,9565	70,95651	344,3287	71,32866	344,6753	71,67525
T_{m1}	К	°C	363	90	363	90	363	90	363	90
T_{m2}	К	°C	354,4888	81,48875	354,4874	81,48738	354,4858	81,48581	354,484	81,48402
$T_{г1}$	К	°C	363	90	363	90	363	90	363	90
$T_{г2}$	К	°C	358,1812	85,18117	358,1812	85,18117	358,1812	85,18117	358,1812	85,18117
ОНВ										
схема			3		3		3		3	
Z			1		1		1		1	
b_{wt}			1		1		1		1	
b_{wg}			0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025
$k_{g_{HB}}$	Вт/кг·К		310,0336	203,0993	310,0336	203,0993	310,0336	203,0993	310,0336	203,0993
η_{HB}			0,990122	0,96285	0,990122	0,96285	0,990122	0,96285	0,990122	0,96285
Δp_{HB}	мм.в.ст.			153,1721		153,1721		153,1721		153,1721
$\Delta p_{w_{HB}}$	кПа			32,55166		32,55166		32,55166		32,55166
S_{HB}			0,34917	0,330031	0,34917	0,330031	0,34917	0,330031	0,34917	0,330031
M_{HB}	кг		10,41102	10,98856	10,41102	10,98856	10,41102	10,98856	10,41102	10,98856
ВВО1										
схема			1		1		1		1	
b_w			38		38		39		39	
b_{ww}			1		1		1		1	
b_p			2		2		2		2	
k_D	Вт/кг·К		0,24		0,24		0,24		0,24	
η_{B1}			0,704826		0,70771		0,710301		0,712642	
Δp_{WB}	кПа		37,39039		37,38887		38,35663		38,3553	
Δp_{wwB}	кПа		11,84786		11,84423		12,12523		12,1221	
S_B			0,075435		0,075435		0,075435		0,075435	
k_D			0,24		0,24		0,24		0,24	
w_w			0,643112		0,643162		0,643207		0,643249	
M_{B1}	0,5580437		18,7689	18,7689	18,7689	18,7689	19,265	19,265	19,265	19,265

Продовження таблиці 4.3.3.(1)

ВВО2										
схема			1	1	1	1	1	1	1	1
b_w			38	38	38	38	39	39	39	39
b_{ww}			1	1	1	1	1	1	1	1
b_p			2	2	2	2	2	2	2	2
k_D	Вт/кг·К		170,5143	170,5143	171,9172	171,9172	168,7297	168,7297	169,8594	169,8594
η_{B2}			0,432656	0,704826	0,438849	0,70771	0,444415	0,710301	0,449445	0,712642
Δp_{WB}	кПа		40,82488	37,01886	35,37951	37,01886	37,08132	37,01886	52,67473	37,01886
Δp_{wwB}	кПа		12,60307	54,19129	33,25558	54,19129	12,59795	54,19129	14,34766	54,19129
S_{B2}			0,525909	0,075435	0,511765	0,075435	0,499388	0,075435	0,488468	0,075435
k_D			0,24		0,24		0,24		0,24	
w_w			1,113618		1,083769		1,057651		1,178128	
M_{B2}	0,5580437		67,27342	67,90751	61,12798	61,70871	67,2638	67,90751	64,03484	64,65139
МО										
схема			4		4		4		4	
b_m			14		13		13		15	
b_w			7		122		77		9	
b_p			4		4		4		4	
η_{MO}			0,4375		0,46875		0,5		0,53125	
Δp_m	кПа									
Δp_{wm}	кПа									
S_m			0,4375		0,46875		0,5		0,53125	
k_D			0,25		0,25		0,25		0,25	
w_m			1,357079		1,357079		1,357079		1,357079	
M_{MO}	кг		23,71886	23,65481	22,88335	23,65481	23,32958	24,65481	23,88106	24,65481
Г										
схема			4	4	4	4	4	4	4	4
b_m			7	14	7	13	7	13	7	15
b_w			58	7	58	122	58	77	58	9
b_p			4	4	4	4	4	4	4	4
$\eta_{Г}$			0,4375	0,343879	0,46875	0,343879	0,5	0,343879	0,53125	0,343879
Δp_m	кПа			181,1356		181,1356		181,1356		181,1356
Δp_{wm}	кПа			54,60277		54,60277		54,60277		54,60277
$S_{Г}$			0,688404	0,943091	0,688404	0,943091	0,688404	0,943091	0,688404	0,943091
k_D										
w_m										
$M_{Г}$	кг		13,8298	14,31711	13,8298	14,31711	14,8298	15,31711	14,8298	15,31711
η_o			0,869834		0,869834		0,869834		0,869834	
M_{Σ}	кг		140,002	145,1602	133,0211	137,9123	140,0992	144,6072	138,4217	143,4493
Індикатор		Верно		Верно		Верно		Верно		

Таблиця.4.3.4. Розрахунок впливу tw_{n2} на $M\Sigma$ при постійних tw_1 , tw_{m2} , tw_{g2}

Результати			Вплив tw_{m1}							
Параметри			1		2		3		4	
$Q_{гв}$	кВт		199,93		199,93		199,93		199,93	
Q_m	кВт		99,96		99,96		99,96		99,96	
$Q_{гг}$	кВт		40		40		40		40	
Q_n	кВт		88,85172		88,85172		88,85172		88,85172	
G_n	кг/с		0,882		0,882		0,882		0,882	
G_m	кг/с		5,68		5,68		5,68		5,68	
$G_{гг}$	кг/с		4		4		4		4	
G_{ww}	кг/с		8,33		8,33		8,33		8,33	
$G_{гвд}$	кг/с		8,33		8,33		8,33		8,33	
G_{wn}	кг/с		0,642596		0,623696		0,605876		0,589046	
G_{wm}	кг/с		2,1688		2,1688		2,1688		2,1688	
$G_{ггг}$	кг/с		1,363791		1,363791		1,363791		1,363791	
G_{wb1}	кг/с		0,642596		0,623696		0,605876		0,589046	
G_{wb2}	кг/с		4,688732		4,688732		4,688732		4,688732	
G_{wn}	кг/с		1,156141		1,156141		1,156141		1,156141	
T_o	К	°C	313	40	313	40	313	40	313	40
P_o	Па		100000		100000		100000		100000	
P_1	Па		230000		230000		230000		230000	
T_{ww1}	К	°C	303	30	303	30	303	30	303	30
T_{ww2}	К	°C	305,5207	32,52066	305,4552	32,45523	305,3931	32,39311	305,3341	32,33405
T_{ww3}	К	°C	315,74	42,74	315,74	42,74	315,74	42,74	315,74	42,74
$T_1 (T_k)$	К	°C	418,2377	145,2377	418,2377	145,2377	418,2377	145,2377	418,2377	145,2377
$T_2 (T_s)$	К	°C	318	45	318	45	318	45	318	45
$T_{гв1}$	К	°C	372,2718	99,27179	372,2718	99,27179	372,2718	99,27179	372,2718	99,27179
$T_{гв2}$	К	°C	378	105	378	105	378	105	378	105
T_{w1}			317	44	317	44	317	44	317	44
T_{w2}	К	°C	331	58	331	58	331	58	331	58
T_{wn2}	К	°C	350	77	351	78	352	79	353	80
T_{wm2}	К	°C	342	69	342	69	342	69	342	69
$T_{гг2}$	К	°C	342	69	342	69	342	69	342	69
T_{w3}	К	°C	348,5057	75,5057	348,6178	75,61779	348,7242	75,72421	348,8254	75,82537
$T_{ггг}$	К	°C	341,9247	68,9247	342,038	69,03804	342,1458	69,14585	342,2485	69,24853
T_{m1}	К	°C	363	90	363	90	363	90	363	90
T_{m2}	К	°C	354,4918	81,49176	354,4918	81,49176	354,4918	81,49176	354,4918	81,49176
$T_{г1}$	К	°C	363	90	363	90	363	90	363	90
$T_{г2}$	К	°C	358,1812	85,18117	358,1812	85,18117	358,1812	85,18117	358,1812	85,18117
ОНВ										
схема			3		3		3		3	
Z			1		1		1		1	
b_{гг}			1		1		1		1	
b_{ггг}			0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025

Продовження таблиці 4.3.4.

$k_{g_{HB}}$	Вт/кг·К		310,9973	203,0993	309,2254	203,0993	307,4539	203,0993	306,0609	203,0993
η_{HB}			0,990122	0,96285	0,990122	0,96285	0,990122	0,96285	0,990122	0,96285
Δp_{HB}	мм.в.ст.			153,1721		153,1721		153,1721		153,1721
$\Delta p_{w_{HB}}$	кПа			32,55166		32,55166		32,55166		32,55166
S_{HB}			0,329217	0,330031	0,339194	0,330031	0,34917	0,330031	0,359146	0,330031
M_{HB}	кг		10,58304	10,87441	10,5309	10,94689	11,71629	11,02266	11,13494	11,06693
ВВО1										
схема			1		1		1		1	
b_w			39		38		37		36	
b_{ww}			1		1		1		1	
b_p			2		2		2		2	
k_D	Вт/кг·К		0,24		0,24		0,24		0,24	
η_{B1}			0,692346		0,693102		0,693816		0,694492	
Δp_{wB}	кПа		42,94834		39,53194		36,42645		33,59677	
Δp_{wwB}	кПа		12,13248		11,85471		11,57626		11,29719	
S_B			0,080007		0,077653		0,075435		0,073339	
k_D			0,24		0,24		0,24		0,24	
w_w			0,681876		0,66183		0,64293		0,625079	
M_{B1}	0,5580437		19,265	19,265	18,7689	18,7689	18,27281	18,27281	17,77671	17,77671
ВВО2										
схема			1	1	1	1	1	1	1	1
b_w			39	39	38	38	37	37	36	36
b_{ww}			1	1	1	1	1	1	1	1
b_p			2	2	2	2	2	2	2	2
k_D	Вт/кг·К		170,4187	170,4187	169,9674	169,9674	169,7726	169,7726	169,8323	169,8323
η_{B2}			0,407251	0,692346	0,408173	0,693102	0,409041	0,693816	0,40986	0,694492
Δp_{wB}	кПа		34,78939	37,01886	34,78801	37,01886	34,78671	37,01886	36,8867	37,01886
Δp_{wwB}	кПа		22,19886	54,19129	22,20777	54,19129	22,21624	54,19129	23,25792	54,19129
S_{B2}			0,583772	0,080007	0,583772	0,077653	0,583772	0,075435	0,583772	0,073339
k_D			0,24		0,24		0,24		0,24	
w_w			1,093747		1,093772		1,093795		1,093817	
M_{B2}	0,5580437		63,82851	64,40363	63,82471	64,40363	63,821	64,40363	67,82756	68,45041
МО										
схема			4		4		4		4	
b_m			12		12		12		12	
b_w			10		10		10		10	
b_p			4		4		4		4	
η_{MO}			0,34375		0,34375		0,34375		0,34375	
Δp_m	кПа									
Δp_{wm}	кПа									
S_m			0,34375		0,34375		0,34375		0,34375	
k_D			0,25		0,25		0,25		0,25	
w_m			1,357079		1,357079		1,357079		1,357079	
M_{MO}	кг		22,27109	23,65481	22,27109	23,65481	22,27109	23,65481	22,27109	23,65481

Продовження таблиці 4.3.4.(1)

Г										
схема			4	4	4	4	4	4	4	4
b_m			7	12	7	12	7	12	7	12
b_w			58	10	58	10	58	10	58	10
b_p			4	4	4	4	4	4	4	4
η_Γ			0,34375	0,343879	0,34375	0,343879	0,34375	0,343879	0,34375	0,343879
Δp_m	кПа			181,1356		181,1356		181,1356		181,1356
Δp_{wm}	кПа			54,60277		54,60277		54,60277		54,60277
S_Γ			0,688404	0,943091	0,688404	0,943091	0,688404	0,943091	0,688404	0,943091
k_D										
w_m										
M_Γ	кг		13,8298	13,31711	13,8298	13,31711	13,8298	13,31711	13,8298	13,31711
η_o			0,869834		0,869834		0,869834		0,869834	
M_Σ	кг		141,7774	139,94	141,2254	139,5164	141,911	139,0961	144,8401	142,6911
Індикатор		Верно		Верно		Верно		Верно		

Відповідно до таблиць 4.3.2. — 4.3.4. побудовано графік залежностей рис. 12...13

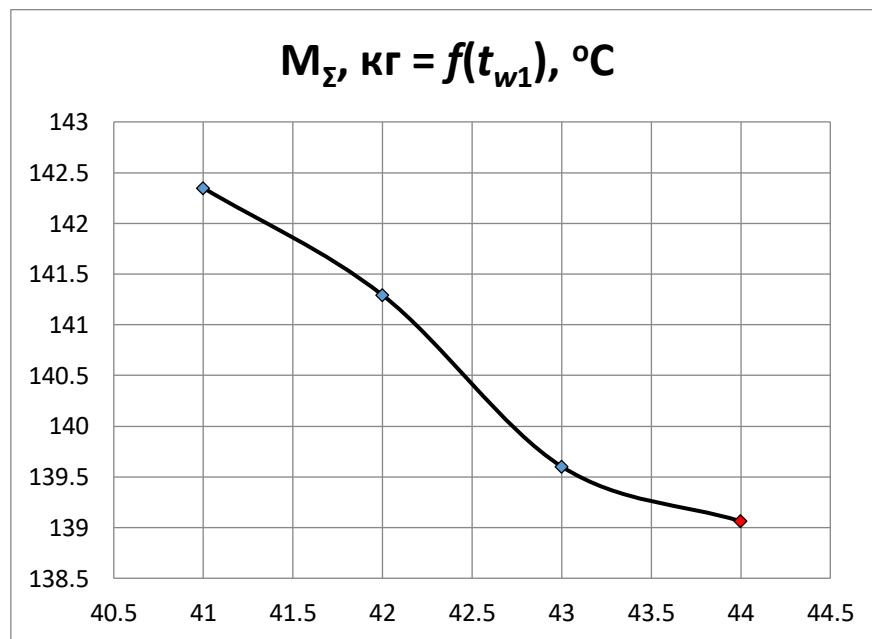


Рисунок 12. Залежність M_Σ від зміни температури t_{w1} при постійних значеннях інших температур: $t_{wm2} = 73^\circ\text{C}$, $t_{wn2} = 79^\circ\text{C}$

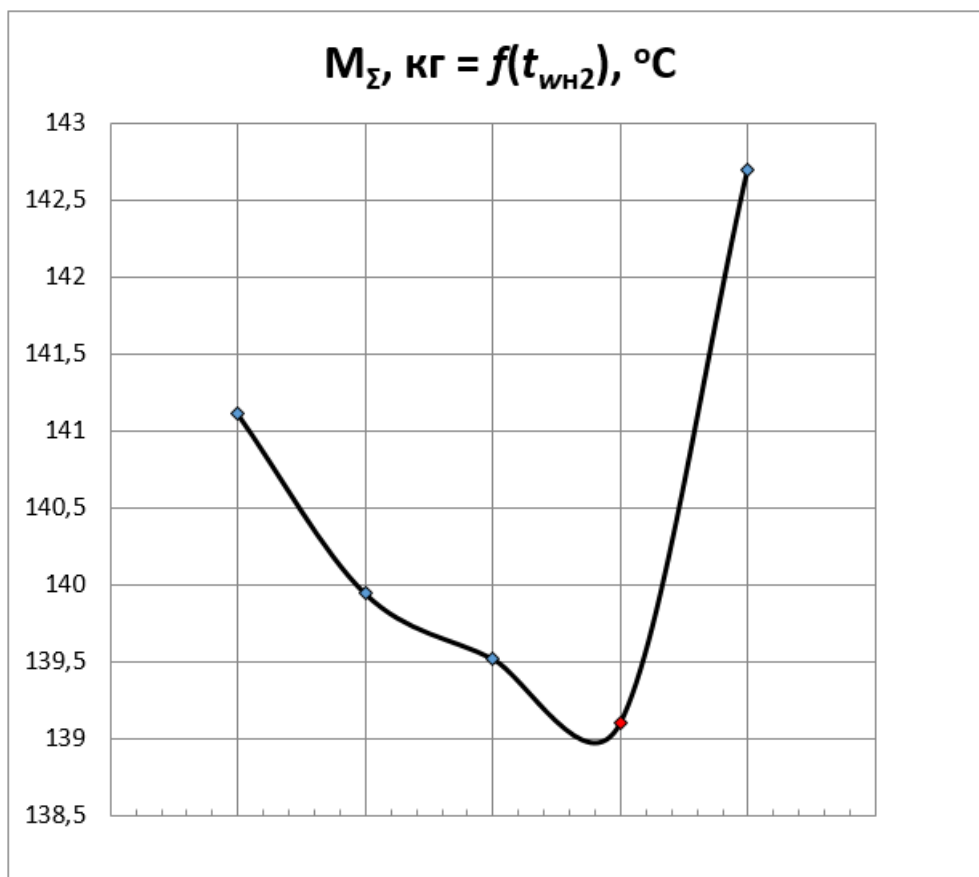


Рисунок 13. Залежність M_{Σ} від зміни температури t_{wn2} при постійних значеннях інших температур: $t_{wl} = 44^\circ\text{C}$, $t_{wm2} = 73^\circ\text{C}$

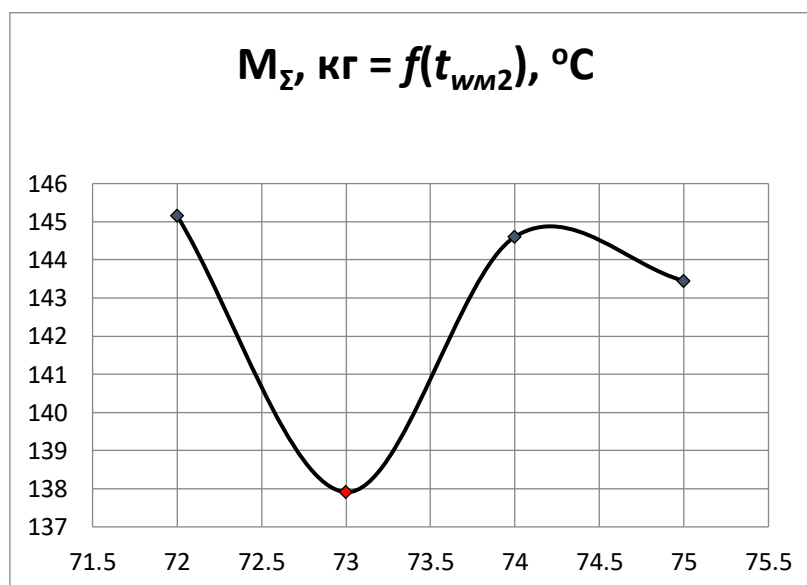


Рисунок 14. Залежність M_{Σ} від зміни температури t_{wm2} при постійних значеннях інших температур: $t_{wl} = 44^\circ\text{C}$, $t_{wn2} = 73^\circ\text{C}$

Відповідно до графіків вище було заповнено таблицю 4.1.5. згідно з цією таблицею, у точці оптимуму, сумарна маса серцевин системи 2В2НД складатиме близько 138 кг.

Таблиця 4.1.5. Оптимальні температури та сумарна маса

M_{Σ}	137,9	кг
T_{w1}	44	°C
T_{wm2}	73	°C
T_{wh2}	79	°C

4.5. Побудова залежностей мас серцевин кожного теплообмінника в системі 2В2НД

4.5.1 Побудова залежностей мас серцевин в ОНП від t_{w1} , t_{wm2} , t_{wh2}

$$M_{HB} = f(t_{w1})$$

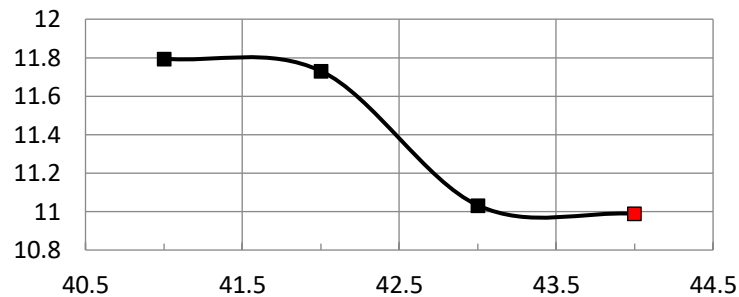


Рисунок 15. Залежність M_{HB} від зміни температури t_{w1} при постійних значеннях інших температур: $t_{wm2} = 73^{\circ}\text{C}$, $t_{wh2} = 79^{\circ}\text{C}$

$$M_{HB} = f(t_{wm2})$$

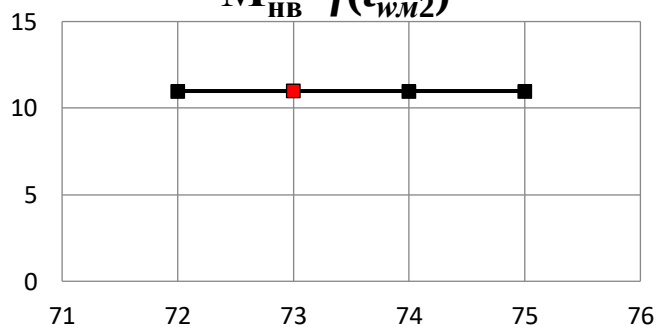


Рисунок 16. Залежність M_{HB} від зміни температури t_{wm2} при постійних значеннях інших температур: $t_{w1} = 44^{\circ}\text{C}$, $t_{wh2} = 79^{\circ}\text{C}$

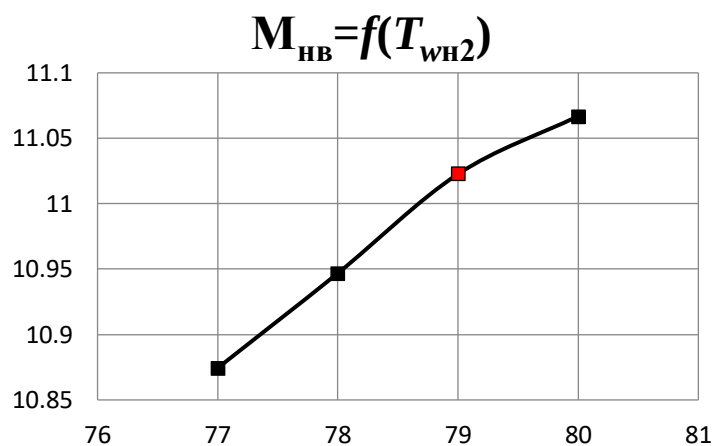


Рисунок 17. Залежність M_{HB} від зміни температури t_{WH2} при постійних значеннях інших температур: $t_{WI} = 44^{\circ}\text{C}$, $t_{WM2} = 73^{\circ}\text{C}$

4.5.2. Побудова залежностей мас серцевин в ВВО1 від t_{W1} , t_{WM2} , t_{WH2}

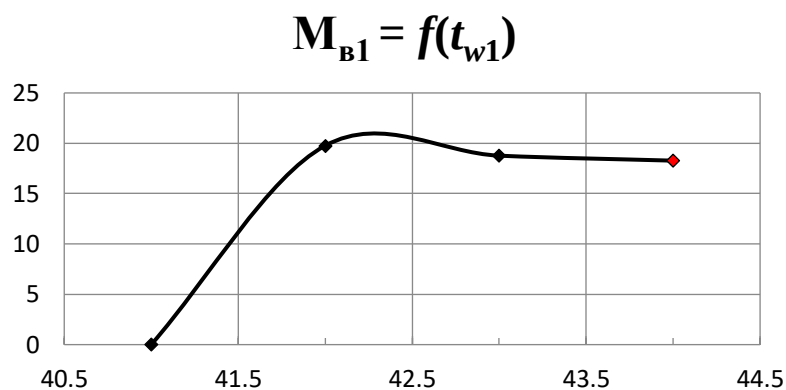


Рисунок 18. Залежність M_{B1} від зміни температури t_{W1} при постійних значеннях інших температур: $t_{WM2} = 73^{\circ}\text{C}$, $t_{WH2} = 79^{\circ}\text{C}$

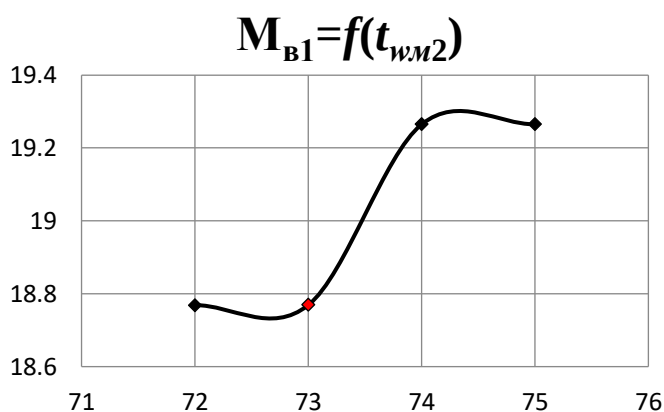


Рисунок 19. Залежність M_{B1} від зміни температури t_{WM2} при постійних значеннях інших температур: $t_{WI} = 44^{\circ}\text{C}$, $t_{WH2} = 79^{\circ}\text{C}$

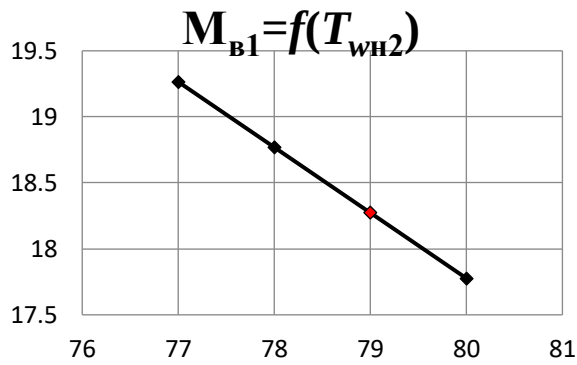


Рисунок 20. Залежність M_{B1} від зміни температури t_{WH2} при постійних значеннях інших температур: $t_{W1} = 44^{\circ}\text{C}$, $t_{WM2} = 73^{\circ}\text{C}$

4.5.3. Побудова залежностей мас серцевин в ВВО2 від t_{W1} , t_{WM2} , t_{WH2}

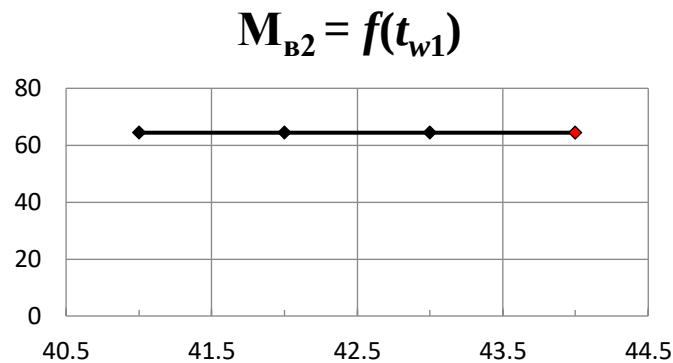


Рисунок 21. Залежність M_{B2} від зміни температури t_{W1} при постійних значеннях інших температур: $t_{WM2} = 73^{\circ}\text{C}$, $t_{WH2} = 79^{\circ}\text{C}$

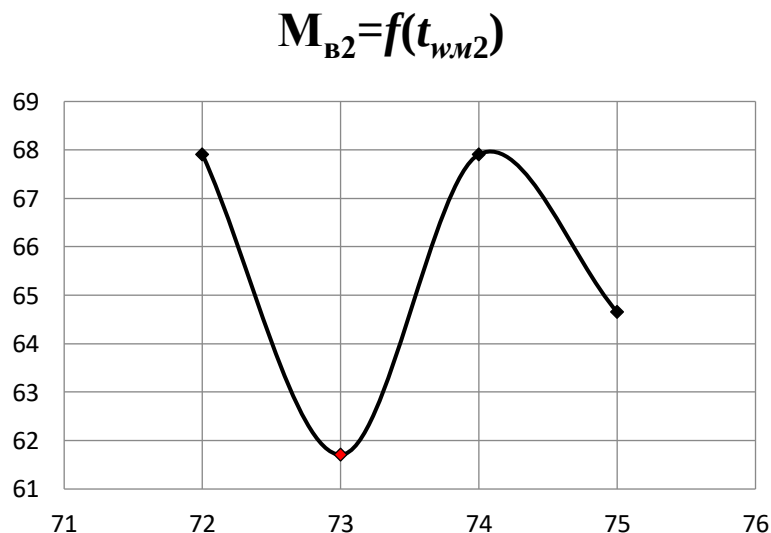


Рисунок 22. Залежність M_{B2} від зміни температури t_{WM2} при постійних значеннях інших температур: $t_{W1} = 44^{\circ}\text{C}$, $t_{WH2} = 79^{\circ}\text{C}$

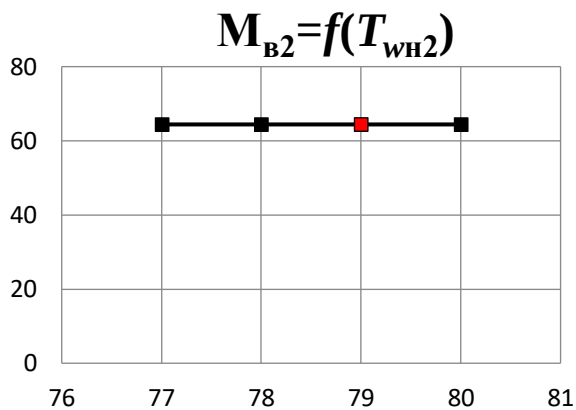


Рисунок 23. Залежність M_{B2} від зміни температури t_{wh2} при постійних значеннях інших температур: $t_{wl}=44^{\circ}\text{C}$, $t_{wm2}=73^{\circ}\text{C}$

4.5.4. Побудова залежностей мас серцевин в МО від t_{w1} , t_{wm2} , t_{wh2}

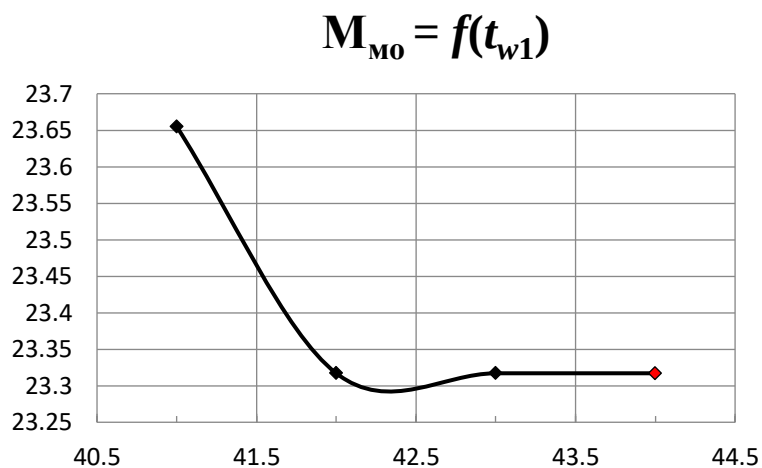


Рисунок 24. Залежність M_{mo} від зміни температури t_{w1} при постійних значеннях інших температур: $t_{wm2}=73^{\circ}\text{C}$, $t_{wh2}=79^{\circ}\text{C}$

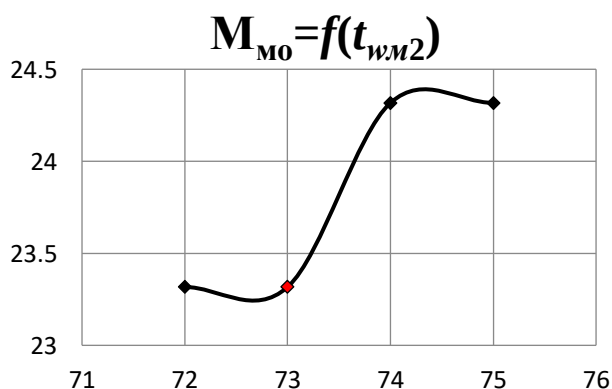


Рисунок 25. Залежність M_{mo} від зміни температури t_{wm2} при постійних значеннях інших температур: $t_{wl}=44^{\circ}\text{C}$, $t_{wh2}=79^{\circ}\text{C}$

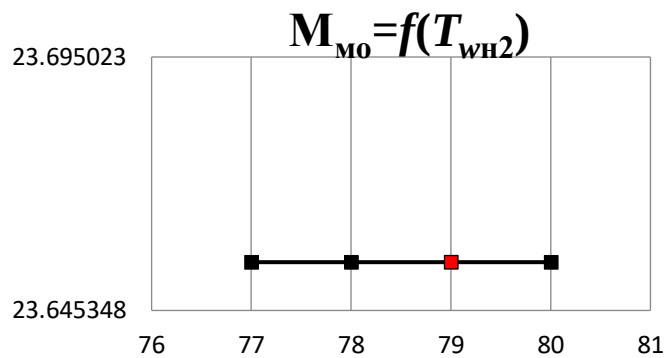


Рисунок 26. Залежність M_{m0} від зміни температури t_{wn2} при постійних значеннях інших температур: $t_{wl} = 44^{\circ}\text{C}$, $t_{wm2} = 73^{\circ}\text{C}$

4.6. Побудова графіків витрат ТВК через кожний теплообмінник в системі 2В2НД

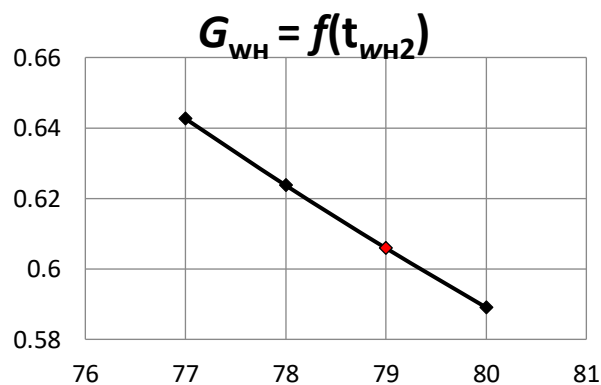


Рисунок 27. Залежність G_{wn} від зміни температури t_{wn2} при постійних значеннях інших температур: $t_{wl} = 44^{\circ}\text{C}$, $t_{wm2} = 73^{\circ}\text{C}$

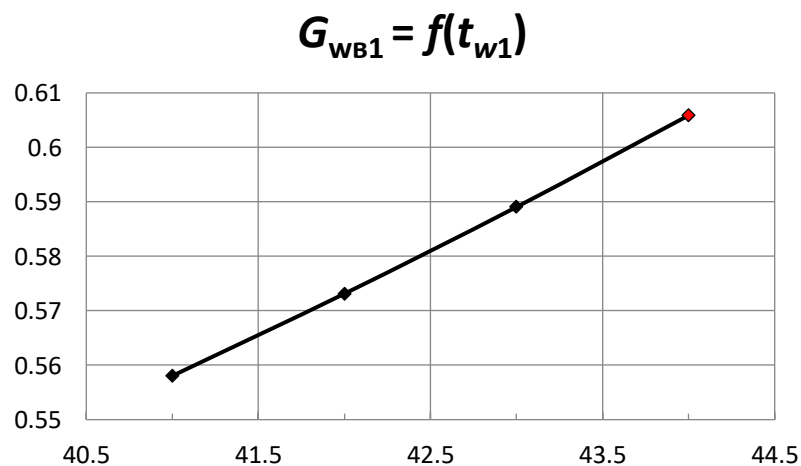


Рисунок 28. Залежність G_{wb1} від зміни температури t_{w1} при постійних значеннях інших температур: $t_{wm2} = 73^{\circ}\text{C}$, $t_{wn2} = 79^{\circ}\text{C}$

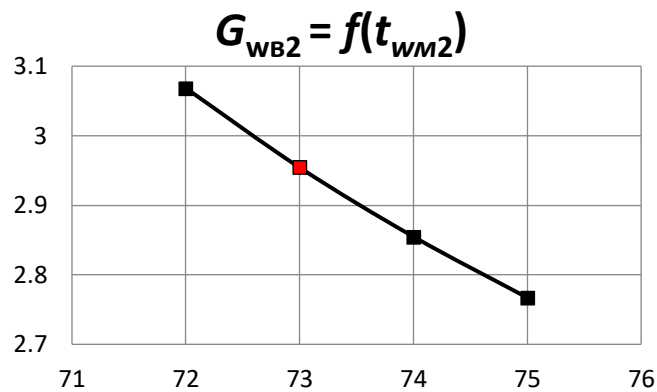


Рисунок 29. Залежність G_{WB2} від зміни температури t_{WM2} при постійних значеннях інших температур: $t_{wI} = 44^{\circ}\text{C}$, $t_{wH2} = 79^{\circ}\text{C}$

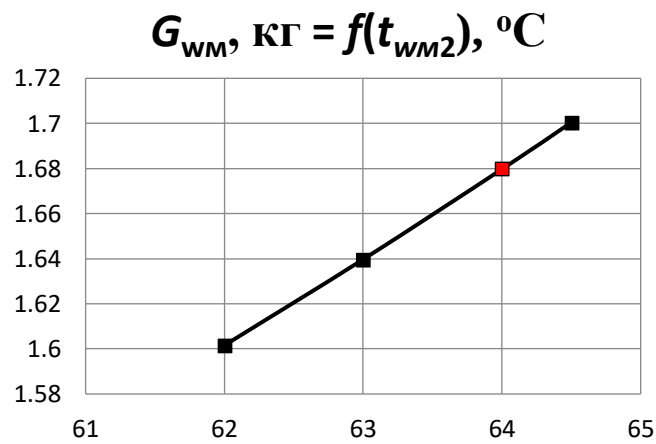


Рисунок 30. Залежність G_{WM} від зміни температури t_{WM2} при постійних значеннях інших температур: $t_{wI} = 44^{\circ}\text{C}$, $t_{wH2} = 79^{\circ}\text{C}$

4.7. Аналіз графіків системи типу 2В2НД

По завершенню розрахунків було отримано достатню кількість даних для проведення аналізу систем, встановлено що найменшої маси теплообмінників можливо досягти в системі типу 2В2НД.

На рисунках 31...33 відображена динаміка змін мас серцевин теплообмінників системи через зміну розходів ТВК через всі теплообмінники. Є залежність розходів ТВК від температур ТВК на виході з теплообмінників, по цій причині графіки вище, побудовані в залежності від температур. Як видно з цих графіків найменша M_{Σ} приблизно однакова на всіх графіках.

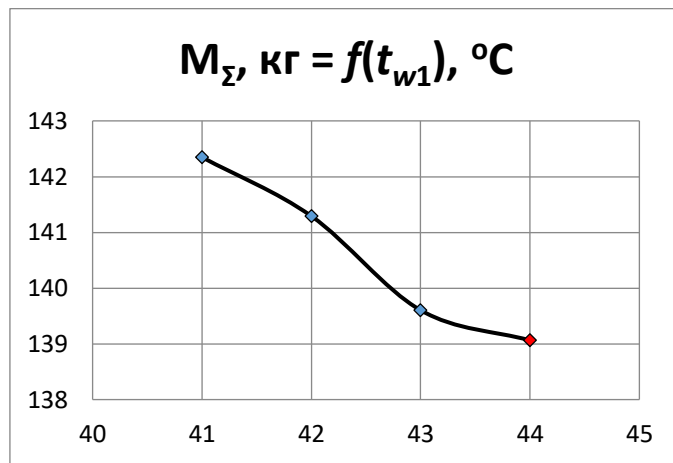


Рисунок 31. Залежність M_{Σ} від зміни температури t_{w1} при постійних значеннях інших температур: $t_{wm2} = 73^\circ\text{C}$, $t_{wh2} = 79^\circ\text{C}$

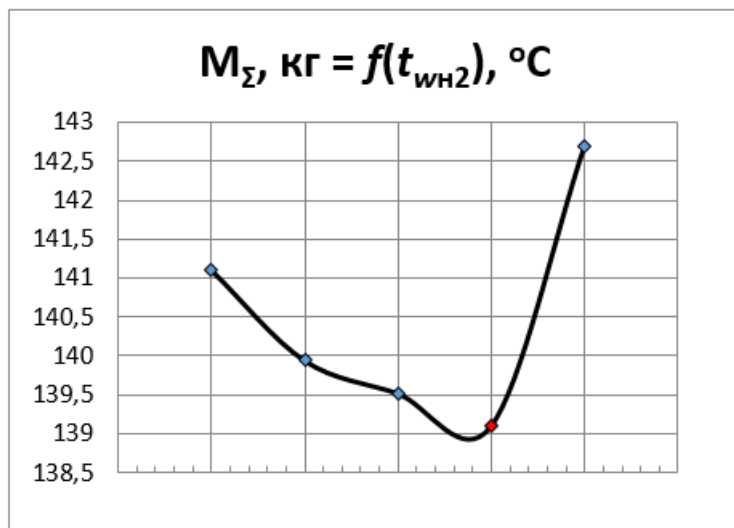


Рисунок 32. Залежність M_{Σ} від зміни температури t_{wh2} при постійних значеннях інших температур: $t_{w1} = 44^\circ\text{C}$, $t_{wm2} = 73^\circ\text{C}$

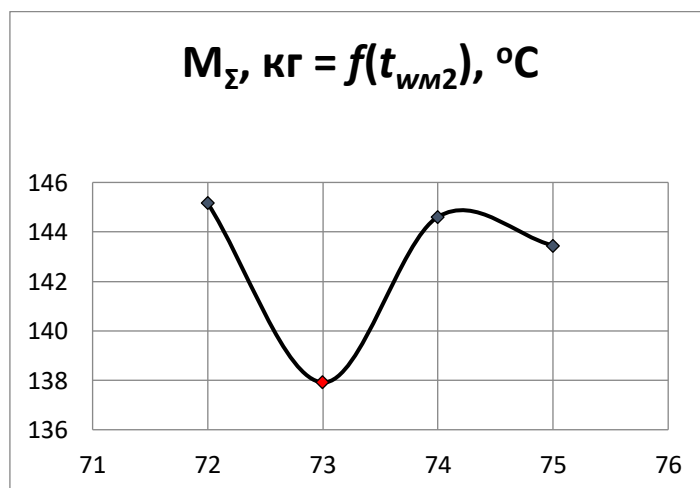


Рисунок 33. Залежність M_{Σ} від зміни температури t_{wm2} при постійних значеннях інших температур: $t_{w1} = 44^\circ\text{C}$, $t_{wh2} = 79^\circ\text{C}$

Таблиця 4.5.1. Оптимальні температури та найменша сумарна маса серцевин теплообмінників

M_{Σ}	137,9	кг
T_{w1}	44	°C
T_{wm2}	73	°C
T_{wh2}	79	°C

На підставі вище вказаних графіків (рис. 31 ... 33) можна встановити, що мінімальна сумарна маса серцевин для системи 2В2НД складає приблизно 138 кг.

Оптимальні температури за теплообмінниками такі: $t_{w1} = 44^{\circ}\text{C}$, $t_{wm2} = 73^{\circ}\text{C}$, $t_{wh2} = 79^{\circ}\text{C}$.

Відповідно до графіків вище, встановлено що оптимальні розходи ТВК для теплообмінників становлять: $G_{wh} = 0,605 \text{ кг/с}$; $G_{wb1} = 0,605 \text{ кг/с}$; $G_{wb2} = 3,532 \text{ кг/с}$; $G_{wm} = 2,168 \text{ кг/с}$.

Під час проектування системи 2В2НД всі теплообмінники мають бути спроектовані відповідно встановленим параметрам.

Розділ 5. Розрахунок теплообмінників апаратів.

Згідно із завданням кафедри, оптимальна система має бути оснащена відповідними теплообмінниками. Ці теплообмінники повинні бути розраховані на параметри (витрати теплоносіїв і їх температури), які забезпечують мінімальну сумарну вагу серцевин системи. Ці параметри відповідають точці оптимуму для системи типу 2В2НД. У складі цієї системи передбачено п'ять типів теплообмінників: ВВО1, ВВО2, МО, ОНВ та Г. Розрахунок кожного теплообмінника виконується за допомогою спеціалізованого розрахункового комплексу. Хоча проводиться багато розрахунків, для реалізації у проекті використовуються лише ті, що відповідають зазначеним параметрам.

Кожен теплообмінник має унікальну конструкцію, яка повинна бути адаптована для інтеграції в систему.

Для розрахунку параметрів теплообмінників виконується спеціалізований аналіз у точці оптимуму системи. На основі цього аналізу визначаються відповідні характеристики для кожного теплообмінника.

Отримані параметри служать основою для створення конструктивних даних, які використовуються для комплектування найефективнішої системи охолодження.

5.1. Розрахунок теплообмінників системи 2В2НД

5.1.1. Розрахунок теплообмінника ОНП

Охолоджувач наддувного повітря (ОНП) призначений для зниження температури повітря, яке подається до двигуна після стискання в турбонагнітачі. Цей тип теплообмінника може бути виконаний як повітряно-повітряний або повітроводяний. Конструктивно реалізується у вигляді кожухотрубних або кожухокоробчастих теплообмінників із оребреними трубами або пластинчастими пакетами.

У таблиці 5.1.1. наведено початкові дані для розрахунку теплообмінника. Ці дані були отримані за допомогою розрахункового комплексу, який використовується для аналізу системи типу 2В2НД. Представлені параметри відповідають умовам точки оптимуму.

					КРМ.142.6221м.02.05.ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата		64

Таблиця 5.1.1. Вхідні дані

1	G_w	кг/с		0,882	Расход воздуха
2	G_w	кг/с		0,605876016	Расход воды
3	$t_{в1}$	С		145,2	Температура воздуха на входе
4	$T_{в1}$	К		418,2	
5	$t_{в2}$	С		45,0	Температура воздуха на выходе
6	$T_{в2}$	К		318	
7	t_{w1}	С		39	Температура воды на входе
8	T_{w1}	К		312	
9	P_1	Па		294000	Давление воздуха на входе
10	ΔP	мм.в.ст		420	Воздушное сопротивление ОНВ
11	ΔP	Па	$\Delta P, \text{мм.в.ст} * 9,8$	4116	
12	w_w	м/с		0,7	Скорость воды в трубах

Таблиця.5.1.2. Результати розрахунку ОНП

Пара-метр	Од. Виміру	Спосіб визначення	Результат
G_w	кг/с		0,882
G_w	кг/с		0,606
$T_{в1}$	К		418,238
$T_{в2}$	К		318,0
$t_{в1}$	°С		145,238
$t_{в2}$	°С		44,975
T_{w1}	К		312,000
T_{w2}	К		347,009
t_{w1}	°С		39,000
t_{w2}	°С		74,009
P_1	Па		294000,000
R_z	м ² ·К/Вт		0,0000
$L_{п}$	м		0,4600
$B_{п}$	м		0,260
$H_{п}$	м		0,14483
b_{wT}			20,000
b_{wT}			1,000
d_w	м		0,0025
S_1	м		0,0100
S_2	м		0,0230
S_3	м		0,017
S_4	м		0,002
$\delta_{ст}$	м		0,00025
$\delta_{пл}$	м		0,00008
h_r	м		0,003
e	м		0,0040
S	м		0,0230
Z_2', r	шт		2,000
Z_r	шт		19,000
Z_1	шт		26,000
Z_2	шт		20,000
Z	шт		520,000
Схема		1-Поток воздуха перемешивается, поток воды не перемешивается; 2-Поток воздуха не перемешивается, поток воды перемешивается; 3-Оба потока не перемешиваются.	3,000
F	м ²		20,040
$M_{п}$	кг		11,067
T_{wf}	К		329,504
T_{wf}	К		354,646
w_w	м/с		0,725
Re_w			5050,729
Re			3849,275
ΔP	Па		4164,275
ΔP	мм.в.ст		424,926
ΔP_w	кПа		15,059
k	Вт/(м ² К)		171,316
Kg	Вт/кгК		289,775
K_v	Вт/м ² К		198202,905
ρ			1,2967
η			0,9438
Індикатор			Вірно

5.1.2 Розрахунок теплообмінника МО

У таблиці 5.1.3 наведено початкові дані для розрахунку теплообмінника. Ці дані отримані за допомогою розрахункового комплексу, який використовується для аналізу системи типу 2В2НД. Подані значення відповідають параметрам точки оптимуму.

Таблиця 5.1.3. Вхідні данні

G_m	кг/с	Задаю	5,68	Расход масла
t_{m1}	°C	Задаю	90	Температура масла на входе
T_{m1}	К		363	Температура масла на входе
p_{m1}	кПа	Задаю	450	Давление масла на входе
t_{m2}	°C	Задаю	81,5	Температура масла за охладителем
T_{m2}	К		354,5	Температура масла за охладителем
w_m	м/с	Принято	1,8	Средняя скорость масла в сжатом сечении пучка
G_{ww}	кг/с	Задаю	1,59	Расход воды
t_{w1}	°C	Задаю	58,00	Температура воды на входе
T_{w1}	К		331,00	Температура воды на входе
P_w	кПа	Задаю	180	Давление воды на входе
w_w	м/с	Принято	1,12	Скорость воды в трубах

Таблиця.5.1.4. Результати розрахунку теплообмінника МО

G_m	кг/с	Расход масла	5,68
t_{m1}	°C	Температура масла на входе	90,0
p_{m1}	кПа	Давление масла на входе	450,0
t_{m2}	°C	Температура масла за охладителем	81,49
η		КПД МО	0,469
w_m	м/с	Средняя скорость масла между трубками	1,46
$w_{m\text{под}}$	м/с	Скорость масла в подводящем патрубке	1,73
$w_{m\text{от}}$	м/с	Скорость масла в отводящем патрубке	1,73
ΔP_m	кПа	Сопротивление по маслу	152,22
G_{ww}	кг/с	Расход заборной воды	1,59
t_{ww1}	°C	Температура заборной воды на входе	58,0
t_{ww2}	°C	Температура заборной воды на выходе	73,0
P_{ww}	кПа	Давление заборной воды на входе	180,0
w_{ww}	м/с	Скорость заборной воды в трубах	1,12
$w_{ww\text{под}}$	м/с	Скорость заборной воды в подводящем патрубке	1,47
$w_{ww\text{от}}$	м/с	Скорость заборной воды в отводящем патрубке	1,47
ΔP_{ww}	кПа	Сопротивление по заборной воде	54,4
R_Σ	м ² ·К/Вт	Общее термическое сопротивление загрязнённой ПТ	0,000373
k_g	Вт/(кг·К)	Коэффициент использования массы пучка труб	356,35
Q	Вт	Количество теплоты, переданной в МО	99960,00
b_m		Число ходов масла	14
bw		Число ходов теплообменника по заборной воде	8
b		Число противоточных реверсивных элементов	4

Продовження таблиці 5.1.4.

d_0	м	Несущий диаметр трубки	0,0050
d_w	м	Внутренний диаметр трубки	0,0045
S_1	м	Шаг между трубками, перпендикулярный движению воды	0,0075
S_2	м	Шаг между трубками по глубине.	0,0065
$S_{\text{ц}}$	м	Отстояние центрального ряда от осевой линии	0,0033
$S_{\text{п}}$	м	Расстояние между рядами труб	0,0015
δ_d	м	Зазор между трубкой и диафрагмой на сторону	0,000100
$h_{\text{со}}$		Относительная высота выреза диафрагмы на диаметре D_0	0,139
k_D		Относительная величина расстояния между диафрагмами	0,190
S_d	м	Толщина диафрагмы	0,001
Z_d		Максимальное число труб в поперечном ряду	32
Z_{cv}		Возможное число труб в вырезе сегмента	0
Z_2		Число поперечных рядов труб в отсеке	26
$Z_{\text{мах}}$		Общее число труб в пучке	732
Z		Число труб в пучке между вырезами диафрагм	732
$Z_{\text{дф}}$		Общее число диафрагм	13
$\Phi_{\text{во,град}}$		Центральный угол сегментного выреза на диаметре D_0	87,68
$\Phi_{\text{от,град}}$		Центральный угол сегментного выреза на диаметре D_t	96,00
$H_{\text{со}}$	м	Высота сегментного выреза на диаметре D_0	0,033
$H_{\text{от}}$	м	Высота сегментного выреза на диаметре D_t	0,042
D_0	м	Диаметр окружности, описанной вокруг пучка	0,23776
$L_{\text{п}}$	м	Глубина одного отсека по ходу масла	0,169
L_1	м	Расстояние между диафрагмами	0,045
L_2	м	Длина трубок в подводном отсеке	0,054
L_3	м	Длина трубок в отводном отсеке	0,059
$L_{\text{т}}$	м	Длина трубок теплообменника с учётом затенения части длины диафрагмами	0,668
$D_{\text{т}}$	м	Внутренний диаметр кожуха	0,256
$D_{\text{подм}}$	мм	Внутренний диаметр подводящего патрубка масла	69,558
$D_{\text{отм}}$	мм	Внутренний диаметр отводящего патрубка масла	69,338
$D_{\text{подв}}$	мм	Внутренний диаметр подводящего патрубка воды	37,559
$D_{\text{отв}}$	мм	Внутренний диаметр отводящего патрубка воды	37,559
$M_{\text{п}}$	кг	Масса пучка труб	17,776
F	м ²	Полная площадь поверхности теплообмена	7,68

5.1.3. Розрахунок охолоджувача гідравлічної рідини.

Охолоджувач гідравлічної рідини (Г) призначений для зниження температури гідравлічних рідин у системах. Як робочу рідину зазвичай використовують звичайне або спеціальне масло. У цьому проєкті передбачається використання звичайного масла, аналогічного до того, що застосовується для змащення двигуна.

У таблиці 5.1.5 наведено початкові дані для розрахунку теплообмінника. Ці дані отримані з розрахункового комплексу, що використовується для аналізу системи типу 2В2НД, і відповідають параметрам точки оптимуму.

Таблиця 5.1.5. Вхідні дані

G_m	кг/с	Задано	4
t_{m1}	°C	Задано	90
T_{m1}	К		363
p_{m1}	кПа	Задано	450
t_{m2}	°C	Задано	85,2
T_{m2}	К		358,2
w_m	м/с	Принято	1,8
G_{ww}	кг/с	Задано	1,36
t_{w1}	°C	Задано	58,00
T_{w1}	К		331,00
P_w	кПа	Задано	180
w_w	м/с	Принято	1,07

Приравнять w

Таблиця 5.1.6. Результати розрахунку

G_m	кг/с	Расход масла	4,00
t_{m1}	°C	Температура масла на входе	90,0
p_{m1}	кПа	Давление масла на входе	450,0
t_{m2}	°C	Температура масла за охладителем	85,18
η		КПД МО	0,219
w_m	м/с	Средняя скорость масла между трубками	1,56
$w_{m\text{под}}$	м/с	Скорость масла в подводящем патрубке	1,00
$w_{m\text{от}}$	м/с	Скорость масла в отводящем патрубке	1,00
ΔP_m	кПа	Сопротивление по маслу	84,91
G_{ww}	кг/с	Расход заборной воды	1,36
t_{ww1}	°C	Температура заборной воды на входе	58,0
t_{ww2}	°C	Температура заборной воды на выходе	65,0
P_{ww}	кПа	Давление заборной воды на входе	180,0
w_{ww}	м/с	Скорость заборной воды в трубках	1,07
$w_{ww\text{под}}$	м/с	Скорость заборной воды в подводящем патрубке	1,00
$w_{ww\text{от}}$	м/с	Скорость заборной воды в отводящем патрубке	1,00
ΔP_{ww}	кПа	Сопротивление по заборной воде	22,3
R_Σ	м ² ·К/Вт	Общее термическое сопротивление загрязнённой ПТ	0,000373
k_g	Вт/(кг·К)	Коэффициент использования массы пучка труб	366,77
Q	Вт	Количество теплоты, переданной в МО	40000,00
b_m		Число ходов масла	8
bw		Число ходов теплообменника по заборной воде	6
b		Число противоточных реверсивных элементов	2

Продовження таблиці 5.1.6.

d_0	м	Несущий диаметр трубки	0,0050
d_w	м	Внутренний диаметр трубки	0,0045
S_1	м	Шаг между трубками, перпендикулярный движению воды	0,0075
S_2	м	Шаг между трубками по глубине.	0,0065
$S_{ц}$	м	Отстояние центрального ряда от осевой линии	0,0033
$S_{п}$	м	Расстояние между рядами труб	0,0015
δ_d	м	Зазор между трубкой и диафрагмой на сторону	0,000100
h_{co}		Относительная высота выреза диафрагмы на диаметре D_o	0,123
k_D		Относительная величина расстояния между диафрагмами	0,190
S_d	м	Толщина диафрагмы	0,001
Z_d		Максимальное число труб в поперечном ряду	26
Z_{cv}		Возможное число труб в вырезе сегмента	0
Z_2		Число поперечных рядов труб в отсеке	22
Z_{max}		Общее число труб в пучке	494
Z		Число труб в пучке между вырезами диафрагм	494
Z_{df}		Общее число диафрагм	7
$\Phi_{ao, град}$		Центральный угол сегментного выреза на диаметре D_o	81,97
$\Phi_{at, град}$		Центральный угол сегментного выреза на диаметре D_t	91,11
H_{co}	м	Высота сегментного выреза на диаметре D_o	0,024
H_{ct}	м	Высота сегментного выреза на диаметре D_t	0,031
D_o	м	Диаметр окружности, описанной вокруг пучка	0,19275
L_p	м	Глубина одного отсека по ходу масла	0,143
L_1	м	Расстояние между диафрагмами	0,037
L_2	м	Длина трубок в подводном отсеке	0,044
L_3	м	Длина трубок в отводном отсеке	0,048
L_T	м	Длина трубок теплообменника с учётом затенения части длины диафрагмами	0,318
D_T	м	Внутренний диаметр кожуха	0,208
$D_{подм}$	мм	Внутренний диаметр подводящего патрубка масла	76,776
$D_{отм}$	мм	Внутренний диаметр отводящего патрубка масла	76,638
$D_{подв}$	мм	Внутренний диаметр подводящего патрубка воды	42,184
$D_{отв}$	мм	Внутренний диаметр отводящего патрубка воды	42,184
$M_{п}$	кг	Масса пучка труб	13,32
F	м ²	Полная площадь поверхности теплообмена	2,47

5.1.4. Розрахунок ВВО1

У таблиці 5.1.7 наведено початкові дані для розрахунку теплообмінника. Ці дані були отримані за допомогою розрахункового комплексу, який використовується для аналізу системи типу 2В2НД, і відповідають параметрам точки оптимуму.

Таблиця 5.1.7. Вхідні дані

П	%	10-30%	10
G_w	кг/с	Задано	0,61
t_{w1}	$^{\circ}C$	Задано	77,9
p_{w1}	кПа	Задано	200
t_{w2}	$^{\circ}C$	Задано	44
w_{w1}	м/с	Принято	0,700
G_{ww}	кг/с	Задано	8,33
t_{ww1}	$^{\circ}C$	Задано	30,00
p_{ww}	кПа	Задано	200
w_{ww}	м/с	Принято	2,197

Таблица 5.1.8. Результаты розрахунку

G_w	кг/с	Расход пресной воды	0,61
t_{w1}	°C	Температура пресной воды на входе	77,9
p_{w1}	кПа	Давление пресной воды на входе	200,0
t_{w2}	°C	Температура пресной воды за охладителем	44,00
η		КПД ВВО	0,708
w_w	м/с	Средняя скорость пресной воды между трубками	0,64
$w_{w\text{под}}$	м/с	Скорость пресной воды в подводящем патрубке	1,00
$w_{w\text{от}}$	м/с	Скорость пресной воды в отводящем патрубке	1,00
ΔP_w	кПа	Сопротивление по пресной воде	37,39
G_{ww}	кг/с	Расход заборной воды	8,33
t_{ww1}	°C	Температура заборной воды на входе	30,0
t_{ww2}	°C		32,6
p_{ww}	кПа	Давление заборной воды на входе	200,0
w_{ww}	м/с	Скорость заборной воды в трубках	2,197
$w_{ww\text{под}}$	м/с	Скорость заборной воды в подводящем патрубке	1,000
$w_{ww\text{от}}$	м/с	Скорость заборной воды в отводящем патрубке	1,000
Π	%	Соленость заборной воды	10
ΔP_{ww}	кПа	Сопротивление по заборной воде	11,8
R_{Σ}	м ² ·К/Вт		0,0004
k_g	Вт/кгК	Коэффициент использования массы пучка труб	171,92
Q	Вт	Количество теплоты, переданной в ВВО	86053,38
Схема		Схема взаимного течения теплоносителей	1
bw		Число ходов пресной воды	38
bww		Число ходов теплообменника по заборной воде	1
bp		Число противоточных реверсивных элементов	2

d_o	м	Несущий диаметр трубки	0,0120
d_w	м	Внутренний диаметр трубки	0,0100
S_1	м	Шаг между трубками, перпендикулярный движению воды	0,0160
S_2	м	Шаг между трубками по глубине.	0,0139
S_{Π}	м	Отстояние центрального ряда от осевой линии	0,0069
S_{Π}	м	Расстояние между рядами труб	0,0019
δ_d	м	Зазор между трубкой и диафрагмой на сторону	0,0001
h_{co}		Относительная высота выреза диафрагмы на диаметре D_o	0,047
k_D		Относительная величина расстояния между диафрагмами	0,240
S_d	м	Толщина диафрагмы	0,006
Z_d		Максимальное число труб в поперечном ряду	8
Z_{cv}		Возможное число труб в вырезе сегмента	0
Да/Нет		Наличие труб в вырезе	нет
Z_2		Число поперечных рядов труб в отсеке	8
$Z_{дейст}$		Общее число труб в пучке	48
Z		Число труб в пучке между вырезами диафрагм	48
$\Phi_{\text{оо,град}}$		Центральный угол сегментного выреза на диаметре D_o	50,35
$\Phi_{\text{от,град}}$		Центральный угол сегментного выреза на диаметре D_t	52,71
H_{co}	м	Высота сегментного выреза на диаметре D_o	0,006
$H_{от}$	м	Высота сегментного выреза на диаметре D_t	0,007
D_o	м	Диаметр окружности, описанной вокруг пучка	0,125
L_{Π}	м	Глубина одного отсека по ходу воды	0,111
$Z_{\text{дф}}$		Общее число диафрагм	37
L_1	м	Расстояние между диафрагмами	0,030
L_2	м	Длина трубок в подводном отсеке	0,030
L_3	м	Длина трубок в отводном отсеке	0,030
L_t	м	Длина трубок теплообменника с учётом затенения части длины диафрагмами	1,361
D_t	м	Внутренний диаметр кожуха	0,126
$D_{\text{под}}$	мм	Внутренний диаметр подводящего патрубка пресной воды	28,022
$D_{\text{от}}$	мм	Внутренний диаметр отводящего патрубка пресной воды	28,022
$D_{\text{под}}$	мм	Внутренний диаметр подводящего патрубка заб. воды	102,722
$D_{\text{от}}$	мм	Внутренний диаметр отводящего патрубка заб. воды	102,722
M_{Π}	кг	Масса пучка труб	18,77
F	м ²	Полная площадь поверхности теплообмена	2,46

5.1.4. Розрахунок ВВО2

У таблиці 5.1.9. наведено початкові дані для розрахунку теплообмінника. Ці дані отримані за допомогою розрахункового комплексу, який використовується для аналізу системи типу 2В2НД, і відповідають параметрам точки оптимуму.

Таблиця 5.1.9. Вхідні дані

П	%	10-30%	10
G_w	кг/с	Задано	4,11
t_{w1}	$^{\circ}\text{C}$	Задано	77,9
p_{w1}	кПа	Задано	200
t_{w2}	$^{\circ}\text{C}$	Задано	58
w_{w1}	м/с	Прийнято	1,200
G_{ww}	кг/с	Задано	8,33
t_{ww1}	$^{\circ}\text{C}$	Задано	32,56
p_{ww}	кПа	Задано	200
w_{ww}	м/с	Прийнято Приравнять w	1,036

Таблиця 5.1.10. результати розрахунку

G_w	кг/с	Расход пресной воды	4,11
t_{w1}	$^{\circ}\text{C}$	Температура пресной воды на входе	77,9
p_{w1}	кПа	Давление пресной воды на входе	200,0
t_{w2}	$^{\circ}\text{C}$	Температура пресной воды за охладителем	58,00
η		КПД ВВО	0,439
w_w	м/с	Средняя скорость пресной воды между трубками	1,08
$w_{w\text{под}}$	м/с	Скорость пресной воды в подводящем патрубке	1,00
$w_{w\text{от}}$	м/с	Скорость пресной воды в отводящем патрубке	1,00
ΔP_w	кПа	Сопротивление по пресной воде	38,81
G_{ww}	кг/с	Расход заборной воды	8,33
t_{ww1}	$^{\circ}\text{C}$	Температура заборной воды на входе	32,6
t_{ww2}	$^{\circ}\text{C}$		42,7
p_{ww}	кПа	Давление заборной воды на входе	200,0
w_{ww}	м/с	Скорость заборной воды в трубах	1,036
$w_{ww\text{под}}$	м/с	Скорость заборной воды в подводящем патрубке	1,000
$w_{ww\text{от}}$	м/с	Скорость заборной воды в отводящем патрубке	1,000
П	%	Соленость заборной воды	10
ΔP_{ww}	кПа	Сопротивление по заборной воде	12,6
R_{Σ}	$\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$		0,0004
k_a	$\text{Вт}/\text{кг}\cdot\text{К}$	Коэффициент использования массы пучка труб	169,60
Q	Вт	Количество теплоты, переданной в ВВО	342688,34
Схема		Схема взаимного течения теплоносителей	4
bw		Число ходов пресной воды	22
bww		Число ходов теплообменника по заборной воде	2
bp		Число противоточных реверсивных элементов	2

Продовження таблиці 5.1.10.

d_0	м	Несущий диаметр трубки	0,0120
d_w	м	Внутренний диаметр трубки	0,0100
S_1	м	Шаг между трубками, перпендикулярный движению воды	0,0160
S_2	м	Шаг между трубками по глубине.	0,0139
$S_{ц}$	м	Отстояние центрального ряда от осевой линии	0,0069
$S_{п}$	м	Расстояние между рядами труб	0,0019
δ_d	м	Зазор между трубкой и диафрагмой на сторону	0,0001
h_{co}		Относительная высота выреза диафрагмы на диаметре D_o	0,166
k_D		Относительная величина расстояния между диафрагмами	0,240
S_d	м	Толщина диафрагмы	0,006
Z_d		Максимальное число труб в поперечном ряду	16
Z_{cv}		Возможное число труб в вырезе сегмента	21
Да/Нет		Наличие труб в вырезе	нет
Z_2		Число поперечных рядов труб в отсеке	12
$Z_{дейст}$		Общее число труб в пучке	162
Z		Число труб в пучке между вырезами диафрагм	162
$\Phi_{во, град}$		Центральный угол сегментного выреза на диаметре D_o	96,29
$\Phi_{ит, град}$		Центральный угол сегментного выреза на диаметре D_t	97,30
H_{co}	м	Высота сегментного выреза на диаметре D_o	0,042
$H_{ст}$	м	Высота сегментного выреза на диаметре D_t	0,043
D_o	м	Диаметр окружности, описанной вокруг пучка	0,252
$L_{п}$	м	Глубина одного отсека по ходу воды	0,166
$Z_{дф}$		Общее число диафрагм	21
L_1	м	Расстояние между диафрагмами	0,061
L_2	м	Длина трубок в подводном отсеке	0,061
L_3	м	Длина трубок в отводном отсеке	0,061
L_t	м	Длина трубок теплообменника с учётом затенения части длины диафрагмами	1,459
D_t	м	Внутренний диаметр кожуха	0,255
$D_{под}$	мм	Внутренний диаметр подводящего патрубка пресной воды	73,141
$D_{от}$	мм	Внутренний диаметр отводящего патрубка пресной воды	73,141
$D_{под}$	мм	Внутренний диаметр подводящего патрубка заб. воды	102,816
$D_{от}$	мм	Внутренний диаметр отводящего патрубка заб. воды	102,816
$M_{п}$	кг	Масса пучка труб	67,91
F	м ²	Полная площадь поверхности теплообмена	8,91

Розділ 6. Розміщення теплообмінників на судні.

Відповідно до завдання кафедри, після проведення розрахунків та оптимізації теплообмінників для найефективнішої системи (у нашому випадку системи типу 2В2НД) необхідно виконати креслення розташування всіх теплообмінників. До них належать: маслоохолоджувач, охолоджувач наддувного повітря, охолоджувач гідравлічної рідини, водоводяний охолоджувач 1 та водоводяний охолоджувач 2.

На основі отриманих даних виконуються креслення зовнішніх виглядів кожного теплообмінника (габаритних схем). Усі креслення створюються в програмному середовищі AutoCAD.

Розміщення теплообмінників виконується на судні. На судні теплообмінники показуються у вигляді зверху та в подовжньому розрізі. Це дозволяє отримати повне уявлення про компонування системи на судні.

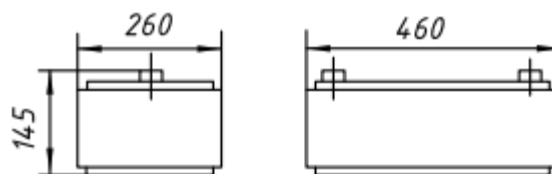


Рис. 34 Зовнішній вигляд ОНП

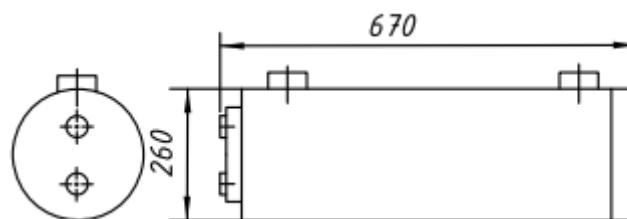


Рис. 35 Зовнішній вигляд МО

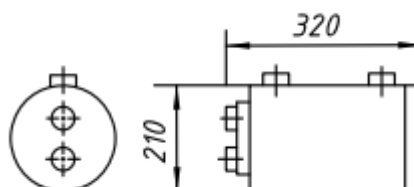


Рис. 36 Зовнішній вигляд Г

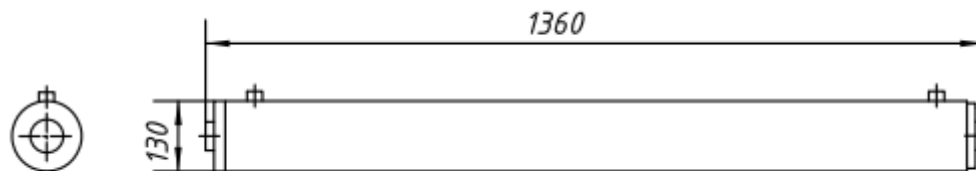


Рис. 37 Зовнішній вигляд ВВО1

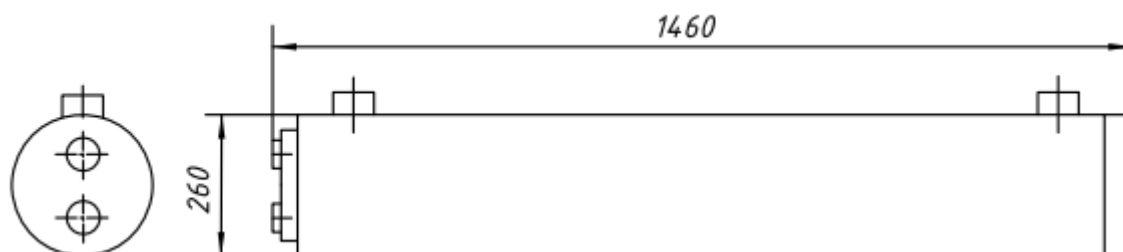


Рис. 38 Зовнішній вигляд ВВО2

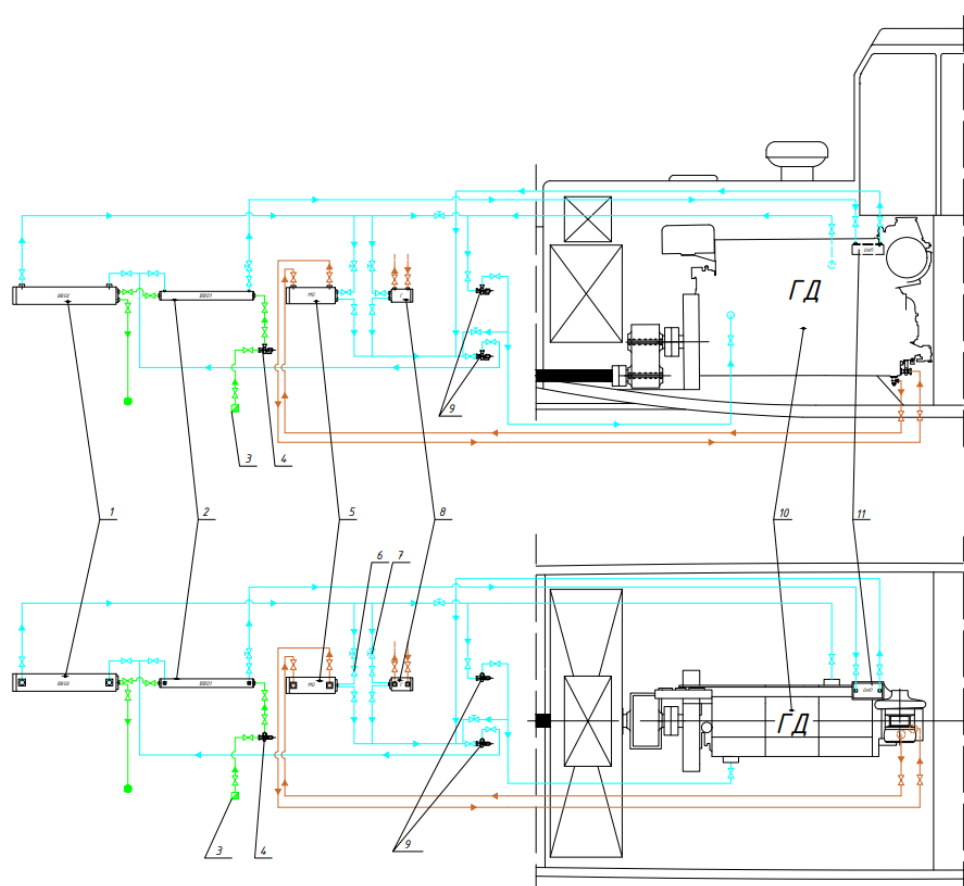


Рис. 39 Зовнішній вигляд розміщення системи 2В2НД на буксирі

Позначення на кресленні: 1 – водоводяний охолоджувач 2; 2 – насос для прісної води; 3 - кігстон ; 4 – насос заборотної води; 5 - маслоохолджувач; 6 – запірний клапан; 7 – регулювальний клапан; 8 – охолоджувач гідравлічної рідини; 9 – насос прісної води; 10 – головний двигун; 11 – охолоджувач наддувного повітря.

					КРМ.142.6221м.02.06.ПЗ	Лист
						74
Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата		

Розділ 7. Циркуляційний насос повнопотокового контуру

Згідно з завданням кафедри розроблено циркуляційний насос повнопотокового контуру системи охолодження 2В2НД. Цей насос повинен бути розміщений поряд з двигуном. Передбачається використання насоса з приводом від електродвигуна.

Відцентрові насоси складають вельми обширний клас насосів, які мають найширше застосування в системах охолодження ДВЗ, а також в енергетичних установках з ДВЗ різного призначення. Відцентрові насоси звичайно добре працюють з чистими і рідкими рідинами, хоча у разі потреби непогано працюють і з відносно забрудненими рідинами. Цим вони добре відрізняються від об'ємних насосів, які відносно погано працюють з забрудненими рідинами та з рідинами, що погано змащують робочі органи насосів. У той самий час відцентрові насоси, на відміну від об'ємних, не можуть працювати з густими та в'язкими рідинами. Специфіка умов роботи проектового насоса системи охолодження передбачає роботу з середовищем з практично не змінними характеристиками що спрощує розробку проекту.

Основною метою проектування є розрахунок та побудова теоретичних профілів основних елементів проточної частини насоса, до яких відносяться колесо та спіральний відвідний канал. На основі цих елементів у проекті виконано креслення розрізу насоса, враховуючи точні розміри та конструкційні особливості. Конструкція насоса розроблена на підставі креслень, затверджених кафедрою.

7.1. Розрахунок основних параметрів та характеристик насоса

Розрахунки виконані у спеціалізованій програмі наданій кафедрою у середовищі Microsoft Excel. Вхідні дані розрахунку представлені у таблиці 7.1.1., розрахунок у таблиці 7.1.2.

Таблиця 7.1.1. вхідні дані розрахунку насоса

$L, \text{Дж/кг}$	100
$Q, \text{м}^3/\text{ч}$	30
$Q, \text{м}^3/\text{с}$	0,0084
n_s	116,934674
C	1100
$\omega, \text{с}^{-1}$	209,3333333

Таблиця 7.1.2. Розрахунок основних параметрів

$\eta_o = \frac{1}{1 + \frac{0,68}{\sqrt[3]{n_s^2}}}$	0,973
$\eta_r = 1 - \frac{0,42}{(\lg D_{1np} - 0,172)^2}$	0,808
$D_{1np} = k_{D1} \sqrt[3]{\frac{\pi Q_1}{30\omega}}$	0,0744
$k_{D1} = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \frac{1}{\sqrt{k_{co}}}$	4,61
$k_{co} = 1,13773E-14C^4 - 9,89853E-11C^3 + 2,93714E-07C^2 - 3,81115E-04C + 2,38791E-01$	0,06
D_{1np}^*	0,0445
$\eta_{MBH} = \frac{1}{1 + \frac{820}{n_s^2}}$	0,944
$\eta_{сп} = 0,95 \dots 0,98$	0,95
$\eta = \eta_r \eta_o \eta_m = \eta_r \eta_o \eta_{MBH} \eta_{сп}$	0,706
$d_B = \sqrt[3]{\frac{16M_K}{\pi[\tau]}}$	0,0099
$M_K = \frac{N_B}{\omega}$	5,69
$N_B = \frac{\rho QL}{\eta}$	1190
$d_{ст} = (1,2 \dots 1,8) d_B$	0,015
$B_K = (0,2 \dots 0,4) D_2$	0,04

Продовження таблиці 7.1.2.

$c_o = k_{c_o} \left(\frac{30}{\pi}\right)^{\frac{2}{3}} \sqrt[3]{Q_1 \omega^2}$	1,94
$D_o = \sqrt{\frac{4Q_p}{\pi c_o} + d_{cm}^2}$	0,0768
$D_1 = (0,9...1,0)D_o$	0,061
$D_{1nn}^{**} = \sqrt{0,5(d_{ct}^2 + D_1^2)}$	0,0445
$u_1 = \frac{\omega D_1}{2}$	6,39
$c_1' = c_o$	1,94
$c_1' = c_{1m}'$	1,94
$k_1 = 1,1...1,25.$	1,346
$c_{1m} = c_{1m}' k_1$	2,62
$\beta_{10} = \arctg \frac{c_{1m}}{u_1}$	22,29439677
$\beta_1 = \beta_{10} + \delta$	21,5
$\delta = \beta_1 - \beta_{10}$	-0,79439677
$w_{10} = \frac{c_{1m}}{\sin \beta_{10}};$	6,91
$w_1 = \frac{c_{1m}}{\sin \beta_1}$	7,16
$c_{2m} = (0,75...1,1)c_{1m}$	1,9
$k = 6,5...10$	6,5
$z = k \frac{D_2 + D_1}{D_2 - D_1} \sin \frac{\beta_1 + \beta_2}{2}$	7,75
Округлить D40 до целого, но принимать не менее 6 и не более 12 $\boxed{Z}$	12
$D_2^* = \frac{D_0}{0,002n_s + 0.276}$	0,1507
D_2^{**}	0,132018422
$p = 2 \frac{\Psi}{z} \frac{1}{1 - \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2}$	0,1812
β_2	30,5
$\psi = k_3 + 0,6 \sin \beta_2$	0,855
$k_3 = 0,55...0,68$	0,55

Продовження таблиці 7.1.2.(1)

$L_{\infty} = (1 + p)L_{\delta}$	146,2
$L_{\tau} = \frac{L}{\eta_{\Gamma}}$	123,77
$D_2 = \frac{2}{\omega} \left[\frac{c_{m2}}{2tg\beta_2} + \sqrt{\left(\frac{c_{m2}}{2tg\beta_2} \right)^2 + L_{\infty}} \right]$	0,132018422
$k_1 = \frac{1}{1 - \frac{z\Delta S_1}{\pi D_1}}$	1,346
$\Delta_1 = (0,001 \dots 0,004) \text{ м}$	0,0015
$\Delta S_1 = \frac{\Delta_1}{\sin \beta_1}$	0,0041
$u_2 = \frac{\omega D_2}{2}$	13,82
$c'_{2m} = \frac{c_{2m}}{k_2}$	1,63
$k_2 = \frac{1}{1 - \frac{z\Delta S_2}{\pi D_2}}$	1,170
$\Delta_2 = (0,001 \dots 0,003) \text{ м}$	0,0025
$\Delta S_2 = \frac{\Delta_2}{\sin \beta_2}$	0,005
$c_{2u} = \frac{L_{\tau}}{u_2};$	8,96
$c_2 = \sqrt{(c'_{2m})^2 + c_{2u}^2}$	9,11
$c_{2u\infty} = \frac{L_{\tau}(1 + p)}{u_2}$	10,58
$w_2 = \sqrt{c_{2m}^2 + (u_2 - c_{2u})^2}$	5,22
w_1 / w_2	1,372
$w_1/w_2 = 3,166\text{E-}11n_s^6 - 1,812\text{E-}08n_s^5 + 4,228\text{E-}06n_s^4 - 5,150\text{E-}04n_s^3 + 3,464\text{E-}02n_s^2 - 1,231\text{E+}00n_s + 1,982\text{E+}01$	1,371
$w_{2\infty} = \frac{c_{2m}}{\sin \beta_2}$	3,75

Отримані в цьому розрахунку дані будуть використані для подальшої побудови основних елементів насосу.

7.2 Меридіанний перетин робочого колеса

Побудова меридіанного перетину робочого колеса (рис. 40.) виконується наступним чином. На лінії, яка перпендикулярна вісі робочого колеса, відкладаємо точки, які відповідають значенням радіусів $R_1, \dots, R_i, \dots, R_2$. Через ці точки проводимо відрізки, на яких відкладаємо значення ширини каналу відповідно $b_1, \dots, b_i, \dots, b_2$. Потім на відрізках шириною b_i , як на діаметрах, будуємо кола. Проводимо лінії, паралельні вісі робочого колеса і які відповідають діаметрам D_0 , $d_{ст}$, $d_в$. Після чого будуємо бокові стінки каналу, які огинають кола з діаметрами b_i

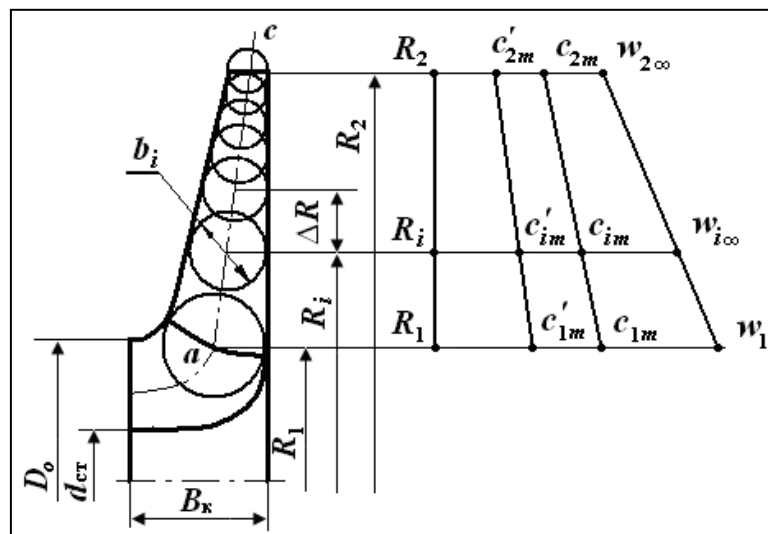


Рис. 40 Побудова меридіанного перетину колеса

Табл 7.2.1 Результати розрахунків для побудови меридіанного перетину колеса

Параметр та одиниці виміру	Найменування параметру, розрахункова формула	Значення	Примітка
D_1 , м	Діаметр середньої вихідної кромки лопаті робочого колеса	0,1	
D_2 , м	Зовнішній діаметр робочого колеса	0,1988	
i	Кількість ділянок розбивки	10	
ΔR , м	Крок по радіусу	0,0049	
R_1 , м	Радіус середньої вихідної кромки лопаті робочого колеса	0,0305	1
R_i , м	Проміжні значення радіусів: $R_i = R_1 + n_i \cdot \Delta R$	0,0376	a
		0,0447	b
		0,0518	v
		0,0589	z
R_2 , м	Зовнішній радіус робочого колеса	0,0660	2

Продовження таблиці 7.2.1

k	Коефіцієнт лінійного рівняння для визначення c_{1m} : $k = \frac{c_{2m} - c_{1m}}{R_2 - R_1}$	-8,73	
b	Коефіцієнт лінійного рівняння для визначення c_{1m} : $b = c_{1m} - k \cdot R_1$	2,206	
c_{1m} , м/с	Меридіанна складова абсолютної швидкості потоку рідини на вході в робоче колесо	2,62	
c_{2m} , м/с	Меридіанна складова абсолютної швидкості потоку рідини на виході з робочого колеса	1,9	
k	Коефіцієнт лінійного рівняння для визначення w_1 : $k = \frac{w_{2\infty} - w_1}{R_2 - R_1}$	-96,03	
b	Коефіцієнт лінійного рівняння для визначення w_1 : $b = w_1 - k \cdot R_1$	10,089	
w_1 , м/с	Відносна швидкість потоку рідини при вході на лопатку робочого колеса	7,16	
$w_{2\infty}$, м/с	Відносна швидкість потоку рідини на виході з робочого колеса при нескінченній кількості лопатей	3,75	

7.3 Профілювання спірального відвідного каналу трапецевидної форми

Спіральний відвід являє собою криволінійний дифузорний канал, який зазвичай закінчується прямовісним дифузором. Форма поперечних перетинів спірального відводу для обраного закону зміни швидкості води за радіусом може бути тільки трапецевидною. Така форма поперечного перетину каналу дозволяє реалізувати закон постійності моменту швидкості рідини $R \cdot c_u = \text{const}$ по всій площі кожного перетину. Спіральний відвід трапецевидного перетину забезпечує менші втрати за рахунок зменшення вихроутворення під час надходження потоку з колеса в канал. Нахил бічних стінок поперечного перетину каналу зазвичай приймається однаковим для всіх перетинів. Кут сходження (розкриття) стінок $\alpha = 30 \dots 40^\circ$

підшипників; 9 – вал ротора; 10 – корпус підшипників; 12 – відбійник; 12 – натискна втулка; 14 – водорозпо- 17 дільне кільце; 15 – упорна кришка сальника; 16 – імпелер; 17 – ущільнююче кільце

Насос складається з системи рухомих (ротор в зборі) і нерухомих елементів (корпусні деталі).

Ротор складається з робочого колеса 2, яке закріплене на валу 9 за допомогою шпонки та бовта .

Колесо закритого типу, виготовлене з бронзи литвом.

На валу є бронзова втулка, яка запобігає витирання ротора об сальник. Вал виготовлений у вигляді ряду співвісних циліндрів різного діаметру, на яких кріпляться колесо, захисна втулка і підшипники. На стороні валу, протилежній колесу, виконано шпонковий паз, призначений для фіксації муфти, яка сполучає насос з приводом.

Нерухомі елементи насоса складаються з корпусу 1, який об'єднує такі елементи насоса, як: вхідний патрубок, спіральний відвід і камеру, в якій обертається робоче колесо. На вхідному патрубку виконаний приєднувальний фланець для прикріплення всмоктуючого трубопроводу, а на кінці спірального відводу – фланець для з'єднання з нагнітальним трубопроводом. З боку переднього диска колеса в корпусі сформовано щільне ущільнення, що складається з ущільнюючого кільця 17, яке охоплює з мінімальним зазором циліндровий виступ переднього покривного диска колеса. У корпусі 1 виконані отвори в стінці вхідного патрубку і в стінці відвідного каналу. Отвори заглушені пробками і можуть використовуватися для зливу води з насоса, для випуску повітря при його заливці перед роботою і для приєднання манометрів. Корпус 1 з боку заднього диска колеса закритий кришкою корпусу 3, яка утворює разом з ним камеру, в якій обертається робоче колесо. Через центр круглої кришки 3 проходить канал для валу ротора, в якому також розміщується сальникове ущільнення. З боку колеса в отвір кришки вставлена упорна кришка сальника 15.

Сальникове ущільнення складається з сальникового набивки 5, розділеною на дві частини водорозподільним кільцем 13. До цього кільця через отвір в стінці каналу кришки корпусу, виконаного для розміщення ущільнення і під прохід валу,

					КРМ.142.6221м.05.07.ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата		82

підводиться вода з порожнини відводу по свердленню в ребрі кришки. Сальникова набивка підтискається за допомогою деталей 6 і 13. Кришка сальникового ущільнення 6 виконана з двох частин, що забезпечує її розбирання і витягання з ліхтаря 7 без розбирання насоса при поточному ремонті сальникового ущільнення.

Кришка корпусу 3 притискається до корпусу 1 ліхтарем насоса 7. Ліхтар є проміжковою частиною, яка забезпечує з'єднання корпусу насоса з корпусом підшипникових опор 10. Деталі 1, 3, 7 і 10 строго центруються по посадках їх циліндрових виступів в розточках деталей, які сполучаються, відносно вісі обертання валу ротора. У ліхтарі виконано бічне вікно, яке забезпечує доступ до сальникового ущільнення. Через вікно також забезпечується видалення води, яка протікає назовні через сальник при роботі насоса.

При роботі насосу рідина поступає в колесо через всмоктуючий патрубок, а виходить з нього через щілину між двома дисками на зовнішньому діаметрі колеса. Рідина, яка вилітає з диска, збирається спіралевидним відводом, який охоплює колесо по периметру. З відводу рідина поступає в нагнітальний патрубок, звідки прямує до споживача. Для того, щоб насос почав працювати, його колесо і всмоктуючий канал повинні бути повністю заповнені водою. При обертанні колеса вода, яка знаходиться в міжлопатевих каналах, буде залучена лопатками в окружний рух. Відцентрова сила, яка виникає при цьому, переміщатиме частинки по радіусу при одночасному обертальному русі. У зв'язку з видаленням з міжлопатевих каналів колеса порцій рідини під дією описаного процесу, у вхідній частині колеса виникає область зниженого тиску. В цю область зі всмоктуючого патрубка переміщатимуться нові порції рідини під дією більш високого тиску у всмоктуючому патрубку, ніж у вхідній області колеса. Цей процес відбувається безперервно. Порції рідини в колесі під впливом робочих лопаток отримують кінетичну енергію і відповідно збільшують свою абсолютну швидкість. У відносному русі по каналах колеса ці порції переміщаються від менших поперечних перетинів каналів до більших, що викликає зменшення відносної швидкості руху порцій при одночасному збільшенні їх абсолютної швидкості. Порції рідини, які вилітають з колеса, продовжують уповільнювати свою швидкість, вже в абсолютному русі, із-за переміщення по каналу, перетин якого

					КРМ.142.6221м.05.07.ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата		83

розширюється у напрямку руху потоку рідини. Уповільнення швидкості течії, відповідно до законів гідромеханіки, супроводжується зростанням тиску рідини або перетворенням кінетичної енергії в потенційну. В результаті на виході з насоса споживач отримує потік із заданим надмірним тиском і порівняно низькою швидкістю, прийнятною для використання в системах, де застосовуються такі насоси.

Імпелер 16, розміщений на задньому диску колеса, забезпечує зниження тиску в області за колесом, прилеглий до валу насоса. Це зниження виникає абсолютно аналогічно тому, як це відбувається в самому робочому колесі, але з тією різницею, що імпелер практично не переміщає рідину, оскільки не сполучений зі всмоктуючим патрубком. Якщо тиск в цій області не знижувати, то на колесі виникає осьове зусилля, направлене у бік всмоктування насоса. Це зусилля навантажує підшипники і сприяє прискоренню їх зносу. У напіввідкритого імпелера зовнішній діаметр колеса виконаний меншим, ніж діаметр колеса насоса. Зовнішній діаметр імпелера вибирають таким, щоб тиск перед вузлом ущільнення завжди залишався більше атмосферного при тому, щоб осьове зусилля було понижене до необхідних меж.

У даному насосі внутрішні витоки пов'язані тільки з паразитними токами в передньому щілинному ущільненні. Наявність імпелера дозволяє відмовитися від розвантажувальних осьових каналів і установки щілинного ущільнення з боку заднього диска. Це підвищує об'ємний ККД насоса при деякому збільшенні механічних втрат, пов'язаних із забезпеченням роботи імпелера. Зазвичай такий перерозподіл втрат приводить до підвищення загального ККД насоса, про що свідчить розповсюдження аналогічних конструктивних рішень.

Оскільки тиск за заднім диском колеса поблизу валу ротора знижений, сальникове ущільнення не може прокачуватися водою з цієї області. Нормальна робота сальникового ущільнення у такому разі забезпечується подачею до сальника води через спеціальний канал в корпусі, що підводить воду з відводу, в якому тиск близький до максимального у водяному тракті насоса. Вода підводиться приблизно в середню частину ущільнення, де встановлене водорозподільне кільце, яке запобігає запиранню сальниковою набивкою водопрокачуючого каналу. При цьому

					КРМ.142.6221м.05.07.ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата		84

частина води що подається, йтиме в насос, а частина буде виходити назовні через отвір у втулці 13. При нормальній роботі сальникового ущільнення вода буде капати зовні тільки при працюючому насосі, в кількості 5...10 крапель за хвилину.

					КРМ.142.6221м.05.07.ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата		85

Розділ 8. Охорона праці

Загальні положення

Проектування та експлуатація систем охолодження суднових двигунів, таких як двигун 6ЧН 25/34, вимагають суворого дотримання правил охорони праці, технічних норм та міжнародних стандартів. Забезпечення безпечних умов праці є ключовим фактором для збереження життя працівників і стабільного функціонування обладнання.

Відповідно до законодавства України, зокрема Закону "Про охорону праці", роботодавець зобов'язаний:

1. Забезпечувати працівників засобами індивідуального захисту (ЗІЗ);
2. Проводити навчання та інструктажі з охорони праці;
3. Організовувати регулярний технічний огляд обладнання.

Міжнародні стандарти, такі як Конвенція SOLAS, також визначають правила безпеки для проектування та використання суднових систем, спрямовані на захист людського життя та безпечну експлуатацію.

Аналіз шкідливих і небезпечних факторів

Під час експлуатації системи охолодження можуть виникати такі небезпечні та шкідливі фактори:

1. Термічний вплив:

- Робочі температури системи охолодження можуть досягати 90–100 °С, що створює ризик отримання опіків.
- Можливий ризик перегріву двигуна через несправність системи охолодження.

2. Хімічна небезпека:

- Контакт із токсичними речовинами, зокрема з присадками до охолоджувальних рідин.
- Випаровування охолоджувальної рідини через пошкодження контурів.

3. Механічні ризики:

- Обертові частини насосів і вентиляторів становлять загрозу травмування працівників під час технічного обслуговування.

					КРМ.142.6221м.05.08.ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата		86

- Важкі елементи системи можуть падати під час монтажних або демонтажних робіт.

4. Електробезпека:

- При роботі з автоматизованими системами є ризик ураження електричним струмом.

5. Шум і вібрація:

- Рівень шуму в машинному відділенні може перевищувати норму (85 дБ), що впливає на слух та здоров'я вцілому.

- Постійна дія вібрацій шкодить здоров'ю працівників.

Вимоги охорони праці під час експлуатації та монтажу систем охолодження

Монтажні роботи:

- Підйом і встановлення обладнання машинного відділення буксира-штовхача здійснюється за допомогою кранів, тельферів чи інших підйомних механізмів. Перед початком робіт перевіряється вантажопідйомність обладнання.

- Усі роботи виконуються після проведення інструктажу з техніки безпеки для персоналу.

- Забезпечення використання працівниками захисних засобів: каски, захисних рукавичок, захисних окуляр та спеціального взуття.

Експлуатація:

- У нормальних умовах дистанційне керування двигунами здійснюється з рубки. Постійної вахти у машинному відділенні не передбачено.

- Член команди має кожну годину спускатися до машинного відділення для візуального огляду обладнання, перевіряючи його стан протягом 5–10 хвилин.

- Регулярно перевіряються сальникові ущільнення насосів. Допустимий рівень витоку охолоджувальної рідини через ущільнення – не більше 15 крапель на хвилину.

- Контролюється рівень забруднення теплообмінників. Опір у контурах теплообмінників не має перевищувати 60 кПа по воді та 250 кПа по маслу.

					КРМ.142.6221м.05.08.ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата		87

- Через високий рівень шуму у машинному відділенні (понад 85 дБ) персонал повинен використовувати шумозахисні навушники.
- Вібрації двигунів можуть впливати на стан обладнання, тому перевіряється стан кріплень механізмів.

Протипожежні заходи

Протипожежна безпека машинного відділення забезпечується наступними заходами:

- Встановлення автоматичних систем пожежогасіння, які функціонують на основі водяного розпилення або інших ефективних методів гасіння.
- Розміщення порошкових вогнегасників у зонах легкого доступу для оперативного використання в разі загоряння.
- Використання в конструкції трубопроводів та ізоляції матеріалів з підвищеною стійкістю до займання.

Екологічна безпека

Екологічна безпека експлуатації двигуна 6ЧН 25/34 із системою охолодження забезпечується:

- Використанням замкнених контурів для уникнення потрапляння теплоносія внутрішнього контуру у водне середовище.
- Застосуванням біорозкладних присадок до охолоджувальної рідини для зниження екологічного впливу.
- Організацією переробки або утилізації теплоносіїв внутрішнього контуру на спеціалізованих підприємствах після закінчення терміну їх використання.

Додатково передбачено регулярний екологічний моніторинг якості води та ґрунту в зоні експлуатації та стоянки судна.

Засоби індивідуального захисту

Для роботи у машинному відділенні персонал повинен бути забезпечений:

- Захисним одягом із вогнестійких матеріалів для мінімізації ризиків займання.

					КРМ.142.6221м.05.08.ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата		88

- Термостійкими рукавичками для безпечної роботи з гарячими елементами обладнання.
- Захисними окулярами для запобігання контакту з небезпечними речовинами.
- Шумозахисними навушниками, щоб знизити вплив високого рівня шуму в машинному відділенні.

Під час роботи з хімічними реагентами для очищення системи охолодження обов'язковим є використання засобів індивідуального захисту дихальних органів, таких як протигази.

Організація навчання та дотримання норм безпеки

Організація навчання та контролю за дотриманням правил безпеки включає:

- Проведення вступних та періодичних інструктажів для всіх працівників.
- Навчання використанню аварійного обладнання (вогнегасники, евакуаційні системи).
- Проведення тренувань із симуляцією дій у разі витоків рідин або пожеж.

Контроль за дотриманням безпекових норм здійснюється через регулярні перевірки технічного стану машинного відділення та проведення аудитів з охорони праці.

					КРМ.142.6221м.05.08.ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата		89

Загальний висновок по проекту

Основною метою магістерської роботи стало створення максимально ефективної системи охолодження для дизельного двигуна 6ЧН 25/34, що використовується на буксирах-штовхачах. Цей двигун забезпечує необхідну потужність і надійність для виконання завдань з буксирування і штовхання, що є важливими характеристиками для експлуатації в судноплавстві. Основною вимогою до системи охолодження було зменшення ваги, габаритів і вартості при збереженні високих експлуатаційних показників.

Відповідно до поставленої мети, необхідно було виконати такі завдання:

- проаналізувати три варіанти систем охолодження;
- оптимізувати їх технічні характеристики;
- визначити оптимальний варіант на основі оцінки сумарної маси теплообмінників, ефективності охолодження та економічної доцільності.

Для досягнення мети виконані наступні етапи:

1. Аналіз теплових характеристик двигуна

Були розраховані теплові баланси двигуна, включаючи кількість тепла, яке потрібно відвести через основні елементи системи (зарубашечну воду, масло). Дані для розрахунків надані кафедрою.

2. Розробка трьох систем охолодження:

- Система типу 2В2НПР — багатоконтурна конструкція з окремими насосами для різних теплоносіїв і двома основними водоохолоджувачами;
- Система типу В2Н* — двоконтурна схема з меншою кількістю теплообмінників;
- Система типу 2В2НД — багатоконтурна конструкція з окремими насосами для різних теплоносіїв і двома основними водоохолоджувачами більш складніша від В2НД.

3. Оптимізація теплових схем

Кожна система була оптимізована за температурними параметрами теплоносіїв для мінімізації сумарної маси серцевин теплообмінників. Розроблено графіки, які ілюструють залежність маси від температур теплоносіїв.

					КРМ.142.6221м.05.ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата		90

4. Порівняльний аналіз

Згідно з результатами розрахунків, система типу 2В2НД забезпечує найменшу сумарну масу серцевин теплообмінників (137,9 кг) та має найкращі технічні показники.

Система охолодження, запропонована у роботі , має сумарна масу її теплообмінників 1,1% від маси двигуна. Проведені дослідження показали, що обрана система типу 2В2НД має сумарну масу серцевин меншу на 60 кг порівняно із системою 2В2НПР та на 32,9 кг порівняно із системою В2НД.

Таким чином, система типу 2В2НД перевершує альтернативні рішення та відповідає всім вимогам проекту. Вона забезпечує оптимальні експлуатаційні характеристики, мінімальну масу та компактність, що робить її найкращим вибором для використання на буксирі-штовхачі.

					КРМ.142.6221м.05.ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата		91

Література

1. Bencs P., Alktranee M. The potential of vehicle cooling systems. Journal of physics: Conference series. 2021;1935(012012).
2. Brace C. J., Hawley G., Akehurst S., Piddock M., Pegg I. Cooling system improvements - assessing the effects on emissions and fuel economy. Proc Inst Mech Eng Part D: J. Automobile Engineering. 2008;222(4):579–591.
3. Koch F. W., Haubner F. G. Cooling system development and optimization for DI engines. SAE Techni Paper. 2000.
4. Rawashdeh M. O. Development of the cooling system in vehicle engine. Materials Today: Proceedings. Elsevier Ltd. 2021.
5. Qiu W., Yu Q., Zhao J. Research and Analysis of Cooling System for Diesel Locomotive. Progress of Electrical and Electronic Engineering. 2018;1(1).
6. Hamdy M., Askalany A. A., Harby K., Kora N. An overview on adsorption cooling systems powered by waste heat from internal combustion engine. Renewable Sustainable Energy Rev. 2015;51:1223–1234.
7. Novella R., Dolz V., Martín J., Royo-Pascual L. Thermodynamic analysis of an absorption refrigeration system used to cool down the intake air in an Internal Combustion Engine. Applied Thermal Engineering. 2017;111:257–270.
8. Giannoutsos S. V., Manias S. N. A data-driven process controller for energy-efficient variable-speed pump operation in the central cooling water system of marine vessels. IEEE Trans Ind Electron. 2015;62(1):587–598.
9. Hansen M., Stoustrup J., Bendtsen J. D. Control of Non-linear Marine Cooling System. IEEE International Conference on Control Applications. 2011;88–93.
10. Hansen M., Stoustrup J., Bendtsen J. D. Modeling and control of a single-phase marine cooling system. Control Engineering Practice. 2013;21(12):1726–1734.
11. Lee C-M., Jeon T-Y., Jung B-G., Lee Y-C. Design of energy saving controllers for central cooling water systems. Journal of Marine Science and Engineering. 2021;9(513).

					KPM.142.6221м.05.ПЗ	Лист
						92
Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата		