

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.


« ____ » _____ 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ ДВИГУНА ТИПУ 12ЧН 18/20

Спеціальність 142 – Енергетичне машинобудування

Для здобуття другого (магістерського) рівня вищої освіти

Керівник роботи



Ю. Л. Мошенцев

Здобувач освіти



М. В. Слава

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

Славі Михайлу Володимировичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження системи охолодження суднового двигуна типу 12ЧН 18/20

2. Керівник роботи канд. техн., н., професор 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 – 12ЧН 18/20; потужність двигуна – 988 кВт; частота обертання колінчатого валу – 1500 хв⁻¹; ПК – 2,5; паливо – дизельне.

5. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Опис артилерійського катеру; Опис двигуна 12ЧН 18/20; Розрахунок робочого циклу двигуна 12ЧН 18/20 і його теплового балансу; Розрахунки систем охолодження, що порівнюються і вибір найкращої; Розрахунок теплообмінних апаратів; Розміщення теплообмінників на судні та двигуні; Детальний опис охолоджувача надувного повітря; Забезпечення умов охорони праці.

6. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Двигун 12ЧН 18/20; Артилерійський катер; Схеми систем охолодження; Залежності сумарних мас серцевин систем від температур ТВК; Витрати ТВК через кожен теплообмінник; Трасування системи охолодження на судні; Детальне креслення охолоджувача надувного повітря.

7. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада Консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	канд. техн., н., професор Мошенцев Ю. Л.	01.10.2024	01.10.2024
2	канд. техн., н., професор Мошенцев Ю. Л.	10.10.2024	10.10.2024
3	канд. техн., н., професор Мошенцев Ю. Л.	20.10.2024	20.10.2024
4	канд. техн., н., професор Мошенцев Ю. Л.	30.10.2024	30.10.2024
5	канд. техн., н., професор Мошенцев Ю. Л.	14.11.2024	14.11.2024
6	канд. техн., н., професор Мошенцев Ю. Л.	24.11.2024	24.11.2024
7	канд. техн., н., професор Мошенцев Ю. Л.	06.12.2024	06.12.2024
8	канд. техн., н., професор Мошенцев Ю. Л.	10.12.2024	10.12.2024

8. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Оформлення 1 розділу	09.10.2024	
2	Оформлення 2 розділу	18.10.2024	
3	Оформлення 3 розділу	27.10.2024	
4	Оформлення 4 розділу	05.11.2024	
5	Оформлення 5 розділу	14.11.2024	
6	Оформлення 6 розділу	23.11.2024	
7	Оформлення 7 розділу	02.12.2024	
8	Оформлення 8 розділу	14.12.2024	

Здобувач освіти

Керівник роботи

_____	/М. В. Слава/
(підпис)	(прізвище та ініціали)
_____	/Ю. Л. Мошенцев/
(підпис)	(прізвище та ініціали)

Анотація

В кваліфікаційній роботі виконане дослідження системи охолодження для суднового двигуна типу 12ЧН 18/20, потужністю 988 кВт та 1500 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 охолоджувач надувного повітря для обраної системи та розроблена компоновка його на двигуні. У роботі розроблялися заходи щодо забезпечення охорони праці у машинному відділенні катера.

Магістерська робота виконана українською мовою на 91 сторінках розрахунково-пояснювальної записки. Графічна частина представлена на 7 кресленнях формату А1. Використано 11 джерел.

Ключові слова: двигун, судно, катер, теплообмінник, система охолодження, паливо, метал.

In the qualification work, a study of the cooling system for a marine engine of the 12CHN 18/20 type, with a capacity of 988 kW and 1500 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. An inflatable air cooler for the selected system was designed and its layout on the engine was developed. Measures were developed to ensure labor protection in the engine room of the boat.

The master's thesis is written in Ukrainian on 91 pages of explanatory notes. The graphic part is presented in 7 drawings of A1 format. 11 sources were used.

Keywords: engine, ship, boat, heat exchanger, cooling system, fuel, metal.

					КРМ.142.6221м.15.00.ПЗ	Лист
						2
Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата		

Анотація.....	2
Вступ.....	5
Розділ 1. Опис конструкції та характеристик артилерійського катера.....	6
Розділ 2. Опис конструкції та характеристик двигуна типу 12ЧН 18/20.....	8
2.1. Особливості застосування системи охолодження двигуна на катері.....	9
2.2. Визначення та обґрунтування параметрів режиму роботи двигуна, для якого доцільно виконувати розрахунки системи охолодження.....	10
2.3. Особливості розміщення двигуна у машинному приміщенні об'єкту.....	10
Розділ 3. Розрахунок робочого циклу двигуна і його теплового балансу.....	12
3.1 Розрахунок робочого циклу.....	12
3.2. Розрахунок теплового балансу.....	15
Розділ 4. Розрахунки систем охолодження що порівнюються, і вибір найкращої.....	18
4.1 Системи охолодження, надані кафедрою для оптимізації та порівняння.....	19
4.1.1. Система 2В2НПР.....	19
4.1.2. Система типу В2НД.....	20
4.1.3. Система типу ВНП.....	21
4.2. Система типу 2В2НПР. Розрахунки системи, побудова графіків. Аналіз графіків.....	22
4.2.1. Розрахунки системи 2В2НПР.....	22
4.3. Система типу В2НД.....	33
4.3.1. Розрахунки системи В2НД.....	33
4.4. Система типу ВНП.....	42
4.4.1. Розрахунки системи ВНП.....	42
4.5. Побудова залежностей мас серцевин кожного теплообмінника в системі 2В2НПР.....	48
4.5.1. Побудова залежностей мас серцевин в ОНП від t_{w1} , t_{wm2} , t_{wn2}	48

4.5.2. Побудова залежностей мас серцевин в ВВО1 від t_{w1} , t_{wm2} , t_{wn2}	49
4.5.3. Побудова залежностей мас серцевин в ВВО2 від t_{w1} , t_{wm2} , t_{wn2}	51
4.5.4. Побудова залежностей мас серцевин в МО від t_{w1} , t_{wm2} , t_{wn2}	52
4.6. Побудова графіків витрат ТВК через кожний теплообмінник в системі 2В2НПР.....	54
4.7. Аналіз графіків системи типу 2В2НПР.....	57
Розділ 5. Розрахунок теплообмінних апаратів.....	59
5.1. Розрахунок теплообмінників в системі типу 2В2НПР.....	59
5.1.1. Розрахунок теплообмінника ОНП.....	59
5.1.2. Розрахунок теплообмінника МО.....	63
5.1.3. Розрахунок теплообмінника для охолодження гідравлічної рідини.....	66
5.1.4. Розрахунок теплообмінника ВВО1.....	68
5.1.5. Розрахунок теплообмінника ВВО2.....	71
Розділ 6. Розміщення теплообмінників на судні та двигуні.....	74
Розділ 7. Розробка і конструктивні особливості охолоджувача надувного повітря.....	77
Розділ 8. Охорона праці при експлуатації та обслуговуванні суднових систем охолодження.....	84
Загальні висновки до дипломного проекту.....	88
Література.....	90

Згідно з завданням кафедри треба обрати найкращу систему охолодження катерного двигуна типу 12ЧН 18/20.

Цілью кваліфікаційної роботи є дослідження трьох систем охолодження для обрання найкращої.

Ціна (вартість) кольорового металу для виготовлення серцевин теплообмінників весь час зростає. Це пояснюється як зменшенням джерел видобутку відповідної сировини так і збільшенням ціни на ресурси виготовлення, зокрема на паливо. Таким чином, зменшення вартості відповідних виробів, у тому числі систем охолодження і їх теплообмінників, є дуже актуальною темою для будь-якого виробника або замовника. Оскільки найкраща система охолодження визначається як найменш коштовна і габаритна, то у роботі досягається актуальна задача.

Для вирішення поставленої задачі потрібно спершу довести кожну з наданих систем до оптимуму, а потім зрівнювати параметри оптимізованих систем для вибору найкращої. Відповідні розрахунки мають бути зроблені за наданими програмами розрахунків. Потім на цій основі будуть збудовані криві для пошуку оптимального результату і визначений результат. По результатах оптимізації будуть встановлені параметри системи та усіх її теплообмінників.

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

					КРМ.142.6221м.15.00.ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата		5

Розділ 1. Опис конструкції та характеристик артилерійського катера

Артилерійський катер (рис. 1.1.) має характеристики, наближенні до типу Д-3 (російське позначення часів Другої Світової війни). Це артилерійське судно для патрулювання водного району та його охорони. Основними перевагами катерів цього типу є висока швидкість, маневреність і можливість проведення бойових операцій у прибережних водах.

Стрілецьке озброєння складається з трьох автоматичних гармат калібру 20 мм.

Корпус катера виготовлений з деревної фанери і має товщину 40 мм. При цьому днище є тришаровим, а борт і палуба - двошарові. На зовнішній шар йшла модрина, а на внутрішній - сосна. Обшивка кріпиться мідними цвяхами з розрахунку п'яти штук на один квадратний дециметр.

Корпус розділяється на п'ять водонепроникних відсіків чотирма перегородками. У першому відсіку 10-3 шп. розташовувався форпик, у другому (3-7 шп.) - чотиримісний кубрик. Камбуз і вигорода для котла - між 7-м і 9-м шпангоутами, радіокаюта - між 9-м і 11-м. Палуба дозволяє брати на борт десантну групу, до того ж по ній можна було пересуватися під час походу.

Умови населеності екіпажу, що складається з 8-10 осіб, дають можливість катеру довго оперувати далеко від основного місця базування. Передбачений і обігрів життєво важливих відсіків.

Система охолодження: рідинна з замкнутим контуром, що використовує морську воду для відведення теплоти.

Система палива: дизельне паливо, що забезпечує ефективну роботу на різних режимах.

Реверсивний редуктор: забезпечує зміну напрямку обертання гребного валу, що підвищує маневреність.

Застосування дизельного двигуна 12ЧН 18/20 (рис. 2.1, 2.2) дозволяє значно знизити витрати палива в порівнянні з авіаційними двигунами, що використовувалися раніше. Це підвищило економічність експлуатації катерів і збільшило їх автономність.

					КРМ.142.6221м.15.01.ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата		6

Основні параметри артилерійського катеру:

Довжина: 19,6 метра

Ширина: 3,4 метра

Осадка: 1,2 метра

Водотоннажність: 30 тонн

Максимальна швидкість: 45 вузлів (приблизно 85 км/год)

Дальність плавання: до 500 морських миль при швидкості 30 вузлів

Екіпаж: 8 - 10 осіб

Озброєння: три автоматичні гармати

Технічні та експлуатаційні характеристики:

Тип двигуна: дизельний двигун 12ЧН 18/20

Потужність: 1343 к.с. при 1500 об/хв

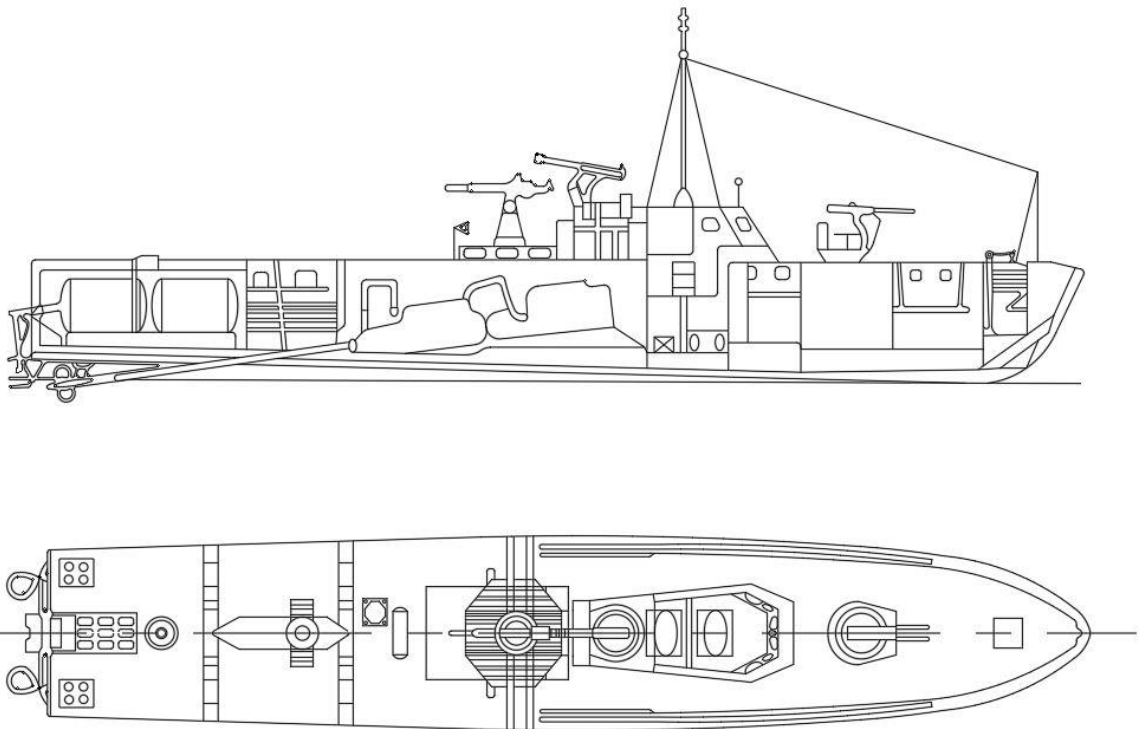


Рис.1.1. Повздовжний та поперечний розрізи артелерійського катеру

Розділ 2. Опис конструкції та характеристик двигуна типу 12ЧН 18/20

Головний двигун типу 12ЧН 18/20 має потужність 1000 кВт при 1500 об/хв. Два таких двигуна встановлюються на катері (рис.1.1.) і забезпечують його швидкість ходу 45 вузлів на номінальній потужності двигунів. Двигун відноситься до високо обертових. Більшість деталей його основи виливають з алюмінієвого сплаву для зменшення його ваги. На рис. 3, 4 зображенні поперечний і продольний розрізи двигуна. Двигун зроблено V – подібним. Його конструкція така, щоб двигун мав найбільшу компактність.

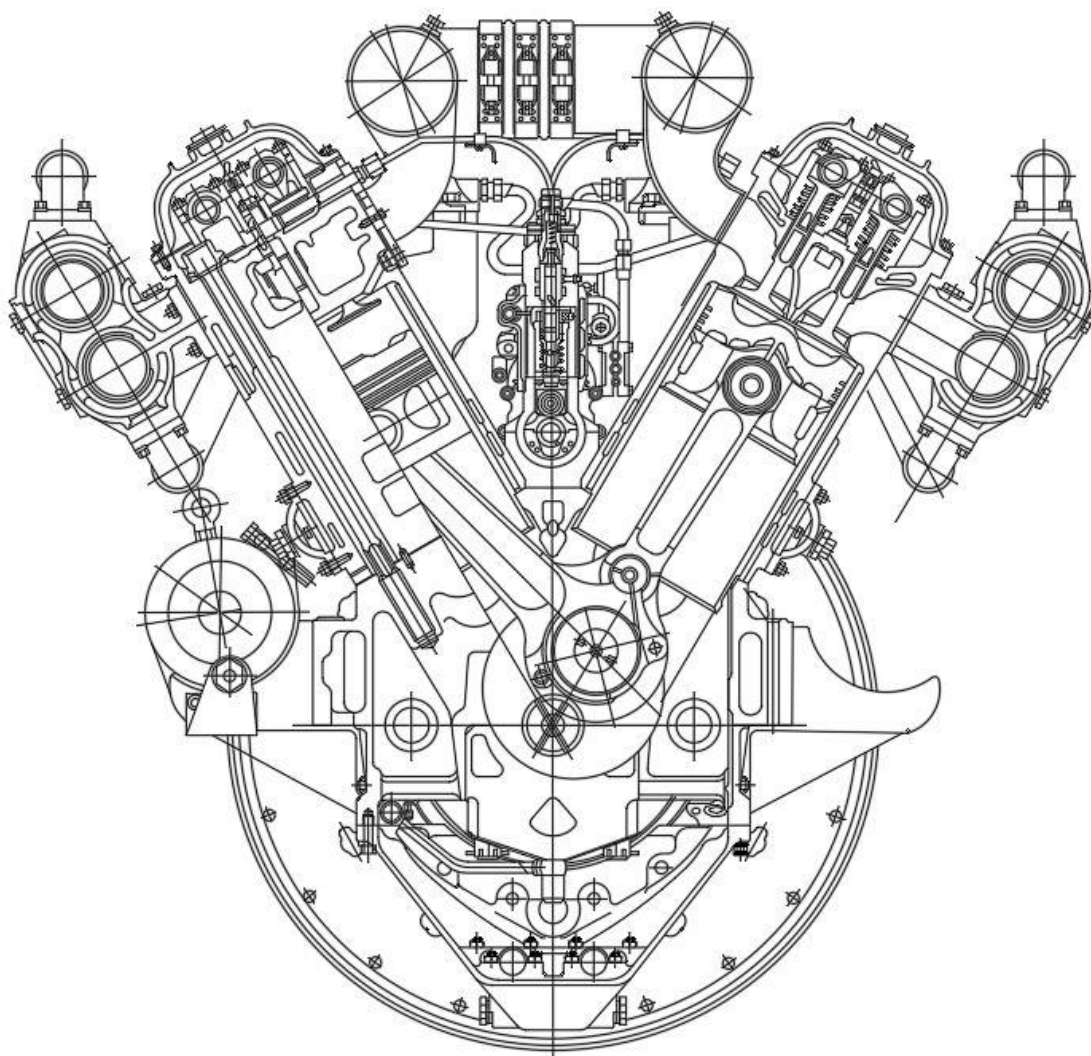


Рис. 2.1. Поперечний розріз двигуна 12ЧН 18/20

Двигун 12ЧН 18/20 характеризується звичайним підвищеним рівнем викидів шкідливих речовин у порівнянні з сучасними двигунами. Завдяки замкнутій системі охолодження забруднення навколишнього середовища є помірним.

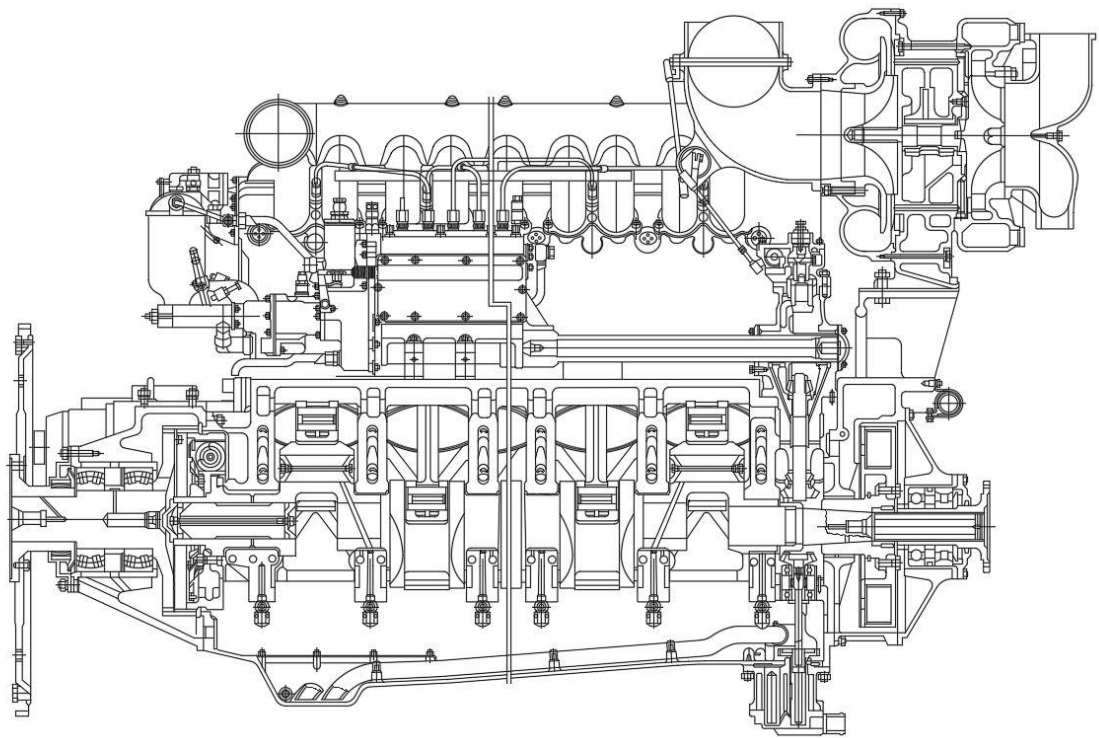


Рис. 2.2. Повздовжний розріз двигуна 12ЧН 18/20

Висновок:

Артилерійський катер, оснащений двигуном 12ЧН 18/20, є гарним маневреним катером для патрулювання водного району завдяки своїм технічним характеристикам, що забезпечують високу ефективність, маневреність і економічність у використанні.

2.1. Особливості застосування системи охолодження двигуна на катері.

Згідно з швидкосними характеристиками цей катер є глісуючим, для нього гвинтова характеристика є параболою з коефіцієнтом, меншим трьох. Найбільша потужність для таких двигунів відповідає найбільшій швидкості катера. Розрахунковий режим для усіх механізмів і систем буде відповідати найбільшій швидкості катера і найбільшій потужності двигунів, яка забезпечує максимальну швидкість згідно характеристиці навантаження. Система охолодження двигунів, яка досліджується і проектується у роботі відповідно розраховується для номінального режиму роботи двигуна.

					КРМ.142.6221м.15.02.ПЗ	Лист
						9
Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата		

2.2. Визначення та обґрунтування параметрів режиму роботи двигуна, для якого доцільно виконувати розрахунки системи охолодження.

Для двигунів 12ЧН18/20 згідно класичній методології можна назвати такі режими роботи, які наближені до максимальної потужності: максимальний режим роботи, номінальний та економічний режими.

Максимальний режим: 1250 кв. і 1600 об/хв.

Номінальний режим: 988 кв. і 1500 об/хв, які забезпечують катеру необхідну швидкість для бойових операцій.

Економічний режим: 800 кв. і 1200 об/хв.

Найбільший у часі режим відповідає номінальному режиму роботи двигуна. Згідно з цим всі розрахунки системи охолодження виконані для номінального режиму.

2.3. Особливості розміщення двигуна у машинному приміщенні об'єкту

Приміщення:

Машинне відділення артилерійського катера — це компактне приміщення, де розміщуються основні силові установки катера. Воно розташоване в центральній частині судна і призначене для розміщення двигуна, систем управління, охолодження та інших важливих механізмів.

Основне обладнання:

- Двигун 12ЧН 18/20: основний дизельний двигун, що забезпечує рух катера.
- Реверсивний редуктор: дозволяє змінювати напрямок обертання гребного вала.
- Система охолодження: рідинна система, що використовує морську воду для відведення потоку тепла від двигунів.
- Масляна система: використовується для змащення рухомих частин двигуна та часткового відведення потоку теплоти від них.
- Генератори: постачають електроенергію для навігаційних і бойових систем катера.

					КРМ.142.6221м.15.02.ПЗ	Лист
						10
Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата		

Вимоги до розміщення обладнання:

- Компактність: усе обладнання повинно бути розміщене максимально компактно. При цьому треба забезпечити доступ до механізмів, агрегатів та апаратів для їх огляду та ремонту.
- Безпека: обладнання встановлюється так, щоб забезпечити безпечну експлуатацію катера, у тому числі стійкість до впливу морської води і вібрацій.
- Устойчивість: розташування обладнання повинно забезпечувати низький центр тяжіння, що підвищує стійкість катера на воді.
- Легкість обслуговування: доступ до основних вузлів і механізмів повинен бути зручним для швидкого проведення ремонтів і технічного обслуговування.

					КРМ.142.6221м.15.02.ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата		11

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

3.1. Розрахунок робочого циклу

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

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

Враховуючи спрямованість кваліфікаційної роботи, рахуємо цикл за методикою Гриневецького-Мазінга в середовищі MathCAD.

Вихідні дані, які були обрані для розрахунку циклу Гриневецького-Мазінга надано в таблиці 3.1., а результати розрахунку циклу надано в таблиці 3.2.

Таблиця 3.1. Вихідні данні

Параметр	Позначення	Розмірність	Значення
Ефективна потужність	N_e	кВт	988
Частота обертання	n	хв^{-1}	1500
Тиск навколишнього середовища	P_0	МПа	0,1
Температура навколишнього середовища	T_0	К	313
Тиск повітря за компресором	P_k	МПа	0,25
Коефіцієнт продування	ϕ_a		1,05
Коефіцієнт залишкових газів	y_r		0,04
Коефіцієнт використання теплоти в точці z	ϵ_z		0,85
Коефіцієнт використання теплоти в точці b	ϵ_b		0,93

Продовження таблиці 3.1.

Ступінь стиснення	ε		14,5
Ступінь підвищення тиску при згорянні	λ		1,6
Підігрів заряду від стінок циліндру	ΔT_a	К	35
Частка ходу поршня, втрачена на газообмін	ϕ_n		0
Коефіцієнт заокруглення індикаторної діаграми	ζ		0,99
Механічний ККД двигуна	η_m		0,885
Адіабатний ККД компресора турбокомпресора	$\eta_{k.ad}$		0,79
Втрата тиску в охолоджувачі повітря	ΔP_{ox}	МПа	0,003
ККД системи охолодження повітря	η_0		0,95
Температура надлишкових газів	T_r	К	800
Масовий склад палива	C	кг/кг	0,87
	H		0,126
	S		0
	O		0,004
Нижча теплота згоряння палива	Q_H	кДж/кг	42700
Число циліндрів	i		12
Діаметр циліндра	D_c	м	0,18
Хід поршня	S_c	м	0,20
Коефіцієнт тактності	z		0,5
Коефіцієнт надлишку повітря при згорянні	α		2,345
Показник адіабати для повітря	k_e		1,4
Механічний ККД турбокомпресора	$\eta_{t.m}$		0,95
Внутрішній ККД турбіни турбокомпресора	$\eta_{t.ad}$		0,8
Коефіцієнт втрат тиску на впускі	ε_a		0,96
Відношення тиску перед турбиною к тиску за компресором	ψ_t		0,857

Таблиця 3.2. Результати розрахунку циклу Грінівецького-Маазінга.

Параметр	Позначення	Розмірність	Значення
Температура повітря за компресором	T_k	К	431,704
Температура повітря в ресивері	T_s	К	318,935
Температура повітря в кінці наповнення	T_a	К	371,092
Тиск повітря в ресивері двигуна	P_s	МПа	0,247
Тиск в кінці наповнення	P_a	МПа	0,237

Продовження таблиці 3.2.

Коефіцієнт наповнення	η_n	-	0,852
Показник політропи стиснення	n_1	-	1,366
Тиск у кінці стиснення	P_c	МПа	9,155
Температура в кінці стиснення	T_c	К	988,129
Дійсна кількість повітря для згоряння	L	кмоль/кг	1,16
Хімічний коефіцієнт молекулярної зміни	β_0	-	1,0273
Дійсний коефіцієнт молекулярної зміни	β	-	1,0262
Частка палива, що вигоріла до точки z	x_z	-	0,914
Коефіцієнт молекулярної зміни у точці z	β_z	-	1,024
Максимальна температура згоряння	T_z	К	1882,053
Максимальний тиск згоряння	P_z	МПа	14,648
Ступінь попереднього розширення	ρ	-	1,219
Ступінь подальшого розширення	δ	-	11,9
Показник політропи розширення	n_2	-	1,267
Температура в кінці процесу розширення	T_b	К	971,4
Тиск у кінці процесу розширення	P_b	МПа	0,636
Теоретичний середній індикаторний тиск	P'_i	МПа	1,477
Дійсний середній індикаторний тиск	P_i	МПа	1,462
Питома індикаторна витрата пального	g_i	кг/(кВт*год)	0,168
Індикаторний ККД	η_i	-	0,501
Середній ефективний тиск	P_e	МПа	1,294
Ефективний ККД	η_e	-	0,443
Питома ефективна витрата пального	g_e	кг/(кВт*год)	0,1902
Ефективна потужність двигуна	N_e	кВт	988,819
Витрата повітря через компресор	G	кг/год	1,843
Витрата газів через турбіну	G_t	кг/год	1,895
Тиск газів перед турбіною	P_r	МПа	0,214
Температура газів	T_t	К	772,403
Кількість робочого тіла	M_s	кмоль/кг	1,192
Універсальна газова стала для відпрацьованих газів	R_t	кДж/кг*К	287,453
Показник адіабати розширення газу в турбіні	k_t	-	1,376
Дійсна ступінь підвищення тиску у компресорі	Π_k	-	2,502
Розрахунковий тиск надуву	P_{kd}	МПа	0.2502

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

3.1 Розрахунок теплового балансу

Для подальшого розрахунку системи охолодження треба поррахувати тепловий баланс двигуна. Розрахунок балансу двигуна був наданий кафедрою в середовищі Microsoft Excel. Результат розрахунку показаний в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3. Розрахунок теплового балансу

Обозначення	Спосіб визначення або формула	Значення	Параметр
D , м	Згідно завдання на проектування	0,18	Діаметр циліндра
S , м		0,2	Хід поршня
i		12	Число циліндрів
Z		0,5	Коефіцієнт тактності
Ne , кВт		988	Ефективна потужність
n , об/мин		1500	Обороти колінчастого вала
P_k		2,5	Ступінь підвищення тиску в компресорі
g_e , кг/кВт·ч		0,1902	Питома витрата палива
η_e		0,443	Ефективний ККД двигуна
g_w , кг/кВт·ч		60	Питома витрата води в системі охолодження
T_o , К		313	Температура навколишнього повітря
P_o , МПа		0,1	Тиск навколишнього повітря
T_{w1} , К		323	Температура води на вході в ОНВ
ψ		0,857	Відношення тисків p_t/p_k
$\eta_{ад}$		0,790	Адіабатний ККД компресора
$\eta_{адт}$		0,790	
$\eta_{ох}$		0,95	ККД охолоджувача наддувочного повітря
P_k , МПа		0,25	Тиск повітря за компресором
P_s , МПа		0,247	Тиск повітря за ОНВ
T_k , К		431,70	Температура повітря за компресором
T_s , К		318,94	Температура повітря за ОНВ

Продовження таблиці 3.3.

T_t, K		772,40	Температура газів перед турбіною
k_t		1,338	Показник адіабати для газів
R_t		287,45	Питома газова стала для газів
$G, \text{кг/с}$		1,843	Масова витрата повітря
$G_t, \text{кг/с}$		1,90	Масова витрата газів
$\Delta T_{мд}, K$		6,00	Перепад температур масла на дизелі
α		0,12	Частка тепла в масло, що охолоджує поршні (від тепла, що відводиться в охолоджувальну воду)
Q_Σ	$Q_\Sigma = \frac{N_e}{\eta_e}$	2230,25	Повний тепловий потік, підведений у двигуні
$C_{pr}, \text{Дж/кгК}$	$C_{pr} = \frac{k_t}{k_t - 1} R_t$	1138,91	
T_{tt}	$T_{tt} = T_t \cdot \left[\frac{1}{\frac{k_t - 1}{k_t} \left(\frac{\psi \cdot P_k}{P_0} \right)} \right]$	637,27	Температура газів за турбіною адіабатна
$T_{зт}, K$	$T_{зт} = T_t - \eta_{адт} (T_t - T_{tt})$	665,65	Температура за турбіною дійсна
$Q_\Gamma, \text{кВт}$	$Q_\Gamma = I_\Gamma - I_\text{в} = G_\Gamma C_{\text{рх}} T_{зт} - G_\text{в} C_p T_0$	856,88	Тепловий потік у газів, що відходять

Продовження таблиці 3.3.(1)

$Q_w, \text{кВт}$	$Q_w = Q_\Sigma - Q_\Gamma - N_e - Q_{\text{нб}} - Q_{\text{тм}} =$ $Q_\Sigma - Q_\Gamma - N_e - Q_{\text{нб}} - aQ_w$		До виведення виразу для Q_w ; $Q_{\text{тм}}$ - тепловий потік у масло, що охолоджує поршні
$Q_{\text{нб}}, \text{кВт}$	$Q_{\text{н.б}} \approx 0,01Q_\Sigma$	22,30	Небаланс тепла
$Q_w, \text{кВт}$	$Q_w = (Q_\Sigma - Q_\Gamma - N_e - Q_{\text{нб}})/(1 + a)$	324,16	Тепловий потік від робочого тіла в зарубашечну воду
$Q_{\text{тм}}, \text{кВт}$	$Q_{\text{тм}} = aQ_w$	38,90	Тепловий потік у масло, що охолоджує поршні
$Q_M, \text{кВт}$	$Q_M \approx 0,5Q_w$	162,08	Витрата тепла в масло
$G_w, \text{т/час}$	$G_{\text{вт}} = N_e g_w / 1000$	59,28	Витрата води насосом, т/год
$G_w, \text{кг/с}$	$G_w = G_{\text{вт}} / 3,6$	16,47	Витрата води насосом, кг/с
$\Delta T_{\text{вд}}, \text{К}$	$\Delta T_{\text{вд}} = \frac{Q_w}{C_{p_w} G_w}$	4,70	Перепад температур води на дизелі
$G_M, \text{кг/с}$	$G_M = \frac{Q_M}{C_{p_M} \Delta T}$	12,28	Витрата масла насосом
$Q_\Sigma, \text{кВт}$	$Q_\Sigma = Q_\Gamma + Q_w + Q_{\text{тм}} + Q_{\text{нб}} + N_e$	2230,25	Перевірка теплового потоку від палива

Висновок: у ході розрахунку теплового балансу ми отримали такі данні: Q_w , Q_H , Q_M , Q_Σ , G_{wg} , $G_{\Sigma H}$, $G_{\Sigma M}$, $G_{\Sigma G}$, G_{ww} , які дозволять нам почати рахувати систему охолодження.

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

Згідно з завданням кафедри я повинен обрати найкращу систему з трьох наданих мені. Краща система обирається на підставі даних які відповідають оптимальним рішенням для кожної системи. Оптимальне рішення відповідає найменшим можливим сумарним масам серцевин кожної системи.

Для того щоб отримати найменшу масу серцевин для кожної системи необхідно зробити ряд розрахунків кожної системи і побудувати відповідні графіки залежностей. Розрахунки кожної системи виконуються на підставі програм прямих розрахунків систем у яких частина параметрів є постійною, а частину можна змінювати для отримання різних варіантів. Зміна параметрів (температур води за теплообмінниками) фактично відповідає зміні розходів води через гілки систем. Такий спосіб зміни розходів (через завдання різних температур води) був розроблений на кафедрі для того щоб поліпшити математичне рішення задач. Для кожної системи є різна низка, які можна змінювати залежно від наданої схеми, ці температури змінюються через невеликі проміжки, які задаються довільно щоб побудувати потім відповідні криві.

Криві дозволяють визначити можливі мінімум маси кожної системи залежно від зміни температур. Особливості побудови кривих такі що оптимальні температури відшукуються через низку наближень, бо мінімуми мас серцевин системи мають бути приблизно однакові для всіх кривих даної системи.

Кожна система має своє значення мінімуму, з трьох систем одна буде мати найменше значення мінімальне значення сумарної маси, відповідно така система буде найкращою, за габаритами і ціною.

					КРМ.142.6221м.15.04.ПЗ	Лист
						19
Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата		

4.1 Системи охолодження надані кафедрою для оптимізації та порівняння

4.1.1. Система 2В2НПР

Схема системи надана на рисунку 4.1.

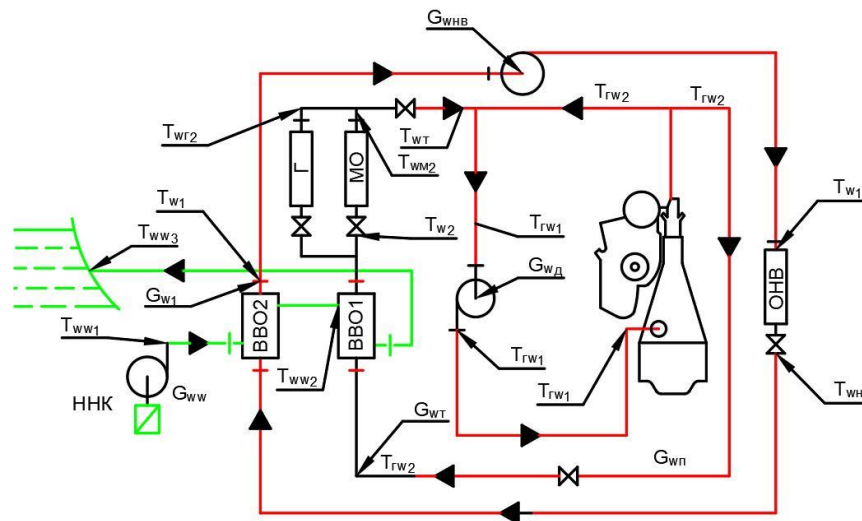


Рис. 4.1. Схема системи охолодження типу 2В2НПР: 2 ВВО, 2 Насоси ТВК, скидання гарячого ТВК на охолодження після двигуна, з відокремленням контуру ОНП.

На рисунку 4.1 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 $T_{wM,H,T2}$ – 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; $G_{wД,П,В,М,Н}$ - витрати ТВК через двигун, перепад, ВВО, МО, ОНВ; G_{ww} – витрата ТВК через ВВО.

Контур, який включає головний двигун, працює наступним чином – частина контуру, так званий повнопотоковий циркуляційний контур включає насос і головний двигун. Розхід ТВК у цьому контурі відповідає інструкції на експлуатації двигуна. За двигуном невелика частина гарячої рідини або гарячого ТВК скидається на ВВО1, де охолоджується і після цього охолоджений ТВК охолоджує масло у Г та МО. Після Г та МО ТВК надходить до повнопотокового контуру, де змішується з ТВК, що надходить після двигуна. Таким чином утворюється нова температура, з якою ТВК надходить до насоса, а після нього надходить до двигуна. Далі

повторюється описаний вище цикл. У циркуляційному контурі, в якому є ОНП, насос надсилає ТВК до ОНП, а підігрітий в ОНП ТВК надходить до ВВО2, де охолоджується і знову йде до насосу, а далі до ОНП. Охолодження ВВО1 та ВВО2 забезпечується перекачуванням через них забортної води відповідним насосом послідовно.

4.1.2. Система типу В2НД

Схема системи надана на рисунку 4.2.

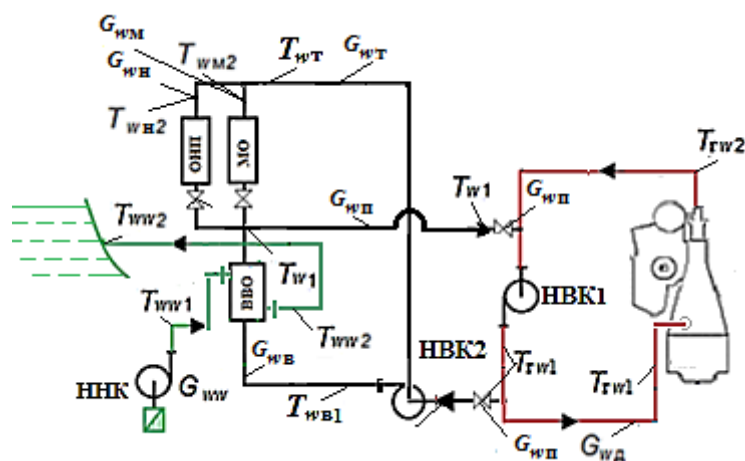


Рис. 4.2. Схема системи типу В2НД: ВВО, 2 Насоса ТВК, а скидання гарячого ТВК на охолодження виконується до двигуна. T_{w3} - температура ТВК перед ВВО, всі інші позначення збігаються з рис. 4.1.

Система складається з двох об'єднаних циркуляційних контурів: повнопотокового, у який входить двигун і циркуляційний насос НБК1 і малорозхідного в який входять всі теплообмінники і НБК2.

Працює схема наступним чином. ТВК у повнопотоковому контурі до охолодження двигуна скидається у не великій кількості на вхід до насосу НБК2. З насосу ТВК іде до охолоджувача ВВО, де охолоджується, а після охолодження йде до ОНП і МО. Крім того охолоджений ТВК надходить у повнопотоковий контур, де змішується з ТВК після двигуна. Змішення забезпечує температуру T_{gw1} необхідну для входу в двигун. Після ОНП і МО ТВК йде на вхід до насосу НБК2, де змішується з ТВК, який скидається з повнопотокового контуру.

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

4.2.1. Розрахунки системи 2В2НПР

4.2.1.1 Початкові дані. Копія таблиці з такими 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			1500		Частота обертання колінвалу
Ne	кВт			988		Потужність ГД
T_0	К	°C		313	40	Повітря перед компресором
P_0	Па			100000		Повітря перед компресором
T_{ww1}	К	°C		298	25	Заб. вода перед ВВО
$\eta_{ад1}$				0,790		
P_1	Па			250000,000		Тиск повітря після компресора
$T_{к1}$	К	°C	$T_{к1} = T_{в1} \left(1 + \frac{\Pi_{к1}^{0,286} - 1}{\eta_{ад1}} \right)$	431,704	158,704	T1 або Tk, повітря за компресором
T_s	К	°C		323,000	50,0	T2 або температура повітря за ОНВ
$T_{гw2}$	К	°C		378	105	Температура води за головним двигуном
$T_{вw2}$	К	°C		378	105	Температура води за допоміжними двигунами
$T_{гг1}$	К	°C		363	90	Гідравл. масло на виході із системи
$T_{гм1}$	К	°C		363	90	Масло на виході з двигуна або вхід в МО
$Q_{гw}$	кВт	476	Заданы	324,2		Тепловідведення в зарубашечну воду
$Q_{гм}$	кВт	122		162,1		Тепловідведення в масло
$Q_{гг}$	кВт			20,0		Тепловідведення в гідросуміш
$Q_{гн}$	кВт			201,3		Теплопідвід від ОНВ
$G_{гwд}$	кг/с		$Q_{гн} = W_n (T_1 - T_2)$	16,47		Витрата води через двигун
$G_{гн}$	кг/с			1,843		Витрата наддувного повітря
$G_{гм}$	кг/с			12,28		Витрата масла

Продовження таблиці 4.1

$G_{гг}$				2	Витрата гідравлічної рідини
G_{ww}	кг/с			16,47	Витрата заб. води через ВВО
Z_H	шт			1	Число ОНВ

Продовження таблиці 4.1

Обозначення	Розмірність	Значення		Параметр
ОНВ				
схема		3	3	
Z		1	1	
b_{wt}		20	20	
b_{wt}		1	1	
k_{qnv}	Вт/кг·К	277,44	277,44	
ВВО1		4040,00	4040	
схема		1	1	
b_w		44	44	
b_{ww}		1	1	
bp		2	2	
k_{qv}	Вт/кг·К	131,11	131,11	
ВВО2		4040,00	4040	C_{pww}
схема		1	1	Імовірна схема 4
b_w		44	44	Число ходів прісною водою
b_{ww}		1	1	Число ходів по забортній воді
bp		2	2	Число протитечієвих реверсивних елементів
k_{qv}	Вт/кг·К	172,80	172,80	Коефіцієнт використання маси пучка
Г		1925,00	1925,72	
схема		4,00	4,00	
b_M		20,00	20,00	
b_w		6,00	6,00	
b_p		4,00	4,00	
k_{qmo}	Вт/кг·К	49,64	49,64	
МО		1925	1925,72205	C_{pm}
схема		4	4	Імовірна схема 4
b_M		9	9	Число ходів по маслу
b_w		5	5	Число ходів прісною водою
b_p		4	4	Число протитечієвих реверсивних елементів
k_{qmo}	Вт/кг·К	57,49	57,49	Коефіцієнт використання маси пучка

Таблиця. 4.1.1 Змінні вхідні дані для розрахунків теплової схеми системи

Обозначення	Розмірність		Значення		Параметр
T_{wm2}	К	°C	337	64,00	Вода за МО
T_{wt2}	К	°C	337	64,00	Вода за Г
T_{wn2}	К	°C	363,00	90,00	Вода за ОНВ
T_{w1}	К	°C	312,000	39,000	Вода за В1 та перед ОНВ

Копія таблиць результатів по системі типу 2В2НПР

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

Результати			Вплив t_{w1}							
Параметри			1		2		3		4	
Q_W	кВт		324,16		324,16		324,16		324,16	
Q_M	кВт		162,08		162,08		162,08		162,08	
Q_H	кВт		201,3		201,3		201,3		201,3	
G_{WD}	кг/с		16,47		16,47		16,47		16,47	
G_H	кг/с		1,843		1,843		1,843		1,843	
G_M	кг/с		12,28		12,28		12,28		12,28	
G_{Γ}	кг/с		2		2		2		2	
G_{ww}	кг/с		16,47		16,47		16,47		16,47	
G_{wn}	кг/с		0,8896844		0,9064709		0,9239031		0,9420188	
G_{wb1}	кг/с		0,8896844		0,9064709		0,9239031		0,9420188	
G_{wb2}	кг/с		1,886955		1,886955		1,886955		1,886955	
G_{wm}	кг/с		1,6796884		1,6796884		1,6796884		1,6796884	
G_{wt}	кг/с		0,2072666		0,2072666		0,2072666		0,2072666	
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		250000		250000		250000		250000	
T_{ww1}	К	°C	298	25	298	25	298	25	298	25
T_{ww2}	К	°C	301,0253	28,025303	301,0253	28,025303	301,0253	28,025303	301,0253	28,025303
T_{ww3}	К	°C	308,6335	35,633495	308,6335	35,633495	308,6335	35,633495	308,6335	35,633495
$T_1 (T_{K1})$	К	°C	431,70363	158,70363	431,70363	158,70363	431,70363	158,70363	431,70363	158,70363
$T_2 (T_{S2})$	К	°C	323	50	323	50	323	50	323	50
T_{gw1}	К	°C	373,30266	100,30266	373,30266	100,30266	373,30266	100,30266	373,30266	100,30266
T_{gw2}	К	°C	378	105	378	105	378	105	378	105
T_{w1}	К	°C	309	36	310	37	311	38	312	39

Продовження таблиці 4.1.2

T_{w2}	К	°C	313,97038	40,970385	313,97038	40,970385	313,97038	40,970385	313,97038	40,970385
T_{wh2}	К	°C	363,0114	90,011399	363,01119	90,011188	363,01098	90,010977	363,01077	90,010766
T_{wm2}	К	°C	337	64	337	64	337	64	337	64
T_{wg2}	К	°C	337	64	337	64	337	64	337	64
T_{wt}	К	°C	337	64	337	64	337	64	337	64
T_{m1}	К	°C	363	90	363	90	363	90	363	90
T_{m2}	К	°C	356,14353	83,143534	356,14353	83,143534	356,14353	83,143534	356,14353	83,143534
T_{r1}	К	°C	363	90	363	90	363	90	363	90
T_{r2}	К	°C	357,80519	84,805195	357,80519	84,805195	357,80519	84,805195	357,80519	84,805195
ОНВ										
схема			3	3	3	3	3	3	3	3
Z			1	1	1	1	1	1	1	1
b_{wt}			14	14	14	14	14	14	14	14
b_{wg}			1	1	1	1	1	1	1	1
k_{ghb}	Вт/кг·К		113,87738	113,87738	113,87738	113,87738	113,87738	113,87738	113,87738	113,87738
η_{hb}			0,885717	0,9469612	0,8929946	0,9469612	0,9003929	0,9469612	0,9079147	0,9469612
Δp_{hb}	мм.в.ст.		129,48655		129,48655		129,48655		129,48655	
Δp_{whb}	кПа		16,244967		16,244967		16,244967		16,244967	
S_{hb}			0,4968684	0,3740356	0,4876671	0,3740356	0,4784659	0,3740356	0,4692646	0,3740356
M_{hb}	кг		21,309265	21,040356	21,988117	21,257309	22,764471	23,152313	23,527312	23,427428
ВВО1										
схема			1	1	1	1	1	1	1	1
b_w			59	59	57	57	56	56	44	44
b_{ww}			1	1	1	1	1	1	1	1
b_p			2	2	2	2	2	2	2	2
k_{gb}	Вт/кг·К		172,7964	136,79372	172,7964	137,18079	172,7964	135,5471	172,7964	131,10641
η_{b1}			0,8307692	0,8307692	0,8153846	0,8153846	0,8	0,8	0,7846154	0,7846154
Δp_{wb1}	кПа			37,018863		37,018863		37,018863		37,018863
Δp_{wwb1}	кПа			54,19129		54,19129		54,19129		54,19129
S_{b1}			0,0560241	0,0560241	0,0570812	0,0570812	0,0581789	0,0581789	0,0593197	0,0593197
k_{D1}			0,07		0,07		0,07		0,07	
M_{b1}	кг		49,909057	49,909057	48,209158	48,209158	47,359209	47,359209	47,612324	47,612324
ВВО2										
схема			4	4	4	4	4	4	4	4
b_w			9	9	9	9	9	9	9	9
b_{ww}			5	5	5	5	5	5	5	5
b_p			4	4	4	4	4	4	4	4
k_{gb}	Вт/кг·К		57,487211	57,487211	57,487211	57,487211	57,487211	57,487211	57,487211	57,487211
η_{b2}			0,8318268	0,8318268	0,8318268	0,8318268	0,8318268	0,8318268	0,8318268	0,8318268
Δp_{wb2}	кПа			37,018863		37,018863		37,018863		37,018863

Продовження таблиці 4.1.2 (І)

Δp_{wwB2}	кПа			54,19129		54,19129		54,19129		54,19129
S_{B2}			87,169329	0,0560241	87,169329	0,0570812	87,169329	0,0581789	87,169329	0,0593197
k_{D2}			0,07		0,07		0,07		0,07	
M_{B2}	кг		87,169329	87,169329	87,169329	87,169329	87,169329	87,169329	87,169329	87,169329
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}			0,4697083	0,4698844	0,4697083	0,4698844	0,4697083	0,4698844	0,4697083	0,4698844
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		11,888231	11,818708	11,888231	11,818708	11,888231	11,818708	11,888231	11,818708
МО										
Схема	кг		4	4	4	4	4	4	4	4
b_m			9	9	9	9	9	9	9	9
b_w			5	5	5	5	5	5	5	5
b_p			4	4	4	4	4	4	4	4
k_{gMO}	Вт/кг·К		57,487211	57,487211	57,487211	57,487211	57,487211	57,487211	57,487211	57,487211
η_{MO}			0,4697083	0,4698844	0,4697083	0,4698844	0,4697083	0,4698844	0,4697083	0,4698844
Δp_m	кПа			69,228709		69,228709		69,228709		69,228709
Δp_{wm}	кПа			32,764972		32,764972		32,764972		32,764972
S_m			0,2977239	0,2976122	0,2977239	0,2976122	0,2977239	0,2976122	0,2977239	0,2976122
k_D			0,25		0,25		0,25		0,25	
M_{MO}	кг		84,443953	84,488621	84,443953	84,488621	84,443953	84,488621	84,443953	84,488621
η_o			0,8130193		0,8130193		0,8130193		0,8130193	
M_{Σ}	кг		254,71984	254,42607	253,69879	252,94313	253,62519	253,98818	254,64115	254,51641
Індикатор			Вірно		Вірно		Вірно		Вірно	

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

Результати		Вплив t_{wm2}							
Параметри		1		2		3		4	
Q_w	кВт	324,16		324,16		324,16		324,16	
Q_m	кВт	162,08		162,08		162,08		162,08	

Продовження таблиці 4.1.3

Q_H	КВт		201,3		201,3		201,3		201,3	
G_{WD}	кг/с		16,47		16,47		16,47		16,47	
G_H	кг/с		1,843		1,843		1,843		1,843	
G_M	кг/с		12,28		12,28		12,28		12,28	
G_{Γ}	кг/с		2		2		2		2	
G_{WW}	кг/с		16,47		16,47		16,47		16,47	
G_{WH}	кг/с		0,9064709		0,9064709		0,9064709		0,9064709	
G_{WB1}	кг/с		0,9064709		0,9064709		0,9064709		0,9064709	
G_{WB2}	кг/с		1,7991897		1,8420275		1,886955		1,9102507	
G_{WM}	кг/с		1,6015634		1,6396958		1,6796884		1,7004253	
$G_{W\Gamma}$	кг/с		0,1976263		0,2023317		0,2072666		0,2098254	
Z	шт		1		1		1		1	
T_0	К	°C	313	40	313	40	313	40	313	40
P_o	Па		100000		100000		100000		100000	
P_1	Па		250000		250000		250000		250000	
T_{WW1}	К	°C	298	25	298	25	298	25	298	25
T_{WW2}	К	°C	301,0253	28,025303	301,0253	28,025303	301,0253	28,025303	301,0253	28,0253
T_{WW3}	К	°C	308,6335	35,633495	308,6335	35,633495	308,6335	35,633495	308,6335	35,6335
$T_1 (T_K)$	К	°C	431,70	158,70	431,70363	158,70363	431,70363	158,70363	431,70363	158,7036
$T_2 (T_s)$	К	°C	323,0	50,0	323	50	323	50	323	50
$T_{\Gamma W1}$	К	°C	373,303	100,303	373,30266	100,30266	373,30266	100,30266	373,30266	100,3027
$T_{\Gamma W2}$	К	°C	378,0	105,0	378	105	378	105	378	105
T_{W1}	К	°C	310,0	37,0	310	37	310	37	310	37
T_{W2}	К	°C	310,85	37,85	312,40869	39,408687	313,97038	40,970385	314,75123	41,75123
T_{WH2}	К	°C	363,0	90,0	363,01119	90,011188	363,01119	90,011188	363,01119	90,01119
T_{WM2}	К	°C	335,0	62,0	336	63	337	64	337,5	64,5
$T_{W\Gamma2}$	К	°C	335,0	62,0	336	63	337	64	337,5	64,5
T_{WT}	К	°C	335,0	62,0	336	63	337	64	337,5	64,5
T_{M1}	К	°C	363,0	90,0	363	90	363	90	363	90
T_{M2}	К	°C	356,1	83,1	356,14353	83,143534	356,14353	83,143534	356,14353	83,14353
$T_{\Gamma1}$	К	°C	363	90	363	90	363	90	363	90
$T_{\Gamma2}$	К	°C	357,80519	84,805195	357,80519	84,805195	357,80519	84,805195	357,80519	84,80519
ОНВ										
схема			3	3	3	3	3	3	3	3
Z			1	1	1	1	1	1	1	1
b_{WT}			14	14	14	14	14	14	14	14
$b_{W\Gamma}$			1	1	1	1	1	1	1	1
$k_{\text{гнв}}$	Вт/кг·К	·	113,88	113,88	113,87738	113,87738	113,87738	113,87738	113,87738	113,8774
$\eta_{\text{нв}}$			0,8929946	0,9469612	0,8929946	0,9469612	0,8929946	0,9469612	0,8929946	0,946961

Продовження таблиці 4.1.3 (1)

Δp_{HB}	мм.в.ст.		129,49		129,48655		129,48655		129,48655	
Δp_{WHB}	кПа		16,244967		16,244967		16,244967		16,244967	
S_{HB}			0,488	0,374	0,4876671	0,3740356	0,4876671	0,3740356	0,4876671	0,374036
M_{HB}	кг		21,988107	21	21,988107	21,257305	21,988107	21,257305	21,988107	21,2573
BBO1										
схема			1	1	1	1	1	1	1	1
b_w			57,00	57,00	57	57	57	57	57	57
b_{ww}			1	1	1	1	1	1	1	1
b_p			2,00	2,00	2	2	2	2	2	2
k_{gB}	Вт/кг·К		171,16134	137,18079	169,43538	137,18079	172,7964	137,18079	173,05143	137,1808
η_{B1}			0,8153846	0,8153846	0,8153846	0,8153846	0,8153846	0,8153846	0,8153846	0,815385
Δp_{WB1}	кПа			37,0		37,018863		37,018863		37,01886
Δp_{WWB1}	кПа			54,19129		54,19129		54,19129		54,19129
S_{B1}			0,0570812	0,0570812	0,0570812	0,0570812	0,0570812	0,0570812	0,0570812	0,057081
k_{D1}			0		0,07		0,07		0,07	
M_{B1}	кг		48	48	48,209158	48,209158	48,209158	48,209158	48,209158	48,20916
BBO2										
схема			4,00	4,00	4	4	4	4	4	4
b_w			9	9	9	9	9	9	10	10
b_{ww}			6,00	6,00	5	5	5	5	5	5
b_p			4,00	4,00	4	4	4	4	4	4
k_{gB}	Вт/кг·К		53,450254	53,450254	55,395281	55,395281	57,487308	57,487308	52,702673	52,70267
η_{B2}			0,87	0,87	0,8521152	0,8521152	0,8318268	0,8318268	0,8216826	0,821683
Δp_{WB2}	кПа			37,02		37,018863		37,018863		37,01886
Δp_{WWB2}	кПа			54,19		54,19129		54,19129		54,19129
S_{B2}			97,101974	0,0570812	93,128916	0,0570812	87,169329	0,0570812	85,1828	0,057081
k_{D2}			0,07		0,07		0,07		0,07	
M_{B2}	кг		97,101974	97,101974	93,128916	93,128916	87,169329	87,169329	85,1828	85,1828
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		55,99345		55,99345	
η_{Γ}			0,4631182	0,463292	0,4663115	0,4664864	0,4697083	0,4698844	0,4714891	0,471666
Δp_{Γ}	кПа									
$\Delta p_{w\Gamma}$	кПа									
S_{Γ}			0,549		0,549018		0,549018		0,549018	

Продовження таблиці 4.1.3 (2)

k_D			0,25		0,25		0,25		0,25	
M_T	кг		11,218485	11,22436	11,090171	11,22436	11,53569	11,818708	11,812524	11,81871
МО										
Схема	кг		4	4	4	4	4	4	4	4
b_m			9	9	9	9	9	9	10	10
b_w			6	6	5	5	5	5	5	5
b_p			4	4	4	4	4	4	4	4
k_{gMO}	Вт/кг·К		53,450254	53,450254	55,395281	55,395281	57,487308	57,487308	52,702673	52,70267
η_{MO}			0,4631182	0,463292	0,4663115	0,4664864	0,4697083	0,4698844	0,4714891	0,471666
Δp_m	кПа			69,228709		69,228709		69,228709		77,24108
Δp_{wm}	кПа			107,70517		31,259983		32,764972		35,38794
S_m			0,2838762	0,2837698	0,2906352	0,2905262	0,2977239	0,2976122	0,3013995	0,301286
k_D			0,25		0,25		0,25		0,25	
M_{MO}	кг		84,444293	84,488621	84,44413	84,488621	84,443953	84,488621	93,882819	93,93258
η_o			0,8130193		0,8130193		0,8130193		0,8130193	
M_Σ	кг		262,96202	262,28142	258,86048	258,30836	253,34624	252,94312	261,07541	260,4006
Індикатор			Вірно		Вірно		Вірно		Вірно	

Таблиця.4.1.4 Розрахунок впливу t_{wn2} на M_Σ при постійних t_{w1} , t_{wm2}

Результати			Вплив t_{wn2}							
Параметри			1		2		3		4	
Q_w	кВт		324,16		324,16		324,16		324,16	
Q_m	кВт		162,08		162,08		162,08		162,08	
Q_n	кВт		201,3		201,3		201,3		201,3	
G_{wd}	кг/с		16,47		16,47		16,47		16,47	
G_n	кг/с		1,843		1,843		1,843		1,843	
G_m	кг/с		12,28		12,28		12,28		12,28	
G_r	кг/с		2		2		2		2	
G_{ww}	кг/с		16,47		16,47		16,47		16,47	
G_{wn}	кг/с		0,9420188		0,9239031		0,9064709		0,8896844	
G_{wb1}	кг/с		0,9420188		0,9239031		0,9064709		0,8896844	
G_{wb2}	кг/с		1,886955		1,886955		1,886955		1,886955	
G_{wm}	кг/с		1,6796884		1,6796884		1,6796884		1,6796884	
G_{wr}	кг/с		0,2072666		0,2072666		0,2072666		0,2072666	
Z	шт		1		1		1		1	
T_o	К	°C	313	40	313	40	313	40	313	40
P_o	Па		100000		100000		100000		100000	

Продовження таблиці 4.1.4

P_1	Па		250000		250000		250000		250000	
T_{ww1}	К	°C	298	25	298	25	298	25	298	25
T_{ww2}	К	°C	301,0253	28,025303	301,0253	28,025303	301,0253	28,025303	301,0253	28,0253
T_{ww3}	К	°C	308,6335	35,633495	308,6335	35,633495	308,6335	35,633495	308,6335	35,6335
$T_1 (T_K)$	К	°C	431,70363	158,70363	431,70363	158,70363	431,70363	158,70363	431,70363	158,7036
$T_2 (T_s)$	К	°C	323	50	323	50	323	50	323	50
$T_{гw1}$	К	°C	373,30266	100,30266	373,30266	100,30266	373,30266	100,30266	373,30266	100,3027
$T_{гw2}$	К	°C	378	105	378	105	378	105	378	105
T_{w1}	К	°C	310	37	310	37	310	37	310	37
T_{w2}	К	°C	313,97038	40,970385	313,97038	40,970385	313,97038	40,970385	313,97038	40,97038
T_{wh2}	К	°C	361,01077	88,010766	362,01098	89,010977	363,01119	90,011188	364,0114	91,0114
T_{wm2}	К	°C	337	64	337	64	337	64	337	64
$T_{wг2}$	К	°C	337	64	337	64	337	64	337	64
$T_{wт}$	К	°C	337	64	337	64	337	64	337	64
$T_{м1}$	К	°C	363	90	363	90	363	90	363	90
$T_{м2}$	К	°C	356,14353	83,143534	356,14353	83,143534	356,14353	83,143534	356,14353	83,14353
$T_{г1}$	К	°C	363	90	363	90	363	90	363	90
$T_{г2}$	К	°C	357,80519	84,805195	357,80519	84,805195	357,80519	84,805195	357,80519	84,80519
ОНВ										
схема			3	3	3	3	3	3	3	3
Z			1	1	1	1	1	1	1	1
$b_{wт}$			14	14	14	14	14	14	14	14
$b_{wг}$			1	1	1	1	1	1	1	1
$k_{гнв}$	Вт/кг·К		113,87738	113,87738	113,87738	113,87738	113,87738	113,87738	113,87738	113,8774
$\eta_{нв}$			0,8929946	0,9469612	0,8929946	0,9469612	0,8929946	0,9469612	0,8929946	0,946961
$\Delta p_{нв}$	мм.в.ст.		129,48655		129,48655		129,48655		129,48655	
$\Delta p_{whв}$	кПа		16,244967		16,244967		16,244967		16,244967	
$S_{нв}$			0,4692646	0,3740356	0,4784659	0,3740356	0,4876671	0,3740356	0,4968684	0,374036
$M_{нв}$	кг		21,553015	21,094462	21,768959	21,175217	21,988117	21,257309	22,232098	22,99042
ВВО1										
схема			1	1	1	1	1	1	1	1
b_w			47	47	58	58	57	57	57	57
b_{ww}			1	1	1	1	1	1	1	1
b_p			2	2	2	2	2	2	2	2
$k_{гв}$	Вт/кг·К		172,7964	132,698	172,7964	136,1937	172,7964	137,18079	172,7964	135,8008
$\eta_{в1}$			0,8095238	0,8095238	0,8125	0,8125	0,8153846	0,8153846	0,8181818	0,818182
Δp_{wb1}	кПа			37,018863		37,018863		37,018863		37,01886
Δp_{wwb1}	кПа			54,19129		54,19129		54,19129		54,19129
$S_{в1}$			0,0593197	0,0593197	0,0581789	0,0581789	0,0570812	0,0570812	0,0560241	0,056024

Продовження таблиці 4.1.4 (1)

k_{D1}			0,07		0,07		0,07		0,07	
M_{B1}	кг		50,87837	50,87837	49,059107	49,059107	48,209158	48,209158	48,209158	48,20916
ВВО2										
схема			4	4	4	4	4	4	4	4
b_w			9	9	9	9	9	9	9	9
b_{ww}			5	5	5	5	5	5	5	5
b_p			4	4	4	4	4	4	4	4
k_{gB}	Вт/кг·К		57,487211	57,487211	57,487211	57,487211	57,487211	57,487211	57,487211	57,48721
η_{B2}			0,8318268	0,8318268	0,8318268	0,8318268	0,8318268	0,8318268	0,8318268	0,831827
Δp_{WB2}	кПа			37,018863		37,018863		37,018863		37,01886
Δp_{WWB2}	кПа			54,19129		54,19129		54,19129		54,19129
S_{B2}			87,169329	0,0593197	87,169329	0,0581789	87,169329	0,0570812	87,169329	0,056024
k_{D2}			0,07		0,07		0,07		0,07	
M_{B2}	кг		87,169329	87,169329	87,169329	87,169329	87,169329	87,169329	87,169329	87,16933
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		55,99345		55,99345	
η_{Γ}			0,4697083	0,4698844	0,4697083	0,4698844	0,4697083	0,4698844	0,4697083	0,469884
Δp_{Γ}	кПа									
$\Delta p_{W\Gamma}$	кПа									
S_{Γ}			0,549018		0,549		0,549018		0,549018	
k_D			0,25		0,25		0,25		0,25	
M_{Γ}	кг		11,888231	11,818708	11,888231	11,818708	11,888231	11,818708	11,888231	11,81871
МО										
Схема	кг		4	4	4	4	4	4	4	4
b_m			9	9	9	9	9	9	9	9
b_w			5	5	5	5	5	5	5	5
b_p			4	4	4	4	4	4	4	4
k_{gMO}	Вт/кг·К		57,487211	57,487211	57,487211	57,487211	57,487211	57,487211	57,487211	57,48721
η_{MO}			0,4697083	0,4698844	0,4697083	0,4698844	0,4697083	0,4698844	0,4697083	0,469884
Δp_m	кПа			69,228709		69,228709		69,228709		69,22871
Δp_{WM}	кПа			32,764972		32,764972		32,764972		32,76497
S_m			0,2977239	0,2976122	0,2977239	0,2976122	0,2977239	0,2976122	0,2977239	0,297612
k_D			0,25		0,25		0,25		0,25	
M_{MO}	кг		84,443953	84,488621	84,443953	84,488621	84,443953	84,488621	84,443953	84,48862

Продовження таблиці 4.1.4 (2)

η_o			0,8130193		0,8130193		0,8130193		0,8130193	
M_Σ	кг		255,9329	255,44949	254,32958	253,71098	253,69879	252,94313	253,94277	254,6762
Індикатор			Вірно		Вірно		Вірно		Вірно	

Згідно з таблицями 4.1.2 – 4.1.4 побудовані графіки залежностей рис. 4.4. ... 4.6.

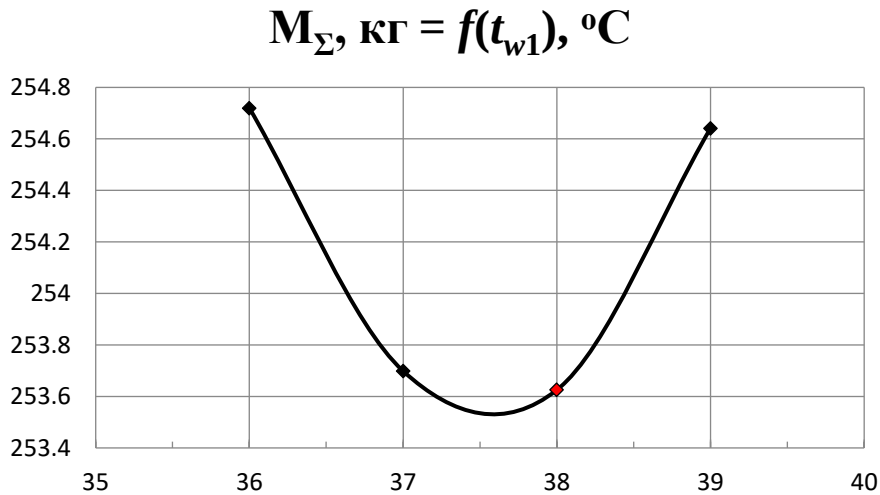


Рис. 4.4. Залежність M_Σ від зміни температури t_{w1} при постійних значеннях інших температур: $t_{wm2} = 64^\circ\text{C}$, $t_{wh2} = 90^\circ\text{C}$

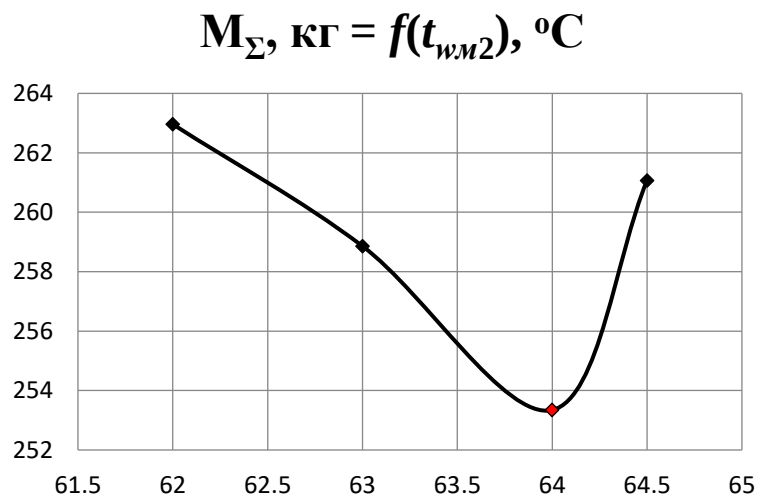


Рис. 4.5. Залежність M_Σ від зміни температури t_{wm2} при постійних значеннях інших температур: $t_{w1} = 38^\circ\text{C}$, $t_{wh2} = 90^\circ\text{C}$

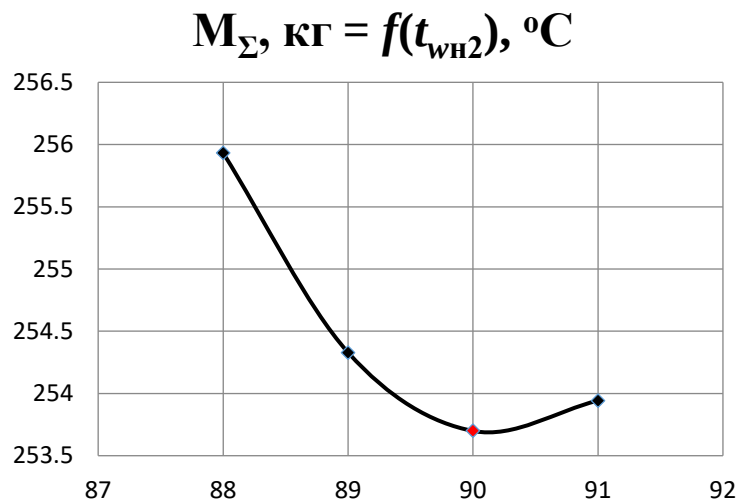


Рис. 4.6. Залежність M_{Σ} від зміни температури t_{wH2} при постійних значеннях інших температур: $t_{w1} = 38^\circ\text{C}$, $t_{wM2} = 64^\circ\text{C}$

На підставі показаних рисунків заповнена таблиця 4.1.5. Згідно з таблицею 3.1.5. система типу 2В2НПР у точці оптимуму має масу приблизно 254 кг.

Таблиця 4.1.5. Оптимальні температури та сумарна маса

M_{Σ}	253,6988	кг
T_{wH2}	90	$^\circ\text{C}$
T_{w1}	38	$^\circ\text{C}$
T_{wM2}	64	$^\circ\text{C}$

4.3. Система типу В2НД. ВВО, 2 Насоса ТВК, а скидання гарячого ТВК на охолодження виконується до двигуна.

4.3.1. Розрахунки системи В2НД

4.3.1.1 Початкові дані. Копія таблиці з такими даними приведена у табл. 4.2.

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

Обозначення	Розмірність		Формула	Значення		Параметр
n	об/мин			1500		Частота обертання колінвалу
Ne	кВт			988		Потужність ГД
T_0	К	$^\circ\text{C}$		313	40	Повітря перед компресором

Продовження таблиці 4.2

P_0	Па			100000		Повітря перед компресором
T_{ww1}	К	°C		298	25	Заб. вода перед ВВО
$\eta_{ад1}$				0,790		
P_1	Па			250000,000		Тиск повітря після компресора
$T_{к1}$	К	°C	$T_{к1} = T_{в1} \left(1 + \frac{P_{к1}^{0,286} - 1}{\eta_{ад1}}\right)$	431,704	158,704	T1 або Tk, повітря за компресором
T_s	К	°C		323,000	50,0	T2 або температура повітря за ОНВ
$T_{гw2}$	К	°C		378	105	Температура води за головним двигуном
$T_{вw2}$	К	°C		378	105	Температура води за допоміжними двигунами
$T_{гг1}$	К	°C		363	90	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	324,2		Тепловідведення в зарубашечну воду
$Q_{гм}$	кВт	122		162,1		Тепловідведення в масло
$Q_{гн}$	кВт		$Q_{гн} = W_n (T_1 - T_2)$	201,3		Теплопідвід від ОНВ
$G_{гwd}$	кг/с			16,47		Витрата води через двигун
$G_{гн}$	кг/с			1,843		Витрата наддувного повітря
$G_{гм}$	кг/с			12,28		Витрата масла
G_{ww}	кг/с			16,47		Витрата заб. води через ВВО
Z_B	шт			0		Число ДГ

Продовження таблиці 4.2

Обозначення	Розмірність	Значення		Параметр
ОНВ		201342,49		
схема		3	3	Імовірна схема 3
Z		1	1	Число парал. роб. ОНВ
b_{wt}		13	13	Число термодинамічних ходів по воді
b_{wg}		1	1	Число гідравлічних ходів по воді
$k_{гнв}$	Вт/кг·К	125,12	125,1221	Коефіцієнт використання маси пучка
ВВО		4040	4040	C_{pww}

Продовження таблиці 4.2

схема		4	4	Імовірна схема 4
b_w		19	19	Число ходів прісною водою
b_{ww}		2	2	Число ходів по забортній воді
b_p		2	2	Число протитечійних реверсивних елементів
k_{GB}	Вт/кг·К	165,20	165,20	Коефіцієнт використання маси пучка
МО		1925	1925,72205	C_{pm}
схема		4	4	Імовірна схема 4
b_m		19	19	Число ходів по маслу
b_w		3	3	Число ходів прісною водою
b_p		4	4	Число протитечійних реверсивних елементів
k_{gMO}	Вт/кг·К	52,91	52,91	Коефіцієнт використання маси пучка

Таблиця. 4.2.1 Змінні вхідні дані для розрахунків теплової схеми системи

Обозначення	Розмірність		Значення		Параметр
$T_{ГWM2}$	К	°C	336	63,00	Вода за МО
$T_{ГWH2}$	К	°C	362,00	89,00	Вода за ОНВ
T_{w1}	К	°C	317,000	44,000	Вода перед теплообмінниками ГД.

Копія таблиць по системі типу В2НД

Таблиця.4.2.2. Розрахунок впливу t_{wm2} на M_{Σ} при постійних t_{w1} , t_{wh2}

Результати			Вплив t_{wm2}									
Параметр	и		1		2		3		4		5	
$Q_{ГW}$	кВт		324,16		324,16		324,16		324,16		324,16	
$Q_{ГМ}$	кВт		162,08		162,08		162,08		162,08		162,08	
$Q_{ГН}$	кВт		201,34249		201,34249		201,3425		201,342494		201,34249	
$G_{ГWD}$	кг/с		16,47		16,47		16,47		16,47		16,47	
$G_{ГН}$	кг/с		1,843		1,843		1,843		1,843		1,843	
$G_{ГМ}$	кг/с		12,28		12,28		12,28		12,28		12,28	
G_{WW}	кг/с		16,47		16,47		16,47		16,47		16,47	
$G_{ГWH}$			1,0678467		1,0678467		1,067847		1,06784669		1,0678467	
$G_{ГWM}$			2,5788385		2,4176611		2,275446		2,14903209		2,0359251	
G_{MOB}			5,0207793		4,8596019		4,717387		4,59097287		4,4778659	
$G_{ГWP}$	кг/с		1,3740941		1,3740941		1,374094		1,37409409		1,3740941	
$G_{ГW\Sigma}$	кг/с		5,0207793		4,8596019		4,717387		4,59097287		4,4778659	
Z	шт		1		1		1		1		1	
$G_{ГWH}$	кг/с		1,0678467		1,0678467		1,067847		1,06784669		1,0678467	
$G_{ГWM}$	кг/с		2,5788385		2,4176611		2,275446		2,14903209		2,0359251	
G_{WOB}	кг/с		5,0207793		4,8596019		4,717387		4,59097287		4,4778659	
T_o	К	°C	313	40	313	40	313	40	313	40	313	40
P_o	Па		100000		100000		100000		100000		100000	

Продовження таблиці 4.2.2

P_1	Па		250000		250000		250000		250000		250000	
T_{ww1}	К	°C	298	25	298	25	298	25	298	25	298	25
T_{ww2}	К	°C	317,28591	44,285905	316,66679	43,666788	316,1205	43,12051	315,634925	42,63493	315,20046	42,20046
$T_1(T_K)$	К	°C	431,70363	158,70363	431,70363	158,70363	431,7036	158,7036	431,70363	158,7036	431,70363	158,7036
$T_2(T_S)$	К	°C	323	50	323	50	323	50	323	50	323	50
$T_{гw1}$	К	°C	373,30266	100,30266	373,30266	100,30266	373,3027	100,3027	373,302662	100,3027	373,30266	100,3027
$T_{гw2}$	К	°C	378	105	378	105	378	105	378	105	378	105
T_{w3}			349,68434	76,684335	350,76837	77,76837	351,7864	78,78639	352,74424	79,74424	353,64711	80,64711
T_{w1}	К	°C	317	44	317	44	317	44	317	44	317	44
T_{wh2}	К	°C	362	89	362	89	362	89	362	89	362	89
T_{wm2}	К	°C	332	59	333	60	334	61	335	62	336	63
T_{w4}	К	°C	340,7848	67,7848	341,88466	68,884661	342,9432	69,94319	343,962682	70,96268	344,94525	71,94525
T_{m1}	К	°C	363	90	363	90	363	90	363	90	363	90
T_{m2}	К	°C	356,14353	83,143534	356,14353	83,143534	356,1435	83,14353	356,143534	83,14353	356,14353	83,14353
ОНВ												
схема			3		3		3		3		3	
Z			1		1		1		1		1	
b_{wT}			13		13		13		13		13	
$b_{wг}$			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$k_{гнв}$	Вт/кг·К		125,12219	122,50342	125,12219	122,50342	125,1222	122,5034	125,122186	122,5034	125,12219	122,5034
$\eta_{нв}$			0,9476913	0,9422819	0,9476913	0,9422819	0,947691	0,942282	0,94769128	0,942282	0,9476913	0,942282
$\Delta p_{нв}$	мм.в.ст.			150,77322		150,77322		150,7732		150,7732		150,7732
$\Delta p_{whв}$	кПа			30,032847		30,032847		30,03285		30,03285		30,03285
$S_{нв}$			0,4139696	0,4139696	0,4139696	0,4139696	0,41397	0,41397	0,41396962	0,41397	0,4139696	0,41397
$M_{нв}$	кг		63,604767	61,115793	63,604767	61,115793	63,60477	61,11579	63,6047666	61,11579	63,604767	61,11579
ВВО												
схема			4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
b_w			18	18	18	18	18	18	19	19	19	19
b_{ww}			2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
b_p			2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
$k_{гв}$	Вт/кг·К		166,88103	166,88103	164,46911	164,46911	162,282	162,282	167,101582	167,1016	165,20042	165,2004
$\eta_{в}$			0,6323838	0,6323838	0,6399358	0,6399358	0,646751	0,646751	0,65293152	0,652932	0,6585627	0,658563
Δp_{wb}	кПа			17,390559		16,392031		15,53473		18,82366		17,98709
Δp_{wwwb}	кПа			15,21063		15,21063		15,21063		16,51471		16,51471
$S_{в}$			0,3161624	0,3161624	0,3060129	0,3060129	0,297057	0,297057	0,28909713	0,289097	0,2819747	0,281975
k_D			0,24		0,24		0,24		0,24		0,24	
$M_{в}$	кг		145,89447	145,89447	145,89447	145,89447	145,8945	145,8945	139,94659	139,9466	139,94659	139,9466
МО												
схема			4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
b_m			19	19	19	19	18	18	18	18	19	19
b_w			2	2	2	2	3	3	3	3	3	3
b_p			4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
$k_{гмо}$	Вт/кг·К		49,525395	49,525395	50,314221	50,314221	53,99076	53,99076	54,9015695	54,90157	52,905514	52,90551
$\eta_{мо}$			0,326087	0,3262093	0,3478261	0,3479566	0,369565	0,369704	0,39130435	0,391451	0,4130435	0,413198
Δp_m	кПа			126,12053		126,12053		119,2249		119,2249		126,1205
Δp_{wm}	кПа			9,8860815		8,7269026		34,21467		30,59597		28,50338
S_m			0,4570977	0,4569263	0,4285291	0,4283684	0,403322	0,40317	0,38091478	0,380772	0,3608666	0,360731

Продовження таблиці 4.2.2 (1)

k_D			0,2		0,2		0,2		0,2		0,2	
M_{mo}	кг		93,819395	93,862818	93,818602	93,862818	88,86203	88,90471	88,8611919	88,90471	93,81593	93,86282
η_o			0,8130193		0,8130193		0,813019		0,81301929		0,8130193	
M_Σ	кг		303,31863	300,87308	303,31783	300,87308	298,3613	295,915	292,412549	289,9671	297,36729	294,9252
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}									
Параметр			1		2		3		4		5	
Q_{GW}	кВт		324,2		324,2		324,2		324,2		324,2	
Q_{GM}	кВт		162,1		162,1		162,1		162,1		162,1	
Q_{GH}	кВт		201,3		201,3		201,3		201,3		201,3	
G_{GWD}	кг/с		16,5		16,5		16,5		16,5		16,5	
G_{GH}	кг/с		1,84		1,84		1,84		1,84		1,84	
G_{GM}	кг/с		12,3		12,3		12,3		12,3		12,3	
G_{WW}	кг/с		16,47		16,47		16,47		16,47		16,47	
G_{GWH}			1,09		1,07		1,04		1,02		1,00	
G_{GWM}			2,15		2,15		2,15		2,15		2,15	
G_{GWB}			4,62		4,59		4,57		4,55		4,52	
G_{GWP}	кг/с		1,37		1,37		1,37		1,37		1,37	
$G_{GW\Sigma}$	кг/с		4,62		4,59		4,57		4,55		4,52	
Z	шт		1		1		1		1		1	
G_{GWH}	кг/с		1,0921		1,0678		1,0446		1,0224		1,0011	
G_{GWM}	кг/с		2,15		2,15		2,15		2,15		2,15	
G_{WOB}	кг/с		4,62		4,59		4,57		4,55		4,52	
T_o	К	°C	313	40	313	40	313	40	313	40	313	40
P_o	Па		100000		100000		100000		100000		100000	
P_1	Па		250000,00		250000		250000		250000		250000	
T_{WW1}	К	°C	298	25	298	25	298	25	298	25	298	25
T_{WW2}	К	°C	315,7	42,73	315,6	42,63	315,5	42,55	315,5	42,46	315,4	42,38
$T_1 (T_K)$	К	°C	431,7	158,7	431,7	158,7	431,7	158,7	431,7	158,7	431,7	158,7
$T_2 (T_s)$	К	°C	323,00000	50,000	323	50,000	323	50,000	323	50,000	323	50,000
T_{GW1}	К	°C	373,3	100,3	373,3	100,3	373,3	100,3	373,3	100,3	373,3	100,3
T_{GW2}	К	°C	378	105,0	378	105,0	378	105,0	378	105,0	378	105,0
T_{w3}			352,556	79,6	352,744	79,7	352,926	79,9	353,102	80,1	353,272	80,3
T_{w1}	К	°C	317,0	44,00	317,0	44,00	317,0	44,00	317,0	44,00	317,0	44,00
T_{wn2}	К	°C	361,0	88,0	362,0	89,0	363,0	90,0	364,0	91,0	365,0	92,0
T_{wm2}	К	°C	335,0	62,0	335,0	62,0	335,0	62,0	335,0	62,0	335,0	62,0
T_{w4}	К	°C	343,8	70,8	344,0	71,0	344,2	71,2	344,3	71,3	344,5	71,5
T_{m1}	К	°C	363,0	90,0	363,0	90,0	363,0	90,0	363,0	90,0	363,0	90,0
T_{m2}	К	°C	356,1	83,1	356,1	83,1	356,1	83,1	356,1	83,1	356,1	83,1
ОНВ												
схема			3		3		3		3		3	
Z			1		1		1		1		1	
b_{WT}			13		13		13		13		13	

Продовження таблиці 4.2.3

$b_{\text{вг}}$			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$k_{\text{гнв}}$	Вт/кг·К		124,97	122,3439	125,22	122,59917	124,48	121,8966	124,42	121,8312	124,35	121,7665
$\eta_{\text{нв}}$			0,948	0,942971	0,948	0,9417483	0,948	0,949424	0,948	0,947898	0,948	0,94634
$\Delta p_{\text{нв}}$	мм.в.ст.			150,77322		150,77322		150,7732		150,7732		150,7732
$\Delta p_{\text{внв}}$	кПа			30,03		30,03		30,03		30,03		30,03
$S_{\text{нв}}$			0,405	0,4047703	0,414	0,4139696	0,423	0,423169	0,432	0,432368	0,442	0,441568
$M_{\text{нв}}$	кг		63,018	60,86	63,555	60,84	64,615	65,49	65,352	65,46	66,106	65,42
BBO												
<i>схема</i>			4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
b_{w}			18	18	19	19	19	19	19	19	19	19
b_{ww}			2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
b_{p}			2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
$k_{\text{гв}}$	Вт/кг·К		160,68	160,68	167,10	167,10	166,71	166,71	166,34	166,34	165,98	165,98
$\eta_{\text{в}}$			0,652	0,6517358	0,653	0,6529315	0,654	0,654079	0,655	0,655182	0,656	0,656243
Δp_{wb}	кПа			14,93		18,82		18,65		18,49		18,33
Δp_{wwb}	кПа			15,21063		16,514714		16,51471		16,51471		16,51471
$S_{\text{в}}$			0,291	0,2906254	0,289	0,2890971	0,288	0,287635	0,286	0,286236	0,285	0,284894
k_{D}			0,2		0,2		0,2		0,2		0,2	
$M_{\text{в}}$	кг		145,89447	145,89447	139,94659	139,94659	139,9466	139,9466	139,94659	139,9466	139,94659	139,9466
MO												
<i>схема</i>			4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
$b_{\text{м}}$			18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
b_{w}			3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
b_{p}			4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
$k_{\text{гмо}}$	Вт/кг·К		54,902	54,901779	54,902	54,901779	54,902	54,90178	54,902	54,90178	54,902	54,90178
$\eta_{\text{мо}}$			0,391	0,39	0,391	0,39	0,391	0,39	0,391	0,39	0,391	0,39
$\Delta p_{\text{м}}$	кПа			119,22		119,22		119,22		119,22		119,22
Δp_{wm}	кПа			30,595966		30,595966		30,59597		30,59597		30,59597
$S_{\text{м}}$			0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38
k_{D}			0,200		0,200		0,200		0,200		0,200	
$M_{\text{мо}}$	кг		88,86	88,90	88,86	88,90	88,86	88,90	88,86	88,90	88,86	88,90
$\eta_{\text{о}}$			0,8130193		0,8130193		0,813019		0,81301929		0,8130193	
M_{Σ}	кг		297,77327	295,66186	292,36261	289,68716	293,423	294,3392	294,159552	294,3073	294,91377	294,2756
Індикатор			Вірно		Вірно		Вірно		Вірно		Вірно	

Таблиця.4.2.4 Розрахунок впливу t_{w1} на M_{Σ} при постійних t_{wh2} , t_{wm2}

Результати		Вплив tw1							
Параметр и		1		2		3		4	
$Q_{ГВ}$	кВт	324,16		324,16		324,2		324,16	
$Q_{ГМ}$	кВт	162,08		162,08		162,1		162,08	
$Q_{ГН}$	кВт	201,34249		201,34249		201,3		201,342494	
$G_{ГВД}$	кг/с	16,47		16,47		16,5		16,47	
$G_{ГН}$	кг/с	1,843		1,843		1,84		1,843	

Продовження таблиці 4.2.4

$G_{ГМ}$	кг/с		12,28		12,28		12,3		12,28	
G_{WW}	кг/с		16,47		16,47		16,47		16,47	
$G_{ГНН}$			1,0224064		1,0446326		1,07		1,09211593	
$G_{ГВМ}$			1,9341289		2,0359251		2,15		2,27544574	
$G_{ГЮВ}$			4,2834928		4,4306723		4,59		4,76650256	
$G_{ГВП}$	кг/с		1,3269575		1,3501145		1,37		1,39894089	
$G_{ГВΣ}$	кг/с		4,2834928		4,4306723		4,59		4,76650256	
Z	шт		1		1		1		1	
$G_{ГНН}$	кг/с		1,0224064		1,0446326		1,0678		1,09211593	
$G_{ГВМ}$	кг/с		1,9341289		2,0359251		2,15		2,27544574	
$G_{ГОВ}$	кг/с		4,2834928		4,4306723		4,59		4,76650256	
T_0	К	°C	313	40	313	40	313	40	313	40
P_0	Па		100000		100000		100000		100000	
P_1	Па		250000		250000		250000		250000	
T_{WW1}	К	°C	298	25	298	25	298	25	298	25
T_{WW2}	К	°C	314,9933	41,993297	315,29818	42,298179	315,6	42,63	316,009022	43,00902
$T_1 (T_K)$	К	°C	431,70363	158,70363	431,70363	158,70363	431,7	158,7	431,70363	158,7036
$T_2 (T_S)$	К	°C	323	50	323	50	323	50,000	323	50
$T_{ГВ1}$	К	°C	373,30266	100,30266	373,30266	100,30266	373,3	100,3	373,302662	100,3027
$T_{ГВ2}$	К	°C	378	105	378	105	378	105,0	378	105
T_{W3}			353,31005	80,310053	353,03746	80,037457	352,744	79,7	352,427934	79,42793
T_{W1}	К	°C	315	42	316	43	317,0	44,00	318	45
T_{WH2}	К	°C	362	89	362	89	362,0	89,0	362	89
T_{WM2}	К	°C	335	62	335	62	335,0	62,0	335	62
T_{W4}	К	°C	344,33693	71,336933	344,15584	71,155836	344,0	71,0	343,756226	70,75623
T_{M1}	К	°C	363	90	363	90	363,0	90,0	363	90
T_{M2}	К	°C	356,14353	83,143534	356,14353	83,143534	356,1	83,1	356,143534	83,14353
ОНВ										
схема			3		3		3		3	
Z			1		1		1		1	
b_{WT}			13		13		13		13	
b_{WF}			1	1	1	1	1	1	1	1
$k_{гнв}$	Вт/кг·К		125,82203	123,17558	125,08918	122,47043	125,12	122,5034	125,021446	122,3985
$\eta_{нв}$			0,9314503	0,9287146	0,9395006	0,9398946	0,948	0,942282	0,95602603	0,943225
$\Delta p_{нв}$	мм.в.ст.			150,77322		150,77322		150,7732		150,7732
$\Delta p_{нвнв}$	кПа			30,032847		30,032847		30,03		30,03285
$S_{нв}$			0,4323683	0,4323683	0,4231689	0,4231689	0,414	0,41397	0,40477029	0,40477
$M_{нв}$	кг		57,637689	56,635471	60,569724	60,736797	63,605	61,12	67,3414761	60,94653
ВВО										
схема			4	4	4	4	4	4	4	4

Продовження таблиці 4.2.4 (1)

b_w			20	20	20	20	19	19	17	17
b_{ww}			2	2	2	2	2	2	2	2
b_p			2	2	2	2	2	2	2	2
k_{gB}	Вт/кг·К		165,69157	165,69157	162,05063	162,05063	167,10	167,10	166,487956	166,488
η_B			0,6926418	0,6926418	0,67295	0,67295	0,653	0,652932	0,63254163	0,632542
Δp_{wB}	кПа			17,483964		18,556614		18,82		14,97306
Δp_{wwB}	кПа			17,296655		17,296655		16,51471		14,45208
S_B			0,2697349	0,2697349	0,2790029	0,2790029	0,289	0,289097	0,30015037	0,30015
k_D			0,24		0,24		0,2		0,24	
M_B	кг		147,33942	147,33942	147,33942	147,33942	139,9466	139,9466	137,758948	137,7589
МО										
<i>схема</i>			4	4	4	4	4	4	4	4
b_m			19	19	18	18	18	18	18	18
b_w			3	3	3	3	3	3	3	3
b_p			4	4	4	4	4,00	4,00	4	4
k_{gMO}	Вт/кг·К		50,650088	50,650088	54,175975	54,175975	54,902	54,90157	55,6529345	55,65293
η_{MO}			0,4166667	0,416823	0,4042553	0,404407	0,391	0,39	0,37777778	0,377919
Δp_m	кПа			126,12053		119,22493		119,22		119,2249
Δp_{wm}	кПа			25,77414		27,522788		30,59597		34,22107
S_m			0,3428233	0,3426948	0,3608666	0,3607313	0,38	0,38	0,40332153	0,40317
k_D			0,2		0,2		0,200		0,2	
M_{MO}	кг		93,815786	93,862818	88,860674	88,904707	88,86	88,90	88,8617136	88,90471
η_o			0,8130193		0,8130193		0,813019		0,81301929	
M_Σ	кг		298,7929	297,83771	296,76982	296,98093	292,4125	289,9671	293,962138	287,6102
Індикатор			Вірно		Вірно		Вірно		Вірно	

Згідно з таблицями 4.2.2 – 4.2.4 побудовані графіки залежностей рис. 4.7.... 4.9.

$$M_\Sigma, \text{ кг} = f(t_{wm2}), ^\circ\text{C}$$

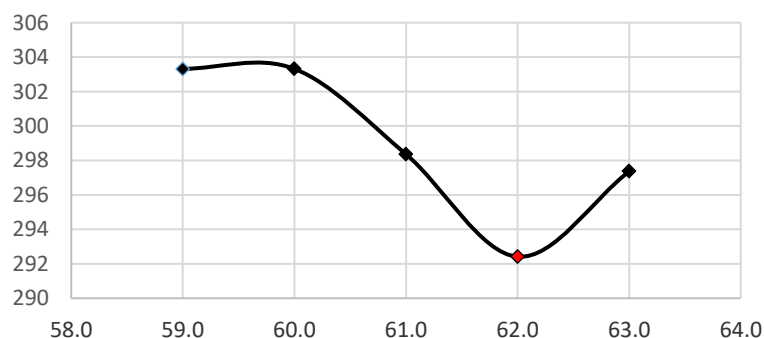


Рис. 4.7. Залежність M_Σ від зміни температури t_{wm2} при постійних значеннях інших температур: $t_{wl} = 44^\circ\text{C}$, $t_{wh2} = 89^\circ\text{C}$

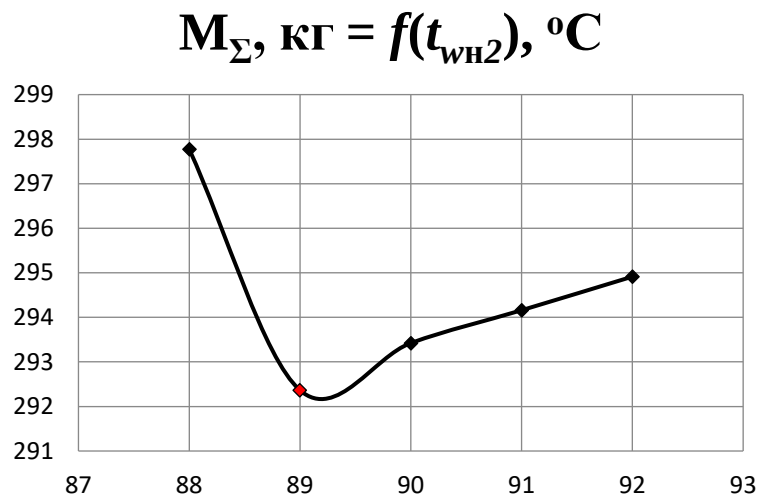


Рис. 4.8. Залежність M_{Σ} від зміни температури t_{wh2} при постійних значеннях інших температур: $t_{\text{w1}} = 44^\circ\text{C}$, $t_{\text{wm2}} = 62^\circ\text{C}$

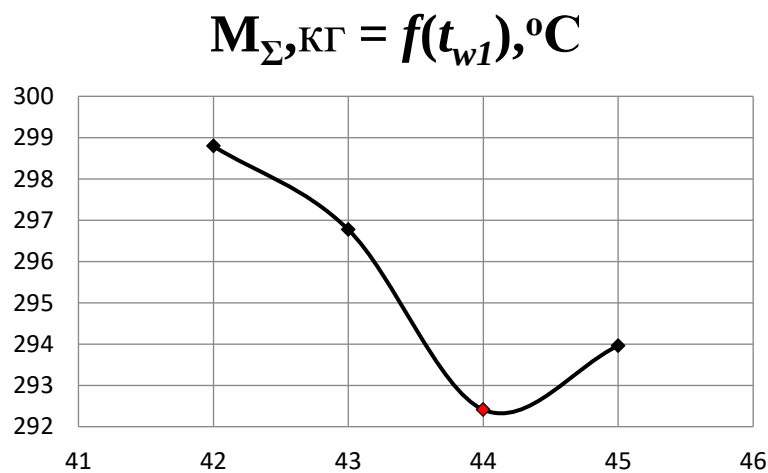


Рис. 4.9. Залежність M_{Σ} від зміни температури t_{w1} при постійних значеннях інших температур: $t_{\text{wm2}} = 62^\circ\text{C}$, $t_{\text{wh2}} = 89^\circ\text{C}$

На підставі показаних рисунків заповнена таблиця 4.2.5. Згідно з таблицею 4.2.5. система типу В2НД у точці оптимуму має масу приблизно 292,4 кг.

Таблиця 4.2.5. Оптимальні температури та сумарна маса

M_{Σ}	292,4	кг
T_{wh2}	89	$^\circ\text{C}$
T_{w1}	44	$^\circ\text{C}$
T_{wm2}	62	$^\circ\text{C}$

4.4. Система типу ВНП. ВВО, Насос ТВК, скидання гарячого ТВК на охолодження після двигуна

4.4.1. Розрахунки системи ВНП

4.4.1.1 Початкові дані. Копія таблиці з такими 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			1500		Частота обертання колінвалу
Ne	кВт			988		Потужність ГД
T_0	К	°C		313	40	Повітря перед компресором
P_0	Па			100000		Повітря перед компресором
T_{ww1}	К	°C		298	25	Заб. вода перед ВВО
$\eta_{ад1}$				0,790		
P_1	Па			250000,000		Тиск повітря після компресора
$T_{к1}$	К	°C	$T_{к1} = T_{в1} \left(1 + \frac{P_{к1}^{0,286} - 1}{\eta_{ад1}} \right)$	431,704	158,704	T1 або Tk, повітря за компресором
T_s	К	°C		323,000	50,0	T2 або температура повітря за ОНВ
$T_{гw2}$	К	°C		378	105	Температура води за головним двигуном
$T_{вw2}$	К	°C		378	105	Температура води за допоміжними двигунами
$T_{гг1}$	К	°C		363	90	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	324,2		Тепловідведення в зарубашечну воду
$Q_{гм}$	кВт	122		162,1		Тепловідведення в масло
$Q_{гн}$	кВт		$Q_{гн} = W_n (T_1 - T_2)$	201,3		Теплопідвід від ОНВ
$G_{гwd}$	кг/с			16,47		Витрата води через двигун
$G_{гн}$	кг/с			1,843		Витрата наддувного повітря
$G_{гм}$	кг/с			12,28		Витрата масла
G_{ww}	кг/с			16,47		Витрата заб. води через ВВО

Продовження таблиці 4.3

Z _B	шт			0		Число ДГ
----------------	----	--	--	---	--	----------

Продовження таблиці 4.3

Обозначення	Розмірність	Значення		Параметр
ОНВ		201342,4938		
<i>схема</i>		3	3	Імовірна схема 3
Z		1	1	Число парал. роб. ОНВ
b_{WT}		8	8	Число термодинамічних ходів по воді
$b_{WГ}$		1	1	Число гідравлічних ходів по воді
k_{gNB}	Вт/кг·К	260,21	260,21413	Коефіцієнт використання маси пучка
ВВО		4040	4040	C_{pww}
<i>схема</i>		4	4	Імовірна схема 4
b_w		18	18	Число ходів прісною водою
b_{ww}		3	3	Число ходів по забортній воді
b_p		2	2	Число протитечійних реверсивних елементів
k_{gB}	Вт/кг·К	170,68	170,68	Коефіцієнт використання маси пучка
МО		1925	1925,72205	C_{pm}
<i>схема</i>		4	4	Імовірна схема 4
b_m		22	22	Число ходів по маслу
b_w		2	2	Число ходів прісною водою
b_p		2	2	Число протитечійних реверсивних елементів
k_{gMO}	Вт/кг·К	59,70	59,70	Коефіцієнт використання маси пучка

Таблиця. 4.3.1 Змінні вхідні дані для розрахунків теплової схеми системи

Обозначення	Розмірність		Значення		Параметр
T_{wm2}	κ	$^{\circ}\text{C}$	335	62,00	Вода за МО
T_{wn2}	κ	$^{\circ}\text{C}$	356,00	83,00	Вода за ОНВ

Копія таблиць по системі типу ВНП

Таблиця.4.3.2 Розрахунок впливу t_{wm2} на M_{Σ} при постійній t_{wh2}

[illegible]

					КРМ.142.6221м.15.04.ПЗ	Лист
						44
Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата		

Продовження таблиці 4.3.2

$G_{ГМ}$	кг/с		12,28		12,28		12,28		12,28		12,28		12,28	
G_{WW}	кг/с		16,47		16,47		16,47		16,47		16,47		16,47	
$G_{ГВН}$			1,14		1,28		1,36471377		1,56		1,80		1,94	
$G_{ГВМ}$			2,03		2,10		2,12411846		2,17		2,18		2,17	
G_{WB}			3,18		3,38		3,48883223		3,72		3,97		4,10	
Z	шт		1		1		1		1		1		1	
T_0	К	°C	313,0	40,0	313,0	40,0	313	40	313,0	40,0	313,0	40,0	313,0	40,0
P_0	Па		100000		100000		100000		100000		100000		100000	
P_1	Па		250000		250000		250000		250000		250000		250000	
T_{WW1}	К	°C	298,0	25,0	298,0	25,0	298	25	298,0	25,0	298,0	25,0	298,0	25,0
T_{WW2}	К	°C	313,2	40,2	313,2	40,2	313,205301	40,205301	313,2	40,2	313,2	40,2	313,2	40,2
$T_1(T_K)$	К	°C	431,7	158,7	431,7	158,7	431,70363	158,70363	431,7	158,7	431,7	158,7	431,7	158,7
$T_2(T_S)$	К	°C	323,0	50,0	323,0	50,0	323	50	323,0	50,0	323,0	50,0	323,0	50,0
$T_{ГВ1}$	К	°C	373,3	100,3	373,3	100,3	373,302662	100,30266	373,3	100,3	373,3	100,3	373,3	100,3
$T_{ГВ2}$	К	°C	378,0	105,0	378,0	105,0	378	105	378,0	105,0	378,0	105,0	378,0	105,0
T_{W3}			378,0	105,0	378,0	105,0	378	105	378,0	105,0	378,0	105,0	378,0	105,0
T_{W1}	К	°C	302,0	29,0	306,5	33,5	308,788879	35,788879	313,1	40,1	317,2	44,2	319,2	46,2
T_{WH2}	К	°C	344,0	71,0	344,0	71,0	344	71	344,0	71,0	344,0	71,0	344,0	71,0
T_{WM2}	К	°C	321,0	48,0	325,0	52,0	327	54	331,0	58,0	335,0	62,0	337,0	64,0
T_{WT}	К	°C	329,3	56,3	332,2	59,2	333,649828	60,649828	336,4	63,4	339,1	66,1	340,3	67,3
T_{M1}	К	°C	363,0	90,0	363,0	90,0	363	90	363,0	90,0	363,0	90,0	363,0	90,0
T_{M2}	К	°C	356,1	83,1	356,1	83,1	356,143534	83,143534	356,1	83,1	356,1	83,1	356,1	83,1
ОНП														
<i>схема</i>			3		3		3		3		3		3	
Z			1		1		1		1		1		1	
b_{WT}			8		8		8		8		8		8	
b_{WT}			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$k_{ГВБ}$	Вт/кг·К		296,8	182,5	293,3	182,5	292,136993	182,52829	286,5	182,5	279,1	182,5	274,0	182,5
$\eta_{ГВ}$			0,838	0,844	0,869	0,878	0,8843823	0,8854804	0,917	0,915	0,950	0,950	0,966	0,963
$\Delta p_{ГВ}$	мм.в.ст.			149,7		149,7		149,71696		149,7		149,7		149,7
$\Delta p_{ГВБ}$	кПа			24,5		24,5		24,538349		24,5		24,5		24,5
$S_{ГВ}$			0,387	0,387	0,345	0,345	0,32391854	0,3239185	0,284	0,284	0,246	0,246	0,228	0,228
$M_{ГВБ}$	кг		14,9	15,2	16,5	17,2	17,4283047	17,515836	20,1	19,9	24,4	24,4	27,9	27,3
ВВО														
<i>схема</i>			4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
b_W			57	57	41	41	35	35	30	30	21	21	22	22
b_{WW}			2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	2	2
b_P			2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
$k_{ГВ}$	Вт/кг·К		167,5	167,5	171,0	171,0	162,51401	162,51401	164,7	164,7	175,4	175,4	160,5	160,5
η_B			0,950	0,950	0,893	0,893	0,86513901	0,865139	0,811	0,811	0,759	0,759	0,735	0,735
Δp_{WB}	кПа			37,0		37,0		37,018863		37,0		37,0		37,0
Δp_{WWB}	кПа			54,2		54,2		54,19129		54,2		54,2		54,2
S_B			0,200	0,200	0,213	0,213	0,21969448	0,2196945	0,234	0,234	0,250	0,250	0,258	0,258
k_D				0,2		0,2		0,2		0,2		0,2		0,2
M_B	кг		317,2	317,2	228,0	228,0	218,124493	218,12449	186,9	186,9	158,3	158,3	165,9	165,9
МО														
<i>схема</i>			4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
b_M			17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
b_W			2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
b_P			2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
$k_{гмо}$	Вт/кг·К		57,0	57,0	58,7	58,7	51,9867919	51,986792	52,3	52,3	53,7	53,7	54,8	54,8
$\eta_{МО}$			0,312	0,312	0,327	0,327	0,33592961	0,3360556	0,358	0,358	0,388	0,388	0,407	0,407
Δp_M	кПа			117,4		125,7		150,49067		167,0		183,6		191,8

Продовження таблиці 4.3.2 (1)

Δp_{wm}	кПа			60,2		65,7		10,91635		12,4		13,6		14,0
S_m			0,360	0,360	0,372	0,371	0,37649885	0,3763577	0,384	0,384	0,386	0,386	0,384	0,384
k_D			0,25		0,25		0,25		0,25		0,25		0,25	
M_{mo}	кг		59,55	59,58	63,54	63,57	75,5038091	75,539099	83,48	83,52	91,45	91,50	95,44	95,49
η_o			0,813		0,813		0,81301929		0,813		0,813		0,813	
M_Σ	кг		391,61541	392,00361	308,03812	308,76813	311,056607	311,17943	290,488326	290,2807	274,171489	274,2244	289,231	288,5961
Індикатор			Вірно		Вірно		Вірно		Вірно		Вірно		Вірно	

Таблиця.4.3.3. Розрахунок впливу t_{wn2} на M_Σ при постійній t_{wm2}

Результати			Вплив t_{wn2}											
Параметри			1		2		3		4		5		6	
Q_{gw}	кВт		324,16		324,16		324,16		324,16		324,16		324,16	
Q_{gm}	кВт		162,08		162,08		162,08		162,08		162,08		162,08	
Q_{gh}	кВт		201,3		201,3		201,3		201,3		201,3		201,3	
$G_{гwd}$	кг/с		16,47		16,47		16,47		16,47		16,47		16,47	
G_{gh}	кг/с		1,843		1,843		1,843		1,843		1,843		1,843	
G_{gm}	кг/с		12,28		12,28		12,28		12,28		12,28		12,28	
G_{ww}	кг/с		16,47		16,47		16,47		16,47		16,47		16,47	
G_{ghh}			1,66		1,60		1,53		1,46		1,43		1,40	
G_{ghm}			2,44		2,56		2,67		2,78		2,83		2,88	
G_{wv}			4,10		4,16		4,20		4,24		4,26		4,28	
Z	шт		1		1		1		1		1		1	
T_o	К	°C	313,0	40,0	313,0	40,0	313,0	40,0	313,0	40,0	313,0	40,0	313,0	40,0
P_o	Па		100000		100000		100000		100000		100000		100000	
P_1	Па		250000		250000		250000		250000		250000		250000	
T_{ww1}	К	°C	298,0	25,0	298,0	25,0	298,0	25,0	298,0	25,0	298,0	25,0	298,0	25,0
T_{ww2}	К	°C	313,2	40,2	313,2	40,2	313,2	40,2	313,2	40,2	313,2	40,2	313,2	40,2
$T_1 (T_k)$	К	°C	431,7	158,7	431,7	158,7	431,7	158,7	431,7	158,7	431,7	158,7	431,7	158,7
$T_2 (T_s)$	К	°C	323,0	50,0	323,0	50,0	323,0	50,0	323,0	50,0	323,0	50,0	323,0	50,0
T_{gw1}	К	°C	373,3	100,3	373,3	100,3	373,3	100,3	373,3	100,3	373,3	100,3	373,3	100,3
T_{gw2}	К	°C	378,0	105,0	378,0	105,0	378,0	105,0	378,0	105,0	378,0	105,0	378,0	105,0
T_{w3}			378,0	105,0	378,0	105,0	378,0	105,0	378,0	105,0	378,0	105,0	378,0	105,0
T_{w1}	К	°C	319,1	46,1	319,9	46,9	320,5	47,5	321,1	48,1	321,4	48,4	321,6	48,6
T_{wn2}	К	°C	348,0	75,0	350,0	77,0	352,0	79,0	354,0	81,0	355,0	82,0	356,0	83,0
T_{wm2}	К	°C	335,0	62,0	335,0	62,0	335,0	62,0	335,0	62,0	335,0	62,0	335,0	62,0
T_{wt}	К	°C	340,3	67,3	340,8	67,8	341,2	68,2	341,5	68,5	341,7	68,7	341,9	68,9
T_{m1}	К	°C	363,0	90,0	363,0	90,0	363,0	90,0	363,0	90,0	363,0	90,0	363,0	90,0
T_{m2}	К	°C	356,1	83,1	356,1	83,1	356,1	83,1	356,1	83,1	356,1	83,1	356,1	83,1
ОНП														
схема			3		3		3		3		3		3	
Z			1		1		1		1		1		1	
b_{wt}			8		8		8		8		8		8	
b_{wg}			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
k_{ghv}	Вт/кг·К		272,6	182,5	269,7	182,5	266,9	182,5	264,4	182,5	262,2	182,5	260,2	182,5
η_{hv}			0,966	0,967	0,972	0,973	0,978	0,978	0,983	0,982	0,985	0,985	0,987	0,988
Δp_{hv}	мм.в.ст.			227,6		227,4		225,9		223,1		226,1		228,4
Δp_{hvb}	кПа			28,8		31,4		35,4		41,5		43,8		47,1
S_{hv}			0,266	0,266	0,277	0,277	0,289	0,289	0,303	0,303	0,310	0,310	0,317	0,317
M_{hv}	кг		29,1	29,4	31,8	32,1	34,9	34,9	38,4	38,0	40,5	40,7	42,8	43,4
ВВО														
схема			4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
b_w			22	22	21	21	18	18	18	18	18	18	18	18

Продовження таблиці 4.3.3

b_{ww}			2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3
b_p			2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
k_{gb}	Вт/кг·К		160,6	160,6	165,7	165,7	174,2	174,2	172,3	172,3	171,4	171,4	170,7	170,7
η_B			0,736	0,736	0,726	0,726	0,718	0,718	0,711	0,711	0,708	0,708	0,705	0,705
Δp_{WB}	кПа			20,1		19,6		14,6		14,8		14,9		15,0
Δp_{WVB}	кПа			13,3		12,8		28,7		28,7		28,7		28,7
S_B			0,258	0,258	0,262	0,262	0,265	0,265	0,267	0,267	0,268	0,268	0,270	0,270
k_D				0,2		0,2		0,2		0,2		0,2		0,2
M_B	кг		165,9	165,9	158,3	158,3	148,7	148,7	148,7	148,7	148,7	148,7	148,7	148,7
МО														
<i>схема</i>			4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
b_m			23	23	23	23	23	23	22	22	22	22	22	22
b_w			2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
b_p			2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
k_{gMO}	Вт/кг·К		55,1	55,1	55,7	55,7	56,2	56,2	59,3	59,3	59,5	59,5	59,7	59,7
η_{MO}			0,362	0,362	0,351	0,351	0,341	0,341	0,332	0,332	0,328	0,328	0,324	0,324
Δp_m	кПа			183,6		183,6		183,6		175,3		175,3		175,3
Δp_{wm}	кПа			16,9		18,6		20,2		21,0		21,8		22,5
S_m			0,432	0,432	0,454	0,453	0,474	0,474	0,493	0,493	0,502	0,502	0,511	0,511
k_D			0,25		0,25		0,25		0,25		0,25		0,25	
M_{MO}	кг		91,46	91,50	91,46	91,50	91,46	91,50	87,47	87,51	87,47	87,51	87,47	87,51
η_o			0,813		0,813		0,813		0,813		0,813		0,813	
M_Σ	кг		286,37947	286,73835	281,53633	281,85708	274,979757	275,09673	274,5226388	274,2031	276,648883	276,8311	278,9657	279,5782
Індикатор			Вірно		Вірно		Вірно		Вірно		Вірно		Вірно	

Згідно з таблицями 4.13 – 4.14 побудовані графіки залежностей рис.4.10. ...
4.12.

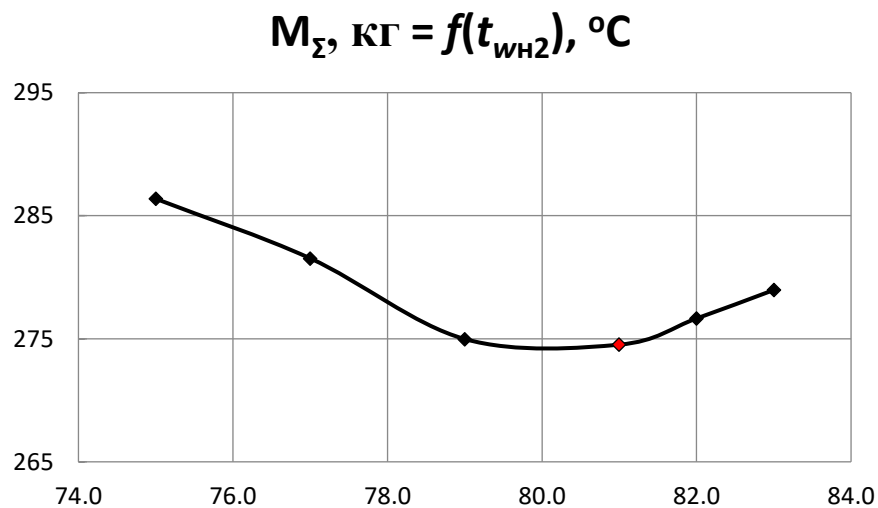


Рис. 4.10. Залежність M_Σ від зміни температури t_{wH2} при постійному значенні і температури: $t_{wH2} = 71^\circ\text{C}$

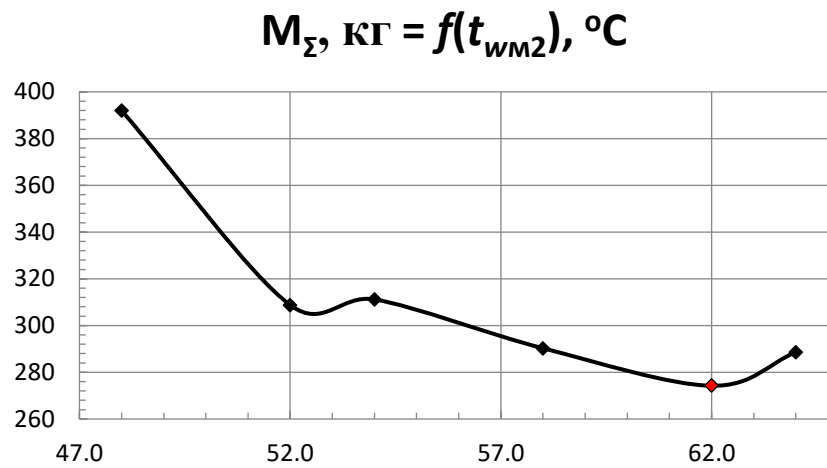


Рис. 4.11. Залежність M_{Σ} від зміни температури t_{wm2} при постійному значенні і температури: $t_{wm2} = 62^\circ\text{C}$

На підставі показаних рисунків заповнена таблиця 4.3.4. Згідно з таблицею 4.3.4. система типу ВНП у точці оптимуму має масу приблизно 274,5 кг.

Таблиця 4.3.4. Оптимальні температури та сумарна маса

M_{Σ}	274,5	кг
T_{wm2}	81	$^\circ\text{C}$
T_{wm2}	62	$^\circ\text{C}$

4.5. Побудова залежностей мас серцевин кожного теплообмінника в системі 2В2НПР

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

Побудова залежностей мас серцевин в ОНП від t_{w1}

$$M_{\text{нв}}, \text{ кг} = f(t_{w1}), ^\circ\text{C}$$

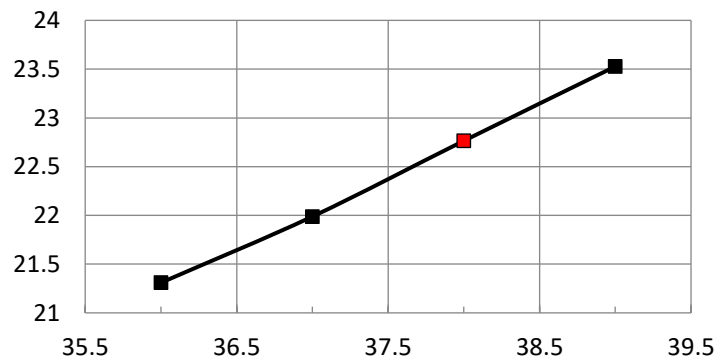


Рис. 4.12. Залежність $M_{\text{нв}}$ від зміни температури t_{w1} при постійних значеннях інших температур: $t_{wm2} = 64^\circ\text{C}$, $t_{wh2} = 90^\circ\text{C}$

Побудова залежності маси серцевини в ОНП від t_{wm2}

$$M_{\text{нв}}, \text{ кг} = f(t_{wm2}), ^\circ\text{C}$$

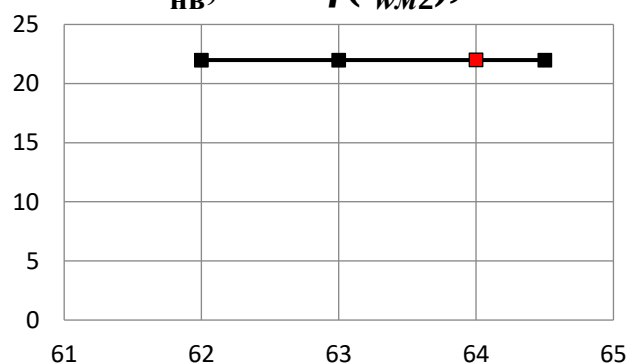


Рис. 4.13. Залежність $M_{\text{нв}}$ від зміни температури t_{wm2} при постійних значеннях інших температур: $t_{w1} = 38^\circ\text{C}$, $t_{wh2} = 90^\circ\text{C}$

Побудова залежності маси серцевини в ОНП від t_{wh2}

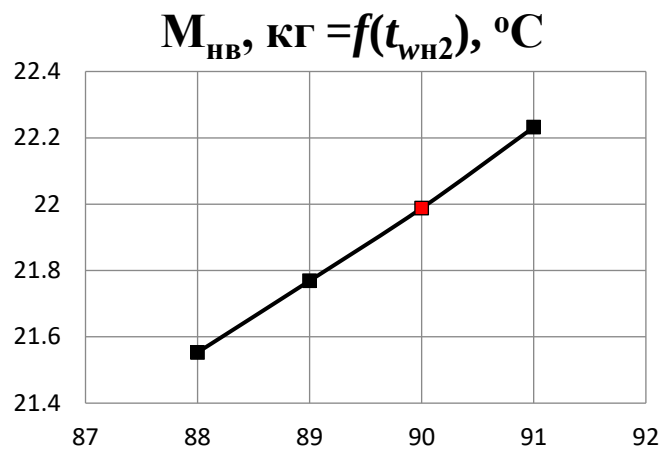


Рис. 4.14. Залежність M_{HB} від зміни температури t_{wh2} при постійних значеннях інших температур: $t_{wl} = 38^\circ\text{C}$, $t_{wm2} = 64^\circ\text{C}$

4.5.2. Побудова залежностей мас серцевин в ВВО1 від t_{w1} , t_{wm2} , t_{wh2}

Побудова залежності маси серцевини в ВВО1 від t_{w1}

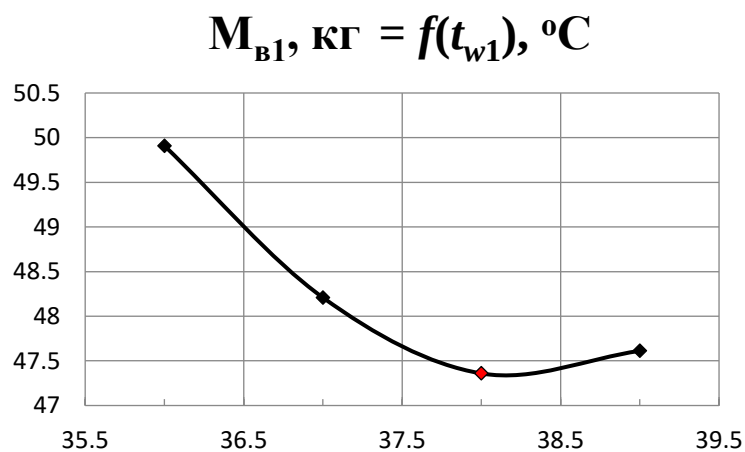


Рис. 4.15. Залежність M_{B1} від зміни температури t_{w1} при постійних значеннях інших температур: $t_{wm2} = 64^\circ\text{C}$, $t_{wh2} = 90^\circ\text{C}$

Побудова залежності маси серцевини в ВВО1 від t_{wm2}

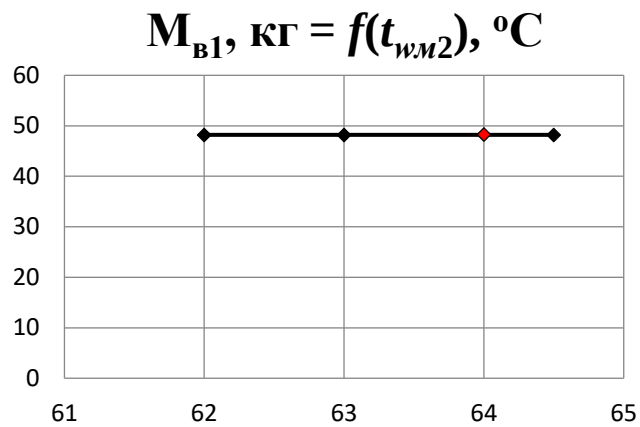


Рис. 4.16. Залежність M_{B1} від зміни температури t_{wm2} при постійних значеннях інших температур: $t_{wl} = 38^\circ\text{C}$, $t_{wh2} = 90^\circ\text{C}$

Побудова залежності маси серцевини в ВВО1 від t_{wh2}

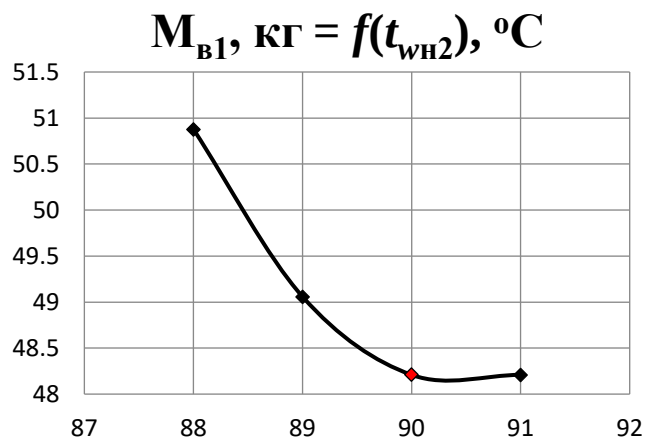


Рис. 4.17. Залежність M_{B1} від зміни температури t_{wh2} при постійних значеннях інших температур: $t_{wl} = 38^\circ\text{C}$, $t_{wm2} = 64^\circ\text{C}$

4.5.3. Побудова залежностей мас серцевин в ВВО2 від t_{w1} , t_{wm2} , t_{wn2}

Побудова залежності маси серцевини в ВВО2 від t_{w1}

$$M_{B2}, \text{ кг} = f(t_{w1}), ^\circ\text{C}$$

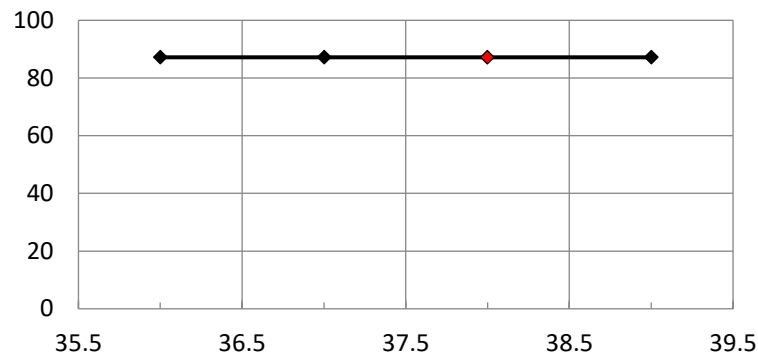


Рис. 4.18. Залежність M_{B2} від зміни температури t_{w1} при постійних значеннях інших температур: $t_{wm2} = 64^\circ\text{C}$, $t_{wn2} = 90^\circ\text{C}$

Побудова залежності маси серцевини в ВВО2 від t_{wm2}

$$M_{B2}, \text{ кг} = f(t_{wm2}), ^\circ\text{C}$$

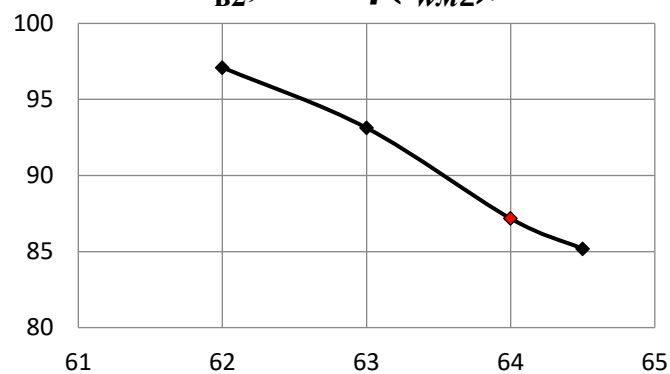


Рис. 4.19. Залежність M_{B2} від зміни температури t_{wm2} при постійних значеннях інших температур: $t_{w1} = 38^\circ\text{C}$, $t_{wn2} = 90^\circ\text{C}$

Побудова залежності маси серцевини в ВВО2 від t_{wH2}

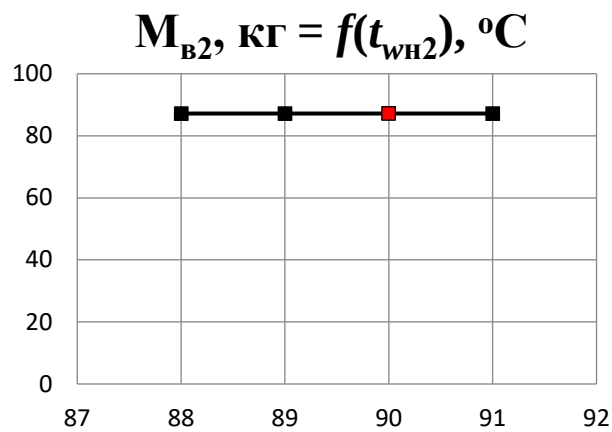


Рис. 4.20. Залежність M_{B2} від зміни температури t_{wH2} при постійних значеннях інших температур: $t_{wI} = 38^\circ\text{C}$, $t_{wM2} = 64^\circ\text{C}$

4.5.4. Побудова залежностей мас серцевин в МО від t_{w1} , t_{wM2} , t_{wH2}

Побудова залежності маси серцевини в МО від t_{w1}

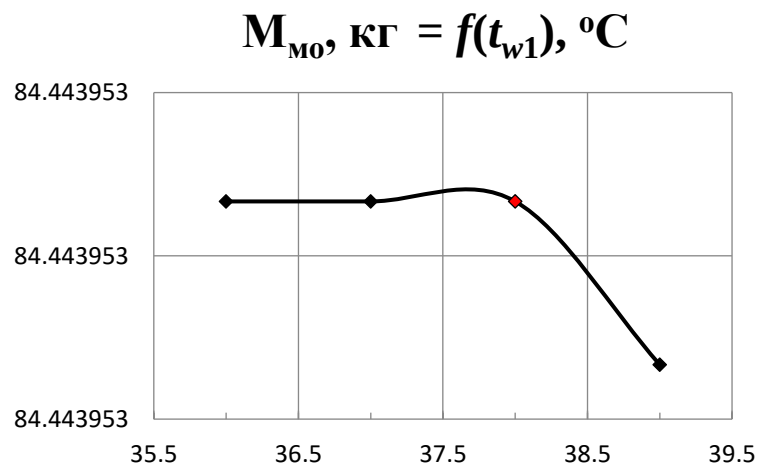


Рис. 4.21. Залежність M_{MO} від зміни температури t_{w1} при постійних значеннях інших температур: $t_{wM2} = 64^\circ\text{C}$, $t_{wH2} = 90^\circ\text{C}$

Побудова залежності маси серцевини в МО від t_{wm2}

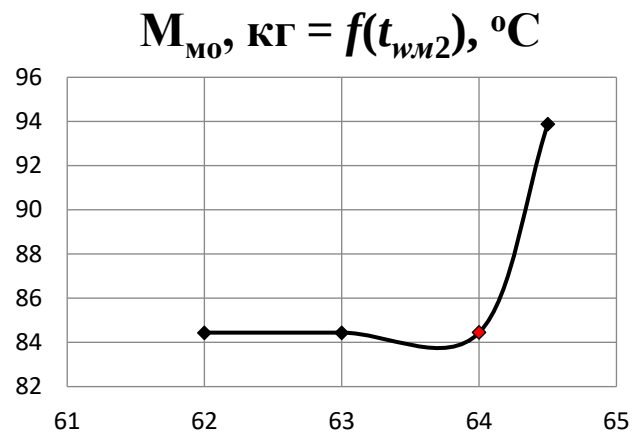


Рис. 4.22. Залежність M_{mo} від зміни температури t_{wm2} при постійних значеннях інших температур: $t_{wl} = 38^\circ\text{C}$, $t_{wh2} = 90^\circ\text{C}$

Побудова залежності маси серцевини в МО від t_{wh2}

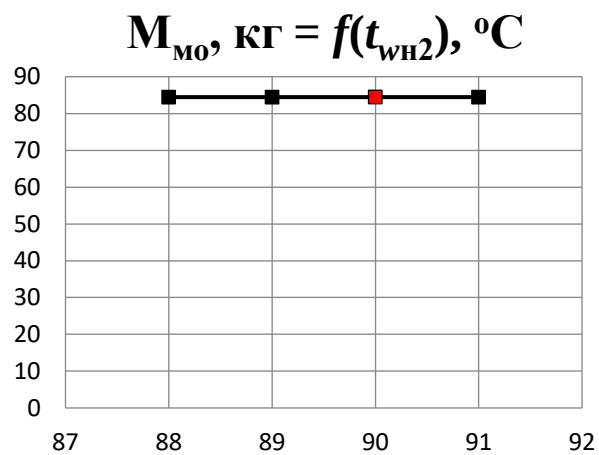


Рис. 4.23. Залежність M_{mo} від зміни температури t_{wh2} при постійних значеннях інших температур: $t_{wl} = 38^\circ\text{C}$, $t_{wm2} = 64^\circ\text{C}$

4.6. Побудова графіків витрат ТВК через кожний теплообмінник в системі 2В2НПР

Побудова залежності для ОНП

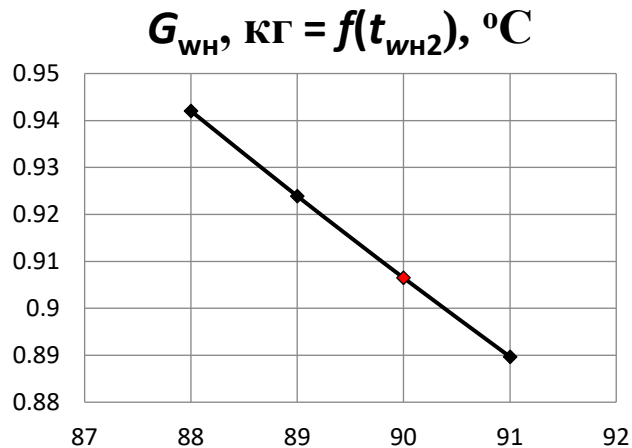


Рис. 4.24. Залежність $G_{\text{вн}}$ від зміни температури $t_{\text{вн}2}$ при постійних значеннях інших температур: $t_{\text{вл}} = 38^\circ\text{C}$, $t_{\text{вм}2} = 64^\circ\text{C}$

Побудова залежності для ВВО1

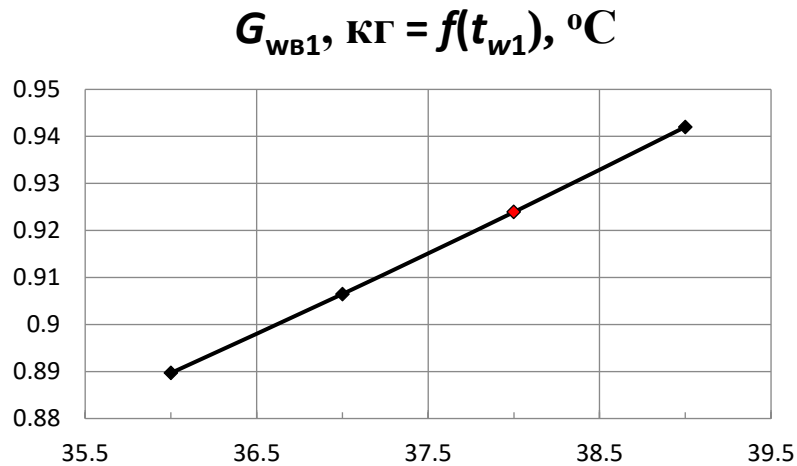


Рис. 4.25. Залежність $G_{\text{вб}1}$ від зміни температури $t_{\text{вл}}$ при постійних значеннях інших температур: $t_{\text{вм}2} = 64^\circ\text{C}$, $t_{\text{вн}2} = 90^\circ\text{C}$

Побудова залежності ВВО2

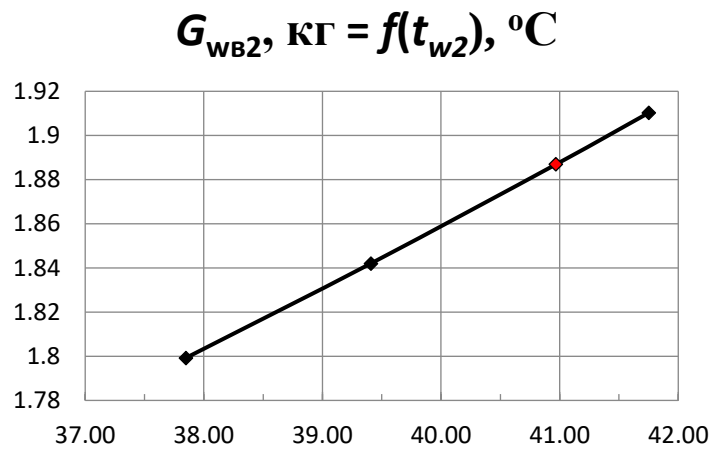


Рис. 4.26. Залежність G_{WB2} від зміни температури t_{w2} при постійних значеннях інших температур: $t_{w1} = 38^\circ\text{C}$, $t_{wh2} = 90^\circ\text{C}$

Побудова залежності розходу ТВК в МО від t_{wm2}

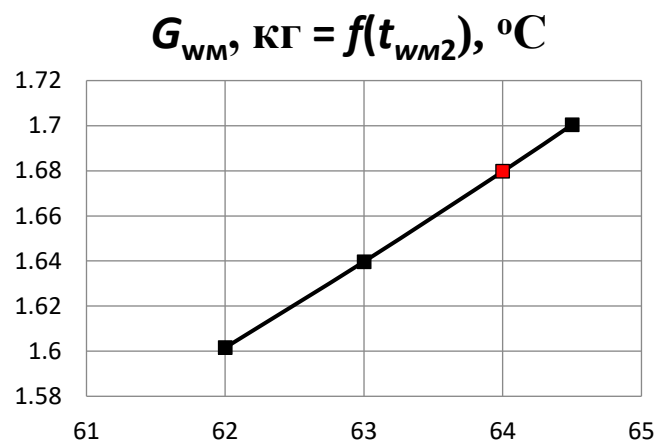


Рис. 4.27. Залежність G_{WM} від зміни температури t_{wm2} при постійних значеннях інших температур: $t_{w1} = 38^\circ\text{C}$, $t_{wh2} = 90^\circ\text{C}$

Побудова залежності розходу ТВК в Г від $t_{wГ2}$

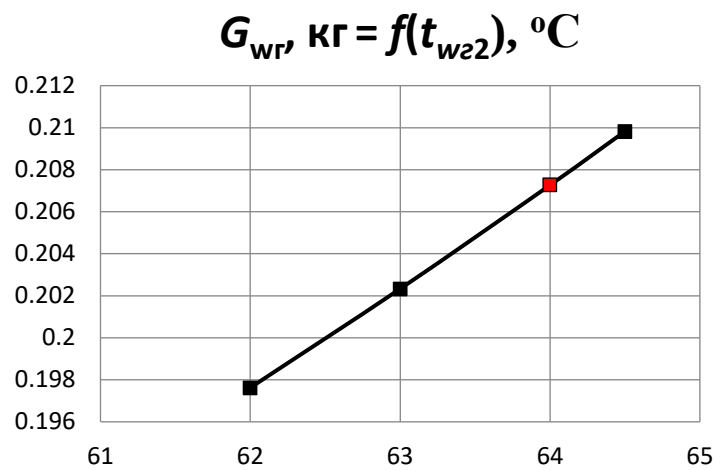


Рис. 4.28. Залежність $G_{wГ}$ від зміни температури $t_{wГ2}$ при постійних значеннях інших температур: $t_{wГ1} = 38^\circ\text{C}$, $t_{wГ2} = 90^\circ\text{C}$

4.7. Аналіз графіків системи типу 2В2НПР

В результаті аналізу трьох систем було встановлено, що найменша сумарна маса теплообмінників може бути досягнена в системі типу 2В2НПР.

На рисунках 4.4 ... 4.6 показана зміна суми мас серцевин даної системи через зміну розходів ТВК через всі теплообмінники. Розходи ТВК прямо залежать від температур ТВК за теплообмінниками і тому зазначені вище графіки побудовані від температур. Як видно з цих графіків найменша M_{Σ} приблизно однакова на всіх графіках.

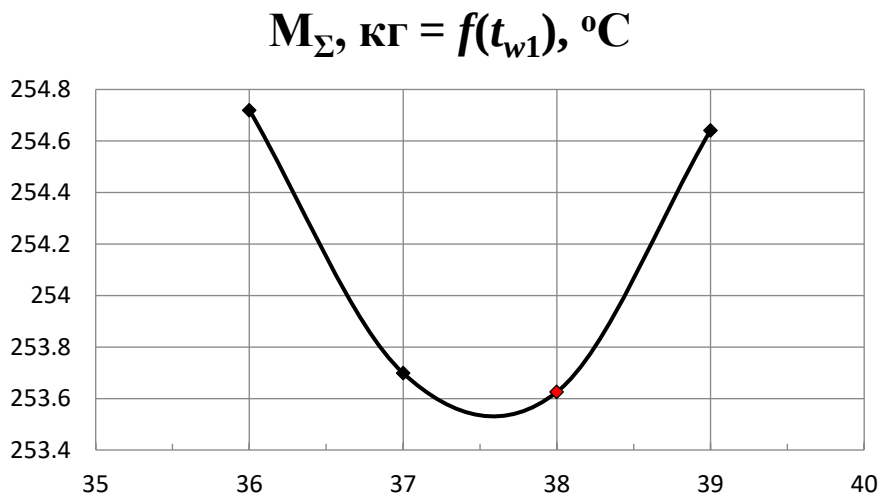


Рис. 4.4. Залежність M_{Σ} від зміни температури t_{w1} при постійних значеннях інших температур: $t_{wm2} = 64^\circ\text{C}$, $t_{wh2} = 90^\circ\text{C}$

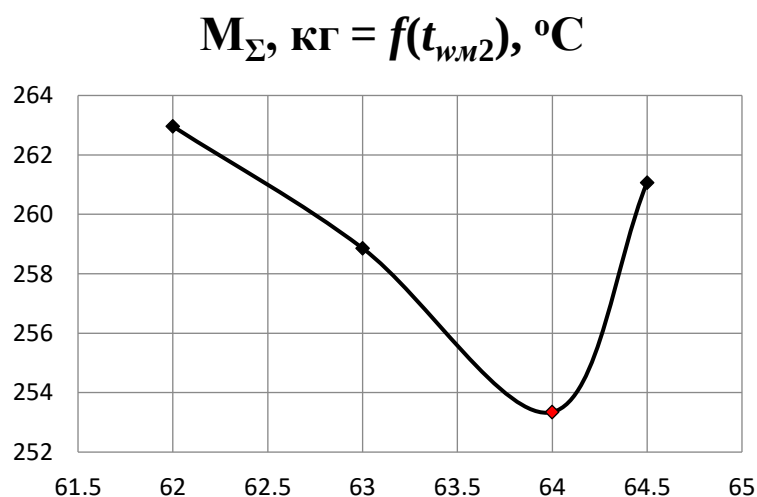


Рис. 4.5. Залежність M_{Σ} від зміни температури t_{wm2} при постійних значеннях інших температур: $t_{w1} = 38^\circ\text{C}$, $t_{wh2} = 90^\circ\text{C}$

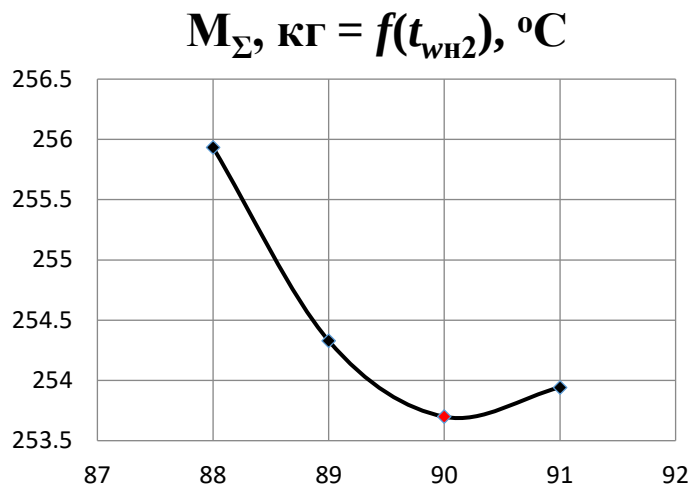


Рис. 4.6. Залежність M_{Σ} від зміни температури t_{wH2} при постійних значеннях інших температур: $t_{w1} = 38^\circ\text{C}$, $t_{wM2} = 64^\circ\text{C}$

У таблиці 4.4.1. приведені оптимальні температури і досягнена мінімальна маса.

Таблиця 4.4.1. Оптимальні температури та найменша сумарна маса серцевин теплообмінників

M_{Σ}	253,6988	кг
T_{wH2}	90	$^\circ\text{C}$
T_{w1}	38	$^\circ\text{C}$
T_{wM2}	64	$^\circ\text{C}$

На підставі зазначених вище графіків (рис. 4.4 ... 4.6) встановлено, що мінімальна сумарна маса серцевин для системи 2В2НПР складає приблизно 254 кг.

При цьому оптимальні температури за теплообмінниками такі: $t_{w1} = 38^\circ\text{C}$, $t_{wM2} = 64^\circ\text{C}$, $t_{wH2} = 90^\circ\text{C}$.

На підставі графіків на рисунках ... встановленні оптимальні розходи ТВК через всі теплообмінники. Оптимальні витрати ТВК через теплообмінники складають: $G_{wH} = 0,906 \text{ кг/с}$; $G_{wB1} = 0,923 \text{ кг/с}$; $G_{wB2} = 1,886 \text{ кг/с}$; $G_{wM} = 1,679 \text{ кг/с}$; $G_{wT} = 0,207 \text{ кг/с}$.

При проектуванні системи типу 2В2НПР всі теплообмінники проектуються на ці параметри і мають відповідні характеристики.

Розділ 5. Розрахунок теплообмінних апаратів.

У відповідності до завдання кафедри найкраща система має бути укомплектована відповідними теплообмінниками. Ці теплообмінники повинні рахуватися на такі параметри (витрати теплоносіїв і їх температури), які відповідають параметрам найменшої сумарної ваги серцевин системи, це параметри для точки оптимуму системи типу 2В2ННР. Система даного типу має п'ять типів теплообмінників: ВВО1, ВВО2, МО, ОНВ і Г. Кожен теплообмінник розраховується з допомогою розрахункового комплексу, розрахунків робиться багато, але для втілення в проекті тільки ті що зазначенні вище. Кожен теплообмінник має свою конструкцію, яка повинна розглядатися і адаптуватися для системи.

Для розрахунків теплообмінників робиться спеціальний розрахунок в точці оптимуму системи. З цього розрахунку обираються відповідні параметри для кожного теплообмінника.

На підставі отриманих параметрів отримуються конструктивні дані для кожного теплообмінника, на підставі яких можна комплектувати найкращу систему охолодження.

5.1. Розрахунок теплообмінників в системі типу 2В2ННР

5.1.1. Розрахунок теплообмінника ОНП

Охолоджувач надувного повітря (ОНП): Використовується для охолодження повітря, що надходить до двигуна після стиснення в турбонагнітачі. Можуть бути повітряно-повітряними або повітроводяними, конструктивно реалізуються у вигляді кожухотрубних або кожухокоробчастих теплообмінників з оребреними трубами або пластинчастими пакетами.

Теплообмінник можна класифікувати наступним чином:

- за призначенням – охолоджувач повітря;
- за конструкцією – кожухо-коробчастий;
- за теплообмінною поверхнею – має серцевину у вигляді прямокутного пучка з плоско-овальних труб, оребрених груповими поперечними пластинами з трикутними гофрами, розташованими перпендикулярно ходу повітря.

- за схемою взаємного руху носіїв – багаторазовий перехрещений тік при загальному протитоці;
- серцевина теплообмінника має верхню рухливу дошку для компенсації термічних подовжень.

На рисунку 5.1 зображений загальний вид прототипу теплообмінника, який (з отриманими розмірами) може бути застосований для проекту.

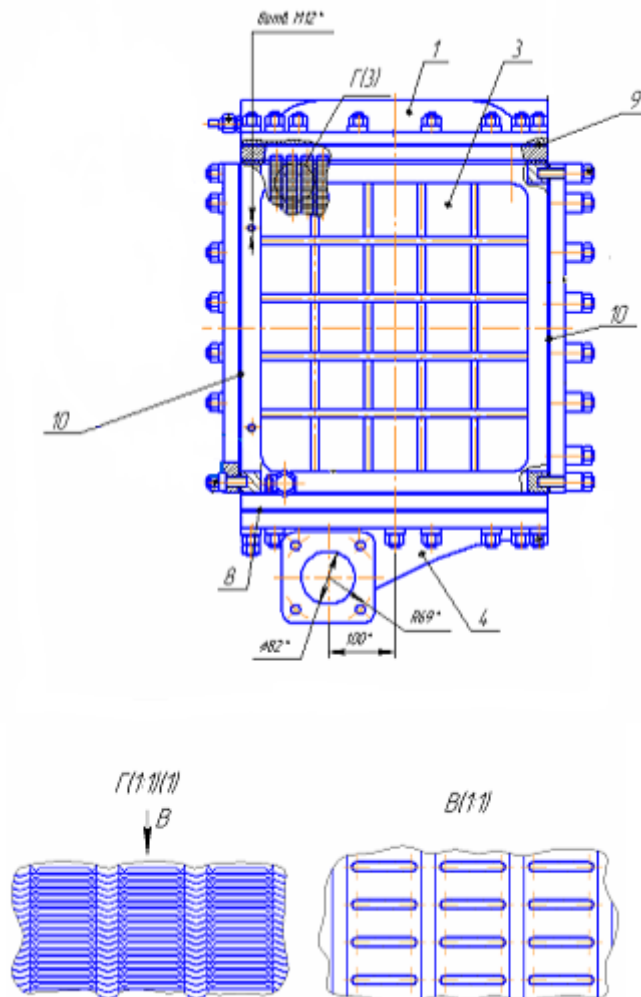


Рис. 5.1. Загальний вигляд теплообмінника ОНП

Нижче, у таблиці 5.1 приведені початкові дані для розрахунку теплообмінника. Ці початкові дані отримані з розрахункового комплексу для розрахунку системи 2В2НПР. Дані наведені для параметрів точки оптимуму.

Таблиця 5.1. Вхідні данні

Обозначення	Розмірність	Роз'яснення	Значення	Параметр
G_B	кг/с		1,843	Витрата повітря
G_W	кг/с		0,923903066	Витрата води
t_{B1}	С		158,7	Температура повітря на вході
T_{B1}	К		431,7	
t_{B2}	С		50,0	Температура повітря на виході
T_{B2}	К		323	
t_{w1}	С		38	Температура води на вході
T_{w1}	К		311	
P_1	Па		250000	Тиск повітря на вході
ΔP	мм.в.ст		200	Повітряний опір ОНВ
ΔP	Па	$\Delta P, \text{мм.в.ст} * 9,8$	1960	
w_w	м/с		1	Швидкість води в трубах

У таблиці 5.1.1 приведені результати розрахунку охолоджувача повітря.

Таблиця.5.1.1. Результати розрахунку теплообмінника ОНП

Пара-метр	Од. виміру	Значення
G_B	кг/с	1,843
G_W	кг/с	0,924
T_{B1}	К	431,704
T_{B2}	К	322,7
t_{e1}	°С	158,704
t_{e2}	°С	49,684
T_{w1}	К	311,000
T_{w2}	К	363,162
t_{w1}	°С	38,000
t_{w2}	°С	90,162
P_1	Па	250000,000
$R_{ст}$	м ² ·К/Вт	0,0000
$L_{п}$	м	0,3220
$B_{п}$	м	0,290

Продовження таблиці 5.1.1.

H_{Π}	м	0,362
b_{WT}		14,000
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_{Γ}	м	0,003
e	м	0,0040
S	м	0,0230
$Z_2'_{\Gamma}$	шт	2,000
Z_{Γ}	шт	13,000
Z_1	шт	29,000
Z_2	шт	14,000
Z	шт	406,000
Схема		3,000
F	м ²	39,157
M_{Π}	кг	23,218
T_{wf}	К	337,081
T_{bf}	К	367,391
w_w	м/с	0,991
Re_w		7781,383
Re		2804,255
ΔP	Па	2036,806
ΔP	мм.в.ст	207,837
DP_w	кПа	38,669
k	Вт/(м ² К)	164,779
Kg	Вт/кгК	277,903
K_v	Вт/м ³ К	190639,994
$\left[\overline{\rho} \right]$		1,3270
η		0,9032
Індикатор		Вірно

					КРМ.142.6221м.15.05.ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата		63

5.1.2. Розрахунок теплообмінника МО

Маслоохолоджувач (МО): Це пристрій для охолодження масла в двигунах внутрішнього згоряння (ДВЗ), який зазвичай виконується у вигляді водо-масляного теплообмінника (РМТ). У даному проекті виконується кожухотрубний теплообмінник, який можна класифікувати такими ознаками:

- за призначенням – охолоджувач масла;
- за конструкцією – кожухотрубний;
- за теплообмінною поверхнею – має серцевину у вигляді круглого пучка круглих оребрених накаткою труб, на труби одягнені сегментні діафрагми.
- за схемою взаємного руху теплоносіїв – двократний реверсивний тік;
- серцевина теплообмінника має одну рухливу дошку для компенсації термічних подовжень.

На рисунку 5.2 показаний загальний вид прототипу теплообмінника конструкції БєРМЗ, який може бути застосований (з своїми геометричними параметрами) у проекті.

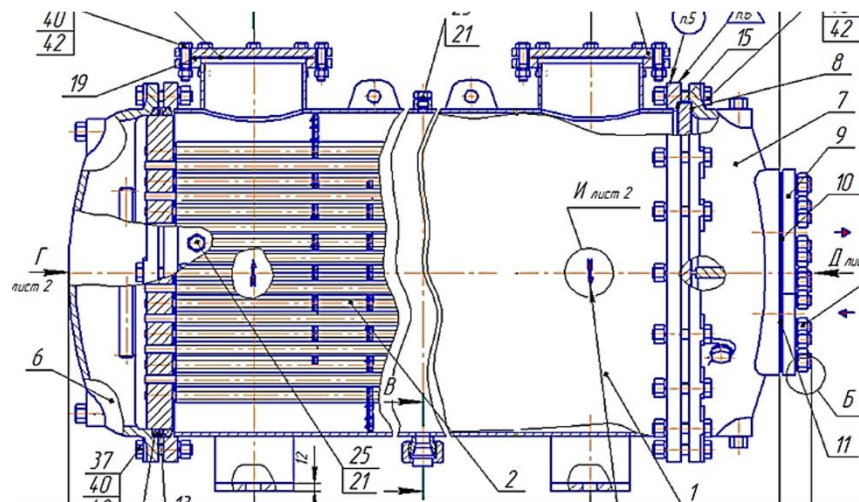


Рис. 5.2. Загальний вигляд теплообмінника МО у розрізі

У таблиці результатів розрахунку загальна довжина L_p дорівнює сумі довжин труб двох теплообмінників, які утворюють двократний реверсивний тік і мають однукову конструкцію.

Нижче, у таблиці 5.1.2 приведені початкові дані для розрахунку теплообмінника. Ці початкові дані отримані з розрахункового комплексу для розрахунку системи 2В2НПР. Дані наведені для параметрів точки оптимуму.

Таблиця 5.1.2. Вхідні данні

Обозначення	Розмірність	Значення	Параметр
G_M	кг/с	12,28	Витрата масла
t_{M1}	$^{\circ}\text{C}$	90,00	Температура масла на вході
p_{M1}	кПа	439	Тиск масла на вході
t_{M2}	$^{\circ}\text{C}$	83,14	
w_M	м/с	2,3	Середня швидкість масла в стислому перерізі пучка
G_{WM}	кг/с	1,68	Витрата води
t_{W1}	$^{\circ}\text{C}$	40,97	Температура води на вході
P_W	кПа	180	Тиск води на вході
w_W	м/с	1,17	Швидкість води в трубах

У таблиці 5.1.3 приведені результати розрахунку охолоджувача масла.

Таблиця.5.1.3. Результати розрахунку теплообмінника МО

Обозначення	Розмірність	Значення
G	кг/с	12,28
t_{M1}	$^{\circ}\text{C}$	90
p_{M1}	кПа	439
t_{M2}	$^{\circ}\text{C}$	83,14
η		0,470
w_M	м/с	2,33
ΔP_M	кПа	175,26
G_W	кг/с	1,68
t_{W1}	$^{\circ}\text{C}$	40,970385
t_{W2}	$^{\circ}\text{C}$	64,01
P_W	кПа	180
w_W	м/с	1,17
ΔP_W	кПа	31,70
$R_{ст}$	$\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$	0,00243
k_g	$\text{Вт}/\text{кгК}$	60,6
Q	кВт	162,14079
Тип ПТ		монометалл.
D	м	0,0245

Продовження таблиці 5.1.3

do	м	0,0125
d1	м	0,0118
dw	м	0,01
u	м	0,002
δ_1	м	0,00055
δ_2	м	0,0002
S1	м	0,027
S2	м	0,0234
схема		4
bp		2
bm		22
bw		3
Sд	м	0,005
Zд		9
Z2		7
Zcv		0
Z		56
Hст	м	0,050
Do	м	0,246
Dт	м	0,265
Dду	м	0,265
δ_d	м	0,000200
Lп	м	0,165
Zдф		21
kD		0,25
L1	м	0,0623
L2	м	0,0623
L3	м	0,0623
Lт	м	1,4752
Dпw	мм	180
Допw	мм	180
Dп	мм	180
Доп	мм	180
Mп	кг	80,55
F	м2	31,82
Індикатор		Вірно!

5.1.3. Розрахунок теплообмінника для охолодження гідравлічної рідини.

Охолоджувач гідравлічної рідини (Г) використовується для охолодження гідравлічних рідин у системах. Зазвичай у якості рідини використовується звичайне масло або масло спеціальної марки. У проекті вважається що в Г застосовується звичайне масло таке ж, як для змащення двигуна. Г може бути схожий на звичайний маслоохолоджувач і виконаний у вигляді кожухотрубного теплообмінника (рис. 5.2). За конструкцією і класифікаційними ознаками він буде такий самий, як і МО. З урахуванням меншого теплового потоку ніж в МО, Г може мати пучок з більш дрібних трубок, але таке рішення досить складне з технологічного боку. У проекті серцевина Г виконана з таких же трубок, як і у МО.

Нижче, у таблиці 5.1.4 приведені початкові дані для розрахунку теплообмінника. Ці початкові дані отримані з розрахункового комплексу для розрахунку системи 2В2НПР. Дані наведені для параметрів точки оптимуму.

Таблиця 5.1.4. Вхідні данні

Обозначення	Розмірність	Значення	Параметр
G_M	кг/с	2,00	Витрата масла
t_{m1}	$^{\circ}C$	90,00	Температура масла на вході
p_{m1}	кПа	439	Тиск масла на вході
t_{m2}	$^{\circ}C$	84,81	
w_m	м/с	1,5	Середня швидкість масла в стислому перерізі пучка
G_{wm}	кг/с	0,21	Витрата води
t_{w1}	$^{\circ}C$	40,97	Температура води на вході
P_w	кПа	180	Тиск води на вході
w_w	м/с	1,15	Швидкість води в трубках

У таблиці 5.1.5 приведені результати розрахунку охолоджувача Г.

Таблиця.5.1.5. Результати розрахунку теплообмінника Г

Обозначення	Розмірність	Значення
G	кг/с	2
t_{m1}	°C	90
p_{m1}	кПа	439
t_{m2}	°C	84,81
η		0,470
w_m	м/с	1,39
ΔP_m	кПа	80,73
G_w	кг/с	0,21
t_{w1}	°C	40,970385
t_{w2}	°C	64,01
P_w	кПа	180
w_w	м/с	1,15
ΔP_w	кПа	45,43
$R_{ст}$	м ² ·К/Вт	0,00241
k_g	Вт/кгК	59,5
Q	кВт	20,00750
Тип ПТ		монометалл.
D	м	0,0245
d_o	м	0,0125
d_1	м	0,0118
d_w	м	0,01
u	м	0,002
δ_1	м	0,00055
δ_2	м	0,0002
S_1	м	0,027
S_2	м	0,0234
схема		4
b_p		1
b_m		19
b_w		6
S_d	м	0,005
Z_d		5
Z_2		3
Z_{cv}		0
Z		14
$H_{ст}$	м	0,041
Do	м	0,142
D_T	м	0,154
$D_{ду}$	м	0,154

Продовження таблиці 5.1.5.

δ_d	м	0,000200
L_{Π}	м	0,071
$Z_{дф}$		18
k_D		0,25
L_1	м	0,0339
L_2	м	0,0339
L_3	м	0,0339
L_T	м	0,7342
$D_{\Pi W}$	мм	180
$D_{опW}$	мм	180
D_{Π}	мм	180
$D_{оп}$	мм	180
Мп	кг	10,02
F	м ²	3,96
Індикатор		Вірно!

5.1.4. Розрахунок теплообмінника ВВО1

Водоводяний охолоджувач (ВВО) використовується для охолодження води. Він виконаний, як кожухотрубний теплообмінник, де ТВК охолоджується за рахунок ТЗК. ТВК проходить між трубок, а ТЗК в середині трубок. Цей теплообмінник можна класифікувати наступним чином:

- за призначенням – охолоджувач ТВК (інгібована прісна вода);
- за конструкцією – кожухотрубний;
- за теплообмінною поверхнею – має серцевину у вигляді круглих гладких труб, на труби одягнені сегментні діафрагми.
- за схемою взаємного руху теплоносіїв – многократний перехний тік при загальному протитоці;
- для зручності компоновки загальна довжина трубок розділяється на дві рівні частини, які з'єднується зовнішніми трубами;
- частини ВВО виконані як однакові за конструкцією і всіма класифікаційними ознаками теплообмінники;
- серцевини теплообмінників мають по одній рухливій дошці для компенсації термічних подовжень.

Загальний вид такого теплообмінника конструкції БєРМЗ принципово не відрізняється від такого, який показаний на рисунку 5.2. Відразу стосується тільки трубок, які для ВВО застосовується без оребрення.

Нижче, у таблиці 5.1.6 приведені початкові дані для розрахунку теплообмінника. Ці початкові дані отримані з розрахункового комплексу для розрахунку системи 2В2НПР. Дані наведені для параметрів точки оптимуму.

Таблиця 5.1.6. Вхідні данні для розрахунку ВВО1

Обозначення	Розмірність	Значення	Параметр
Π	%	10	Солоність заборотної води
G_w	кг/с	0,92	Витрата прісної води
t_{w1}	$^{\circ}\text{C}$	90,0	Температура прісної води на вході
p_{w1}	кПа	200	Тиск прісної води на вході
t_{w2}	$^{\circ}\text{C}$	38	Температура прісної води за охолоджувачем
w_{w1}	м/с	1,300	Швидкість прісної води в стислому перерізі пучка в середніх відсіках
G_{ww}	кг/с	16,47	Витрата заборотної води
t_{ww1}	$^{\circ}\text{C}$	25,00	Температура заборотної води на вході
P_{ww}	кПа	200	Тиск заборотної води на вході
w_{ww}	м/с	1,531	Швидкість заборотної води в трубках

У таблиці 5.1.7 приведені результати розрахунку охолоджувача ВВО1

Таблиця.5.1.7. Результати розрахунку теплообмінника ВВО1

Обозначення	Розмірність	Значення
G_w	кг/с	0,92
t_{w1}	$^{\circ}\text{C}$	90,00
p_{w1}	кПа	200,00
t_{w2}	$^{\circ}\text{C}$	38,00
η		0,80
w_w	м/с	1,26
$w_{w\text{под}}$	м/с	1,00
$w_{w\text{от}}$	м/с	1,00
ΔP_w	кПа	41,10

Продовження таблиці 5.1.7.

G_{ww}	кг/с	16,47
t_{ww1}	°C	25,00
t_{ww2}	°C	28,03
P_{ww}	кПа	200,00
w_{ww}	м/с	1,53
$w_{wwпод}$	м/с	1,00
$w_{wwот}$	м/с	1,00
Π	%	10,00
ΔP_{ww}	кПа	8,51
R_{Σ}	м ² ·К/Вт	0,000392
k_g	Вт/кгК	139,18
Q	Вт	201300,00
Схема		1
bw		63
bww		1,000
bp		2,000
d_0	м	0,012
d_w	м	0,010
S_1	м	0,016
S_2	м	0,014
S_{II}	м	0,007
S_{II}	м	0,002
δ_d	м	0,000
h_{co}		0,088
k_D		0,070
S_d	м	0,006
Z_d		13,000
Z_{cv}		5,000
Так/Ні		ні
Z_2		12,000
Z_{max}		126,000
Z		126,000
$\phi_{ao,град}$		69,112
$\phi_{at,град}$		70,742
H_{co}	м	0,018
$H_{ст}$	м	0,019
Do	м	0,204

					КРМ.142.6221м.15.05.ПЗ	Лист
						71
Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата		

Продовження таблиці 5.1.7. (1)

$L_{\text{П}}$	м	0,166
$Z_{\text{дф}}$		62,000
L_1	м	0,014
L_2	м	0,014
L_3	м	0,014
$L_{\text{Т}}$	м	1,274
$D_{\text{Т}}$	м	0,207
$D_{\text{под}}$	мм	34,603
$D_{\text{от}}$	мм	34,60265397
$D_{\text{под}}$	мм	144,3362307
$D_{\text{от}}$	мм	144,3362307
Мп	кг	46,12451527
F	м ²	6,050862363
Індикатор		Вірно

5.1.5. Розрахунок теплообмінника ВВО2.

ВВО2 застосовується у схемі для охолодження ТВК забортною водою. За класифікаційними ознаками він такий самий, як і ВВО1. Відрізняється він тільки параметрами конструкції, які надані у таблиці Загальний вид такого теплообмінника конструкції БєРМЗ принципово не відрізняється від показаного, на рисунку 5.2. Відразу стосується тільки трубок, які для ВВО застосовується без оребрення.

Нижче, у таблиці 5.1.8 приведені початкові дані для розрахунку теплообмінника. Ці початкові дані отримані з розрахункового комплексу для розрахунку системи 2В2НПР. Дані наведені для параметрів точки оптимуму.

Таблиця 5.1.8. Вхідні данні для розрахунку ВВО2

Обозначення	Розмірність	Значення	Параметр
П	%	10	Солоність забортної води
G_w	кг/с	1,89	Витрата прісної води
t_{w1}	°C	105,0	Температура прісної води на вході
p_{w1}	кПа	200	Тиск прісної води на вході

Продовження таблиці 5.1.8

t_{w2}	$^{\circ}\text{C}$	40,970385	Температура прісної води за охолоджувачем
w_{w1}	м/с	1,000	Швидкість прісної води в стислому перерізі пучка в середніх відсіках
G_{ww}	кг/с	16,47	Витрата заборотної води
t_{ww1}	$^{\circ}\text{C}$	28,03	Температура заборотної води на вході
P_{ww}	кПа	200	Тиск заборотної води на вході
w_{ww}	м/с	1,533	Швидкість заборотної води в трубах

У таблиці 5.1.9 приведені результати розрахунку охолоджувача ВВО2

Таблиця.5.1.9. Результати розрахунку теплообмінника ВВО2

Обозначення	Розмірність	Значення
G_w	кг/с	1,89
t_{w1}	$^{\circ}\text{C}$	105,00
p_{w1}	кПа	200,00
t_{w2}	$^{\circ}\text{C}$	40,97
η		0,83
w_w	м/с	0,91
$w_{w\text{под}}$	м/с	1,00
$w_{w\text{от}}$	м/с	1,00
ΔP_w	кПа	57,20
G_{ww}	кг/с	16,47
t_{ww1}	$^{\circ}\text{C}$	28,03
t_{ww2}	$^{\circ}\text{C}$	35,63
P_{ww}	кПа	200,00
w_{ww}	м/с	1,53
$w_{ww\text{под}}$	м/с	1,00
$w_{ww\text{от}}$	м/с	1,00
Π	%	10,00
ΔP_{ww}	кПа	18,95
R_{Σ}	$\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$	0,000392
k_g	$\text{Вт}/\text{кгК}$	175,55
Q	Вт	506240,00
Схема		1
bw		58
b_{ww}		1,000

Продовження таблиці 5.1.9.

bp		2,000
d_0	м	0,012
d_w	м	0,010
S_1	м	0,016
S_2	м	0,014
S_{II}	м	0,007
S_{II}	м	0,002
δ_d	м	0,000
h_{co}		0,156
k_D		0,200
S_d	м	0,006
Z_d		13,000
Z_{cv}		13,000
Да/Нет		нет
Z_2		10,000
Z_{max}		110,000
Z		110,000
$\phi_{ao, \text{град}}$		93,047
$\phi_{at, \text{град}}$		94,118
H_{co}	м	0,032
$H_{ст}$	м	0,033
Do	м	0,204
L_{II}	м	0,139
Z_{df}		57,000
L_1	м	0,041
L_2	м	0,041
L_3	м	0,041
L_T	м	2,714
D_T	м	0,207
$D_{под}$	мм	49,535
$D_{от}$	мм	49,53544816
$D_{под}$	мм	144,4484151
$D_{от}$	мм	144,4484151
Мп	кг	85,7983598
F	м ²	11,25549099
Індикатор		Вірно

					КРМ.142.6221м.15.05.ПЗ	Лист
						74
Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата		

Розділ 6. Розміщення теплообмінників на судні та двигуні.

Згідно з завданням кафедри після розрахунку та оптимізації теплообмінників з найкращої системи (в нашому випадку системи типу 2В2НПР) потрібно накреслити розміщення всіх теплообмінників а саме: маслоохолоджувача, охолоджувача надувного повітря, охолоджувача гідравлічної рідини, водо-водяного охолоджувача 1 та водо-водяного охолоджувача 2.

На підставі отриманих даних з таблиць у розділі №4, кресляться зовнішнішні вигляди кожного теплообмінника (габаритки). Кресляться усі теплообмінники в середовищі AutoCAD.

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

Зовнішній вигляд охолоджувача надувного повітря зображений на рисунку 6.1 , він накреслений на підставі таблиці 5.1.1.

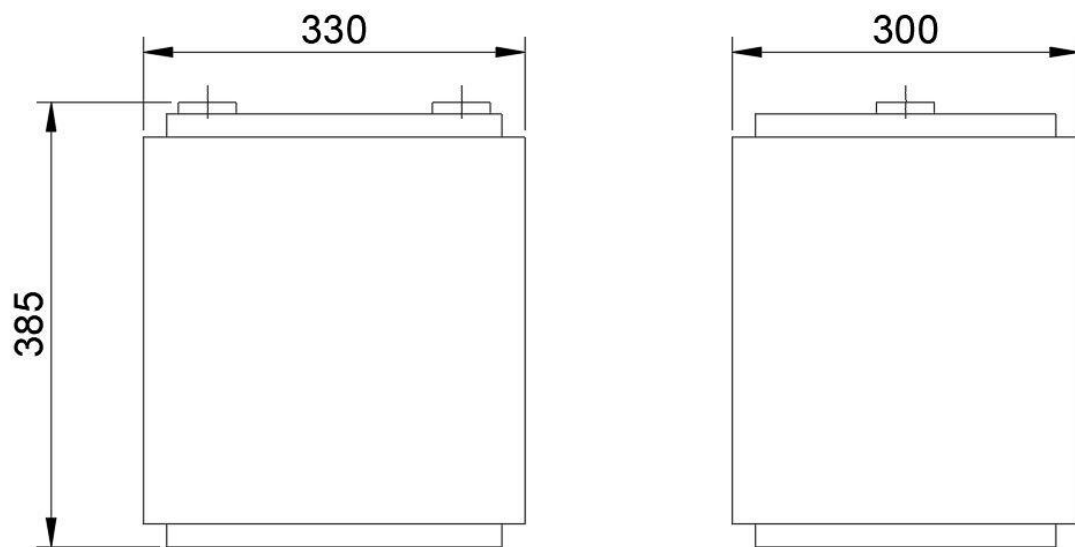


Рис. 6.1. Зовнішній вигляд охолоджувача надувного повітря

Зовнішній вигляд охолоджувача масла зображений на рисунку 6.2 , він накреслений на підставі таблиці 5.1.3.

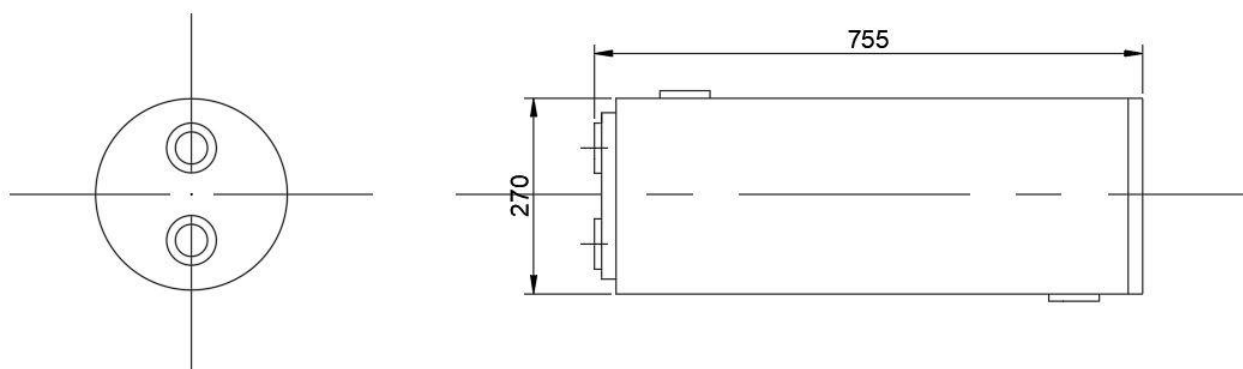


Рис. 6.2. Зовнішній вигляд охолоджувача масла

Зовнішній вигляд охолоджувача гідравлічної рідини зображений на рисунку 6.3 , він накреслений на підставі таблиці 5.1.5.

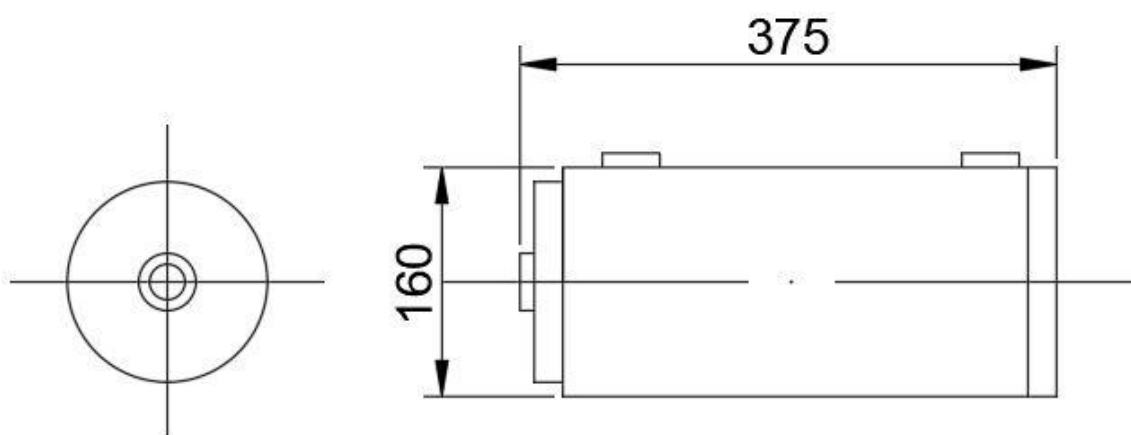


Рис. 6.3. Зовнішній вигляд охолоджувача гідравлічної рідини

Зовнішній вигляд водоводяного охолоджувача 1 зображений на рисунку 6.4 , він накреслений на підставі таблиці 5.1.7.

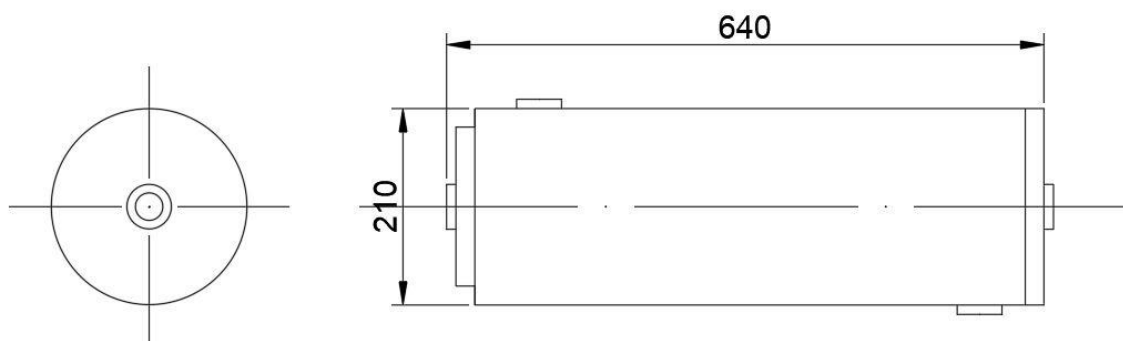


Рис. 6.4. Зовнішній вигляд водоводяного охолоджувача 1

					КРМ.142.6221м.15.06.ПЗ	Лист
						76
Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата		

Зовнішній вигляд водоводяного охолоджувача 2 зображений на рисунку 6.5 , він накреслений на підставі таблиці 5.1.9.

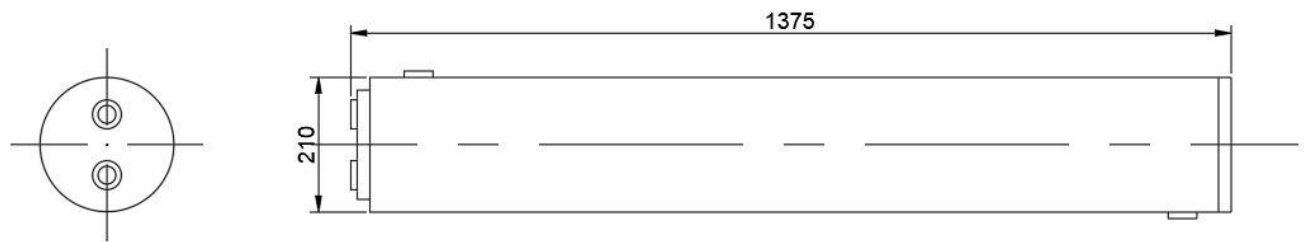


Рис. 6.5. Зовнішній вигляд водоводяного охолоджувача 2

Розміщення всіх теплообмінників на судні і на двигуні

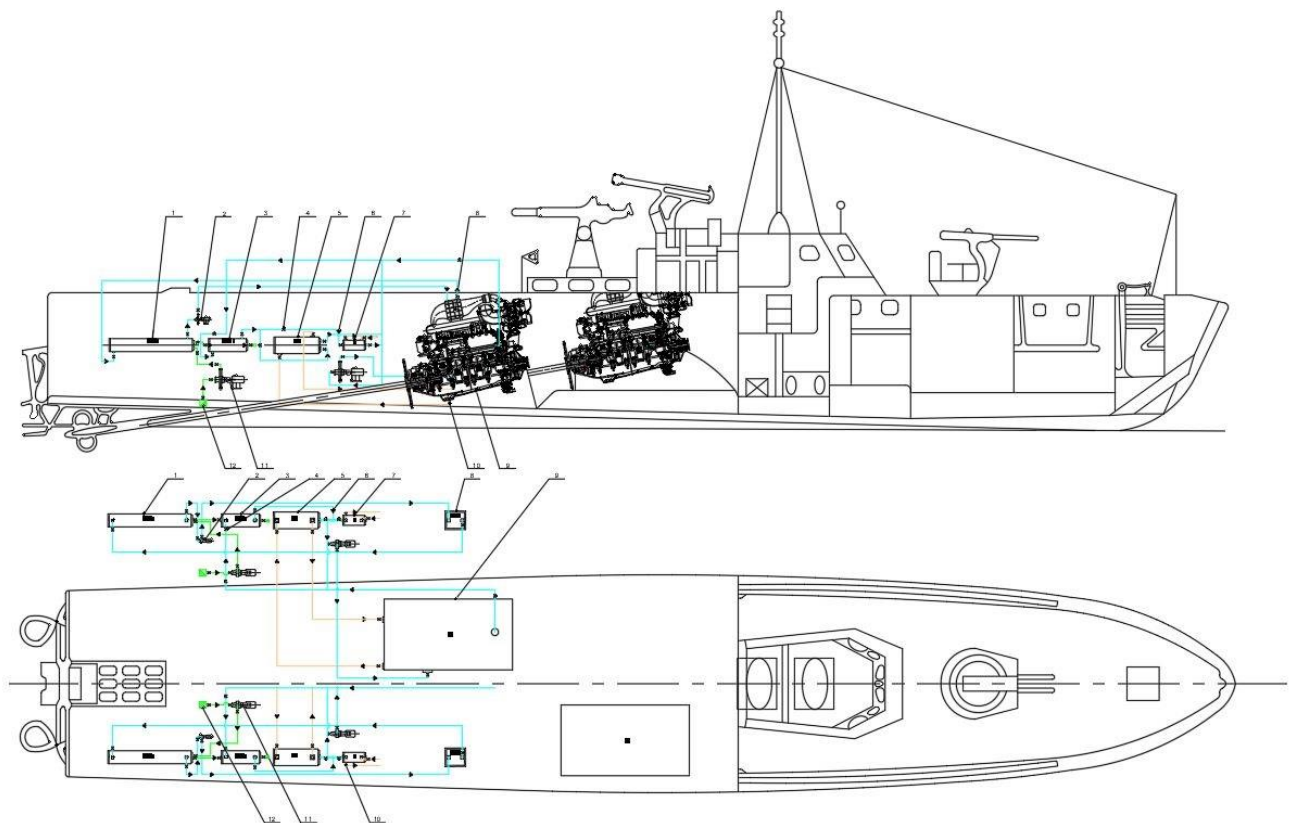


Рис. 6.6. Зовнішній вигляд розміщення системи 2В2НПР на катері

Позначення на кресленні: 1 – водоводяний охолоджувач 2; 2 – насос для прісної води; 3 - водоводяний охолоджувач 1; 4 – клапан регулювальний; 5 - маслоохолоджувач; 6 – стрілка направлення потоку; 7 – охолоджувач гідравлічної рідини; 8 – охолоджувач надувного повітря; 9 – головний двигун; 10 – клапан запірний; 11 – насос для забортової води; 12 – кінгстон.

Роз'яснення що до кольору траси:

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

					КРМ.142.6221м.15.06.ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата		78

Розділ 7. Розробка і конструктивні особливості охолоджувача надувного повітря

Згідно з завданням кафедри розблений загальний вигляд охолоджувача надувного повітря.

Теплообмінник виконано на підставі розробок кафедри ДВЗ УтаТЕ згідно з параметрами, які отримані шляхом розрахунків та надані у табл. 7.1.1.

Опис конструкції

Класифікація:

1. За призначенням

Теплообмінник призначений для охолодження надувного повітря.

2. За виглядом теплоносіїв.

Даний теплообмінник є повітряно-водяним.

3. За схемою взаємної течії теплообмінник виконано багато перехресно-теційним при загальній протитечі теплоносіїв.

4. За особливостями перемішування теплоносіїв у кожному наступному перерізі по ходу теплоносіїв теплообмінник виконано таким, у якому теплоносій з меншою енергоємністю (повітря) не перемішується у кожному наступному перерізі і теплоносій з більшою енергоємністю теж не перемішується. Тобто, обидва теплоносії не перемішуються у кожному наступному перерізі по своєму ходу.

По ТВК охолоджувач є багато ходовим і між ходами ТВК перемішується.

5. На вигляд поверхні теплообміну теплообмінник має серцевину, виготовлену з коридорного пучка плоскоовальних труб з груповим поперечним орбренням плоским ребром, яке має поперечні трикутні виштамповки для покращення теплообміну (див. рис. 7.1., 7.2.).

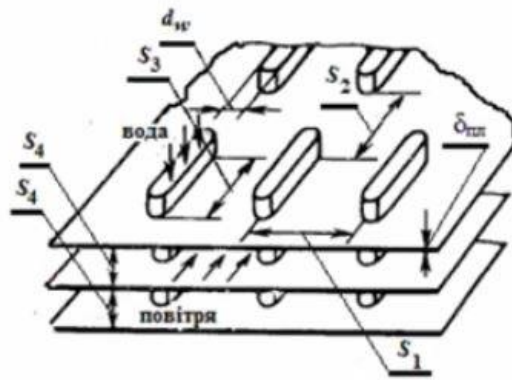


Рис. 7.1. Аксонометричне зображення ПТ на основі коридорного пучка плоскоовальних труб з груповим поперечним оребренням плоским ребром

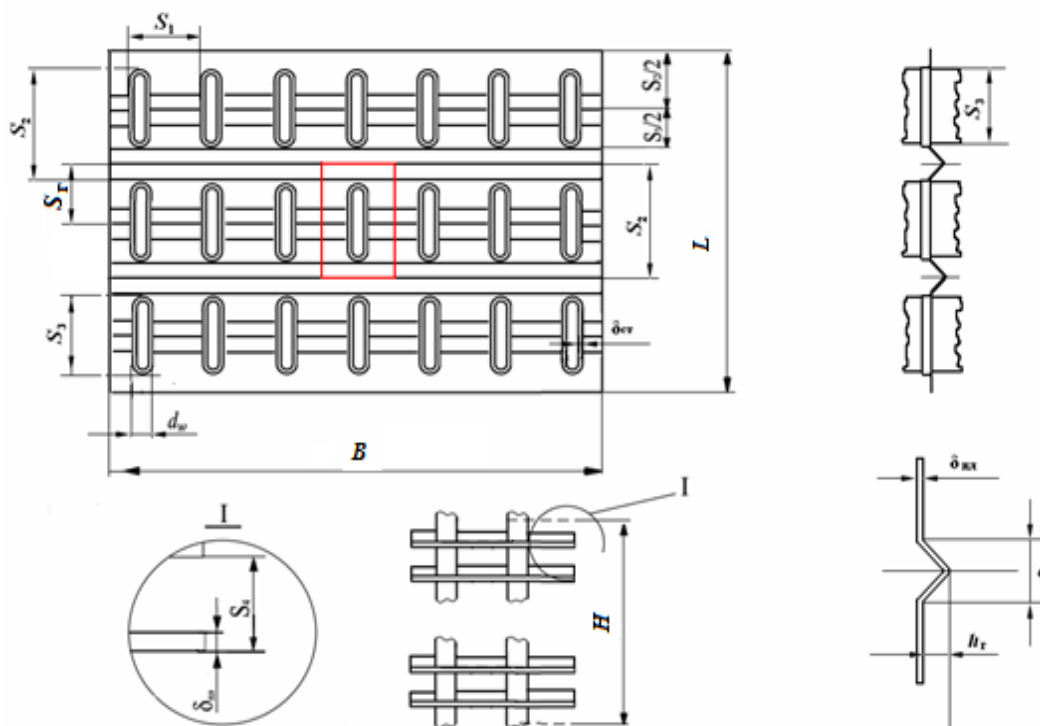


Рис. 7.2. Детальне зображення поверхні теплообміну

6. За загальною схемою конструкції теплообмінник виконано кожухо-коробчастим де серцевина вставляється у коробчастий кожух через спеціальний отвір. Черех протилежний отвір виходить рухома трубна дошка з водяною кришкою. Рухомість трубної дошки забезпечується шляхом її ущільнення в отворі корпусу. Ущільнення також забезпечує герметичність стику серцевини і корпусу для не проходження витоків надувного повітря. Рухомість однієї з дошок має

компенсувати термічні подовження трубок під час роботи теплообмінника. Рухома дошка є верхньою.

Для того, щоб вага цієї дошки і кришки, а також трубного пучка з водою не передавалась на нижню трубну дошку (нерухому) зроблений регульований компенсатор у вигляді хвилястої пружини, який забезпечує передачу вказаної ваги на корпус.

Опис корпусу ОНП

Корпус ОНП виконано коробчастої форми. Ліворуч і праворуч є отвори для підведення і відведення повітря. Отвори оздоблені фланцями з болтами для кріплення повітряних патрубків. Перпендикулярно повітряної осі корпусу зроблено ще два отвори. На нижньому отвірі закріплюється нерухома дошка серцевини. Він оздоблений фланцями з болтами для кріплення цієї дошки. Через протилежний отвір проходить рухома верхня дошка з кришкою. Цей отвір чисто обробляється для стиковки з ущільненням рухомої дошки.

Бокові поверхні корпусу зроблені з сталевого листа і мають шахове оребрення для підсилення жорсткості.

Опис серцевини ОНП

Серцевина виконана у вигляді прямокутного коридорного пучка тонкостінних плоскоовальних трубок. Трубки оребрені поперечними плоскими груповими ребрами, які проходять з початку до кінця пучка. На ребрах зроблені трикутні виштамповки (див. рис. 7.3.) для підсилення теплообміну. Трубки закріплюються у трубних дошках пайкою. Для підсилення міцності дошки зроблені подвійними. Пайка дошок до трубок і пайка ребер до трубок виконується окунанням пучка у олов'янисто-свинцевий припай. Повна геометрична характеристика пучка надається у копіях таблиць розрахунків ОНП для даної системи (див. табл. 7.1.1).

					КРМ.142.6221м.15.07.ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата		80

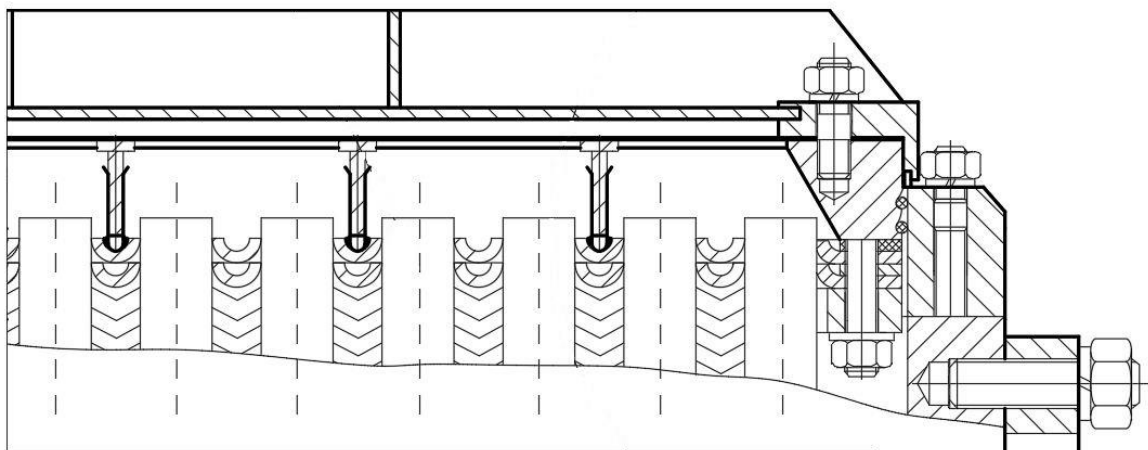


Рис. 7.3. Зображення частини серцевини ОНП

Водяний тракт ОНП

За схемою течії носіїв ОНП є багато ходовим по ТВК. Згідно розрахунку (див. табл. 7.1.1) охолоджувач є 14 ходовим, тобто ТВК має послідовно проходити через кожний поперечний ряд трубок з останнього ряду (на виході повітря) до першого ряду (на вході повітря). Для того щоб забезпечити таку схему водяні кришки мають перетини. Перетини забезпечуються спеціальними півтрубками, що впаюються у трубні дошки і ножами які входять у ці півтрубки. Для герметичності перетинів у півтрубки під ножи заливається герметик. Водяний тракт теплообмінника є досить складним з багатьма поворотами, щоб не мати підвищеного опору по ТВК його вшвидкість обмежується. Згідно розрахунку вона має бути 0,6 м/с (див. табл. 7.1.1). Згідно розрахунку опір теплообмінника по воді становить 38,7 кПа що входить у існуючі норми. Низька швидкість ТВК компенсується багатоходовістю. Відповідно ефективність теплообмінника висока ($\eta = 0,95$) при габаритах, які задовольняють умовам розміщення ОНП на двигуні (див. рис. 7.4.).

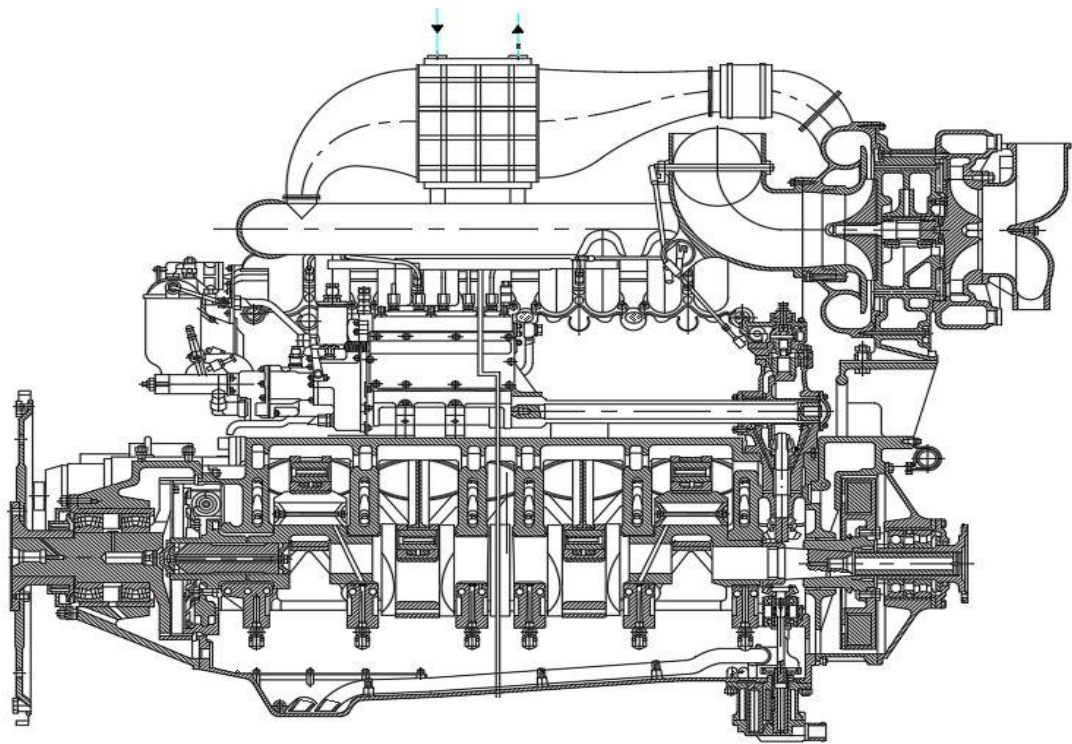


Рис. 7.4. Розміщення ОНП на двигуні. Повздовжний вигляд двигуна 12ЧН 18/20

Загальний опис конструкції ОНП

ОНП (див. ри. 6.5) виконується з урахуванням тих вимог, що сьогодні надаються до таких теплообмінників. Серцевина ОНП виконана з тонких трубок, що дало змогу відмовитися від товстостінних труб і дощок. Пайка олов'яними припоями окунаним не є сьогодні найбільш технологічною, бо вона розрушається під впливом відносно високих температур і вібрацій. Альтернативою є виготовлення поверхні теплообміну шляхом спікання. Наприклад з використанням технології Cuprobrazе. Ця технологія на жаль не використовується в Україні. У теплотехнічному відношенні ця технологія дає такі ж результати, як і пайка оловом. ОНП призначений для охолодження повітря через ТВК (або прісною водою), що дає змогу використовувати тонкі трубки замість товстих. Використання тонкостінної ПТ і коридорного пучка з оребрених труб надає значення $f_v = 1156,94 \text{ м}^2/\text{м}^3$, $f_g = 1,533 \text{ м}^2/\text{кг}$, що відповідає сучасним параметрам.

Особливості конструкції ОНП.

Ця конструкція відрізняється від звичайних такими особливостями:

- рухома дошка ущільнюється двома резиновими кільцями у спеціальних канавках; канавки надають так званий манжетний ефект; два ряди кілець дають гарантію щільності;

- вага верхнього водяного колектора і трубного пучка з водою не передається на нижню трубну дошку завдяки компенсаторів ваги, які встановлюються на верхній дошці.

У таблиці 7.1.1 приведені основні результати розрахунку охолоджувача повітря.

Таблиця.7.1.1. Результати розрахунку теплообмінника ОНП

Параметр		Од. виміру	Значення
G_B	Витрата повітря	кг/с	1,843
G_W	Витрата води	кг/с	0,924
T_{B1}	Температура повітря на вході	К	431,704
T_{B2}	Температура повітря на виході	К	322,7
T_{W1}	Температура води на вході	К	311,0
T_{W2}	Температура води на виході	К	363,162
P_1	Тиск повітря на вході	Па	250000
$R_{ст}$	Термічний опір чистої монометалевої стінки	м ² ·К/Вт	0,0000
$L_{п}$	Довжина пучка	м	0,3220
$B_{п}$	Ширина пучка	м	0,290
$H_{п}$	Висота пучка	м	0,362
b_{WT}	Число термодинамічних ходів по воді		14
b_{WT}	Число гідравлічних ходів в одному термодинамічному ході		1
d_w	Висота поперечного перерізу трубки	м	0,0025
S_1	Відстань між трубками в поперечному ряду	м	0,0100
S_2	Крок між поперечними рядами трубок	м	0,0230
S_3	Найбільший габарит поперечного перерізу трубки	м	0,017
S_4	Шаг между рёбрами	м	0,002
$\delta_{ст}$	Товщина стінки трубки	м	0,00025
$\delta_{пл}$	Товщина пластини оребрення	м	0,00008
$h_{г}$	Висота гофра від поверхні	м	0,003
e	Ширина гофра	м	0,0040
S	Крок між гофрами за ходом повітря	м	0,0230

Продовження таблиці 7.1.1.

$Z_{2'Г}$	Число поперечних рядів гофрів на довжині S2	шт	2
$Z_Г$	Загальна кількість гофрів на пластині	шт	13
Z_1	Найбільше можливе число трубок у поперечному ряду	шт	29
Z_2	Число поперечних рядів труб у пучку	шт	14
Z	Дійсне число трубок (вибране)	шт	406
Схема			3
F	Площа поверхні з боку оребрення	м ²	39,157
$M_п$	Масса пучка	кг	23,218
w_w	Швидкість води в трубках	м/с	0,991
ΔP	Повна зміна тиску повітря в охолоджувачі	Па	2036,806
ΔP		мм.в.ст	207,837
ΔP_w	Сумарний опір руху потоку води	кПа	38,669
η	ККД радіатора в другому наближенні		0,9032

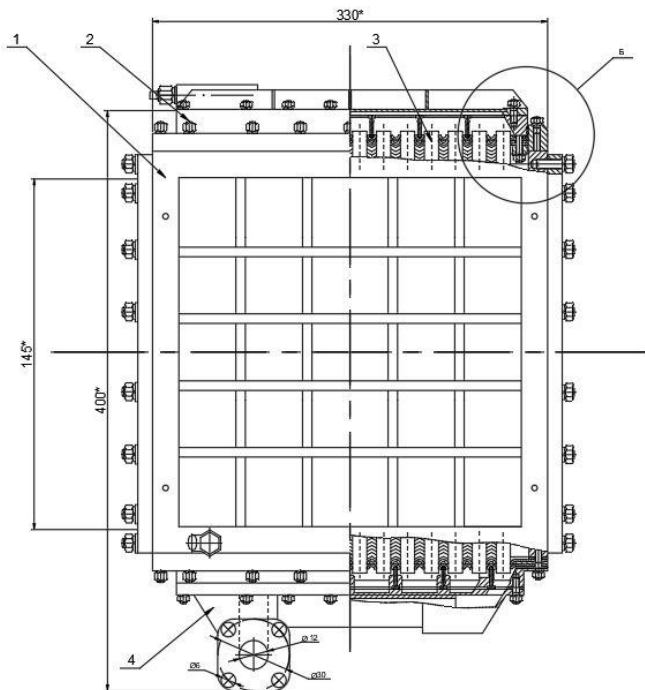


Рис. 7.5. Загальний вигляд теплообмінника ОНП

Позначення на кресленні: 1 – корпус; 2 – водяна кришка верхня; 3 – трубний пучок; 4 – водяна кришка нижня

Розділ 8. Охорона праці при експлуатації та обслуговуванні суднових систем охолодження

Загальні положення

Проектування та експлуатація систем охолодження для суднових двигунів, зокрема двигуна 12ЧН 18/20, вимагає суворого дотримання норм охорони праці, технічних регламентів та міжнародних стандартів. Безпечні умови праці є запорукою збереження життя та здоров'я працівників, а також стабільної роботи обладнання.

Відповідно до Закону України "Про охорону праці" та інших нормативних документів, роботодавець зобов'язаний:

1. Забезпечити працівників засобами індивідуального захисту (ЗІЗ).
2. Організувати навчання та інструктажі з питань охорони праці.
3. Забезпечити проведення регулярного технічного огляду обладнання.

Міжнародні вимоги також регламентують безпеку роботи із судновими системами. Наприклад, Міжнародна конвенція з охорони людського життя на морі (SOLAS) встановлює правила безпечного проектування та експлуатації суднових систем.

Аналіз небезпечних і шкідливих факторів

У роботі системи охолодження можуть виникати такі небезпечні та шкідливі фактори:

1. Термічний вплив

- Робочі температури елементів системи охолодження досягають 90-100 °С, що може спричинити опіки.
- Ризик термічного перегріву двигуна через несправність системи охолодження.

2. Хімічна небезпека

- Контакт із токсичними речовинами, наприклад, присадками до охолоджувальних рідин.
- Випаровування охолоджувальних рідин у разі пошкодження контурів.

					КРМ.142.6221м.15.08.ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата		85

3. Механічні ризики

- Обертіві частини насосів та вентиляторів можуть травмувати працівників під час обслуговування.
- Падіння важких елементів системи під час монтажу або демонтажу.

4. Електробезпека

- Ризик ураження електричним струмом при роботі з автоматизованими системами управління.

5. Шум і вібрація

- Рівень шуму у машинному відділенні може перевищувати допустимі норми (85 дБ).
- Тривала дія вібрації впливає на здоров'я працівників.

Заходи з охорони праці під час монтажу та експлуатації системи охолодження
Монтажні роботи:

- Підйомні роботи проводяться за допомогою спеціалізованого обладнання (кран-балок, тельферів). Вантажопідйомність обладнання перевіряється перед початком робіт.
- Усі монтажні роботи здійснюються після попереднього інструктажу працівників щодо правил безпеки.
- Використання захисних касок, спеціальних рукавичок і протиковзкого взуття є обов'язковим.

Експлуатація:

- Для військового артилерійського катера постійної вахти у машинному відділенні не має.
- Керування двиганами та спостереження за їх основними параметрами ведеться з рубки за допомогою спеціальних пристроїв та приладів.
- Передбачається кожну годину при роботі двигунів член машинової команди повинен спускатися у машинне відділення і наочно перевіряти стан механізмів на протязі п'яти – десяти хвилин. Відповідний член машинної команди має використовувати навушники і захисні рукавички.
- При обслуговуванні системи охолодження особливу увагу слід приділяти:

					КРМ.142.6221м.15.08.ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата		86

- Стану сальникових ущільнень на насосах; при контролі насосів робити перевірку сальникових ущільнень: при роботі системи можливе 15 краплин води через ущільнення за хвилину, не більше.
- Стану забруднень теплообмінників. Опір кожного теплообмінника по обох теплоносіях не повинен перевищувати встановленні межі: по воді кожен теплообмінник не повинен мати опір більше 60 кПа; по маслу максимальний опір 250 кПа; опір потрібен контролюватися по штатних приладах.

Протипожежні заходи

Протипожежна безпека машинного відділення забезпечується такими засобами:

1. Встановлення автоматичних систем пожежогасіння, які працюють на основі водяного розпилення.
2. Розташуванням порошкових вогнегасників у легкодоступних місцях.
3. Використанням матеріалів, стійких до займання, для виготовлення трубопроводів і ізоляції.

Екологічна безпека

Екологічна безпека експлуатації двигуна 12ЧН 18/20 із системою охолодження досягається:

- Використанням замкнутих контурів для запобігання викидам теплоносія внутрішнього контуру у море.
- Переробкою або утилізацією теплоносіїв внутрішнього контуру на спеціалізованих підприємствах.
- Використанням біорозкладних присадок до охолоджувальної рідини.

Додатково слід проводити регулярний екологічний моніторинг стану води та ґрунту у зоні стоянки судна.

					КРМ.142.6221м.15.08.ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата		87

Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ)

Для роботи у машинному відділенні працівники повинні бути забезпечені:

- Захисним одягом із вогнестійкими властивостями.
- Рукавичками із термостійких матеріалів.
- Захисними окулярами для роботи з токсичними речовинами.
- Шумозахисними навушниками для роботи у машинному відділенні.

У разі роботи з хімічними реагентами для очищення системи охолодження обов'язкове використання протигазів.

Організація навчання і контролю за дотриманням норм безпеки

Організація навчання з охорони праці включає:

1. Проведення вступного та періодичного інструктажу для всього персоналу.
2. Навчання роботі з аварійним обладнанням (вогнегасники, евакуаційні системи).
3. Імітаційні тренування щодо дій у разі витоків рідин або пожежі.

Контроль за дотриманням норм безпеки здійснюється шляхом регулярних перевірок технічного стану машинного відділення, а також проведенням аудитів з охорони праці.

					КРМ.142.6221м.15.08.ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата		88

Загальні висновки до кваліфікаційної роботи

Основним завданням до кваліфікаційної роботи стало розроблення найбільш ефективної системи охолодження для дизельного двигуна 12ЧН 18/20, який встановлюється на артилерійські катери. Цей двигун використовується для забезпечення високої швидкості та маневреності судна, що робить його важливим компонентом у виконанні бойових і патрульних завдань. Однією з ключових вимог до системи було зниження її ваги, габаритів і собівартості при збереженні високих експлуатаційних характеристик.

Згідно з поставленою задачею, необхідно було:

- дослідити три типи систем охолодження;
- оптимізувати їхні технічні параметри;
- визначити найкращий варіант на основі аналізу сумарної маси теплообмінників, ефективності охолодження та економічної доцільності.

Для досягнення мети були виконані такі етапи:

1. Аналіз теплових характеристик двигуна.

Було проведено розрахунок теплового балансу двигуна, що включає визначення кількості тепла, яке необхідно відвести через різні компоненти системи (зарубашечну воду, масло, наддувне повітря). Вихідні дані для розрахунків надані кафедрою.

2. Розробка трьох систем охолодження:

- **Типу 2В2НПР** — складна багатоконтурна система з окремими насосами для різних теплоносіїв і двома основними охолоджувачами забортної води.
- **Типу В2НД** — система з двома насосами, що обслуговують повнопоточковий і малорозхідний контури, із меншою кількістю теплообмінників.
- **Типу ВНП** — найпростіша з трьох систем, яка має один насос і спрощену схему охолодження теплоносіїв.

3. Розрахунок і оптимізація теплових схем.

Для кожної системи було проведено оптимізацію розподілу теплоносіїв і температур, які забезпечують мінімальну сумарну масу серцевин

					КРМ.142.6221м.15.09.ПЗ	Лист
						89
Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата		

теплообмінників. Для цього побудовано графіки залежностей маси теплообмінників від температури теплоносіїв.

4. Порівняльний аналіз.

На основі отриманих результатів було встановлено, що система типу 2В2НПР має найменшу сумарну масу серцевин (254 кг) та забезпечує найкращі технічні характеристики.

Сучасні системи охолодження займають до 15 – 20% об'єму компактних машинних відділень, маса кольорових металів, які застосовують при виготовленні систем охолодження складає близько 1,5% від маси головних двигунів. Якщо робити системи охолодження з використанням ефекту малорозхідності, то відповідні долі об'єму та маси знижуються. Так, система охолодження, запропонована у моїй роботі, займає 9% об'єму машинного відділення і має сумарну масу серцевин теплообмінників близько 0,8% від маси головних двигунів. Крім того, при виконанні роботи досліджувалися три можливі малорозхідні системи, з яких потрібно було обрати найкращу. Таке дослідження та вибір дозволили встановити, що обрана система типу 2В2НПР має сумарну масу серцевин теплообмінників 254 кг., що менша за сумарну масу серцевин теплообмінників системи ВНП на 20,5 кг та на 38,4 кг. проти системи В2НД.

Таким чином, обрана система типу 2В2НПР краща ніж альтернативні і зрозуміло краща за застарілі типи систем. Параметри застарілої системи охолодження для даного катера немає, тому порівняння обраної системи з застарілою є імовірним.

Обрана система охолодження типу 2В2НПР повністю відповідає поставленим вимогам. Вона має найменшу сумарну масу серцевин теплообмінників і найменший об'єм, відповідно її найменшу вартість порівняно з іншими системами. Це робить її найкращим варіантом.

					КРМ.142.6221м.15.09.ПЗ	Лист
						90
Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата		

Література

1. Ganesh D, Nagarajan G. Homogeneous charge compression ignition (HCCI) combustion of diesel fuel with external mixture formation. Energy. 2010;35:148-157.
2. Ap, N.-S., Tarquis, M. Innovative engine cooling systems comparison. SAE Technical Papers. 2005.
3. Cipollone, R., Di Battista, D., Gualtieri, A. A novel engine cooling system with two circuits operating at different temperatures. Energy Conversion and Management. 2013, 75, pp. 581–592.
4. Application & Installation Guide Cooling Systems. CAT, Caterpillar, BUILT FOR IT. 2016.
5. Mollenhauer, K., Tschoeke, H. Handbook of Diesel Engines. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg. 2010, pp. 291–338.
6. Nutt, R. A., Poehlman, R. F. Cooling System Requirements for Advanced Diesel Engines. SAE Technical Paper Series 820984. 1982.
7. Daminov, O.O., Khushnaev, O.A., Yangibaev, A.I., Kucharenok, G.M. Improving the performance indicators of diesel engines by enhancing the cooling system. Technical science and innovation. 2020, 1(9).
8. Moshentsev U., Gogorenko A. Generating high efficiency cooling systems for internal combustion engines. Herald of Enginebuilding Journal. 2017, (1), pp. 25–31.
9. Moshentsev Y., Gogorenko O., Dvirna O. Rational Liquid Cooling Systems of Internal Combustion Engines. Advances in Science and Technology Research Journal. 2022, 16(1), pp. 158–169.
10. Kaleli, A.; Kaltakkiran, G.; Dumlu, A.; Ayten, K.K. Design and control of intelligent cooling system for IC engine. In Proceedings of the 2017 International Conference on Engineering and Technology (ICET), Antalya, Turkey, 21–23 August 2017.
11. Banjac T, Wurzenberger JC, Katrašnik T. Assessment of engine thermal management through advanced system engineering modeling. Adv Eng Soft. 2014;71:19-33.